

高次

令和4年(㉔)第15号 原子力発電所運転差止仮処分命令申立事件

債権者 田内雄司 外1名

債務者 関西電力株式会社

主張書面(1)

令和4年8月30日

福井地方裁判所民事部 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 神 原 浩



弁護士 原 井 大 介



弁護士 森 拓 也



弁護士 辰 田 淳



弁護士 畑 井 雅 史



弁護士 坂 井 俊 介



弁護士 谷 健 太 郎



弁護士 金 井 亨



弁護士 持 田 陽 一



弁護士 中 室 祐



目 次

第1章	はじめに	9
第2章	本件発電所の地震に対する安全確保対策の概要	10
第1	はじめに	10
第2	基準地震動の策定	11
1	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価	12
(1)	検討用地震の選定	12
(2)	検討用地震の地震動評価	13
ア	「応答スペクトルに基づく地震動評価」	13
イ	「断層モデルを用いた手法による地震動評価」	18
ウ	不確かさの考慮	18
2	「震源を特定せず策定する地震動」の評価	19
3	基準地震動の策定	20
第3	本件発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価	22
1	耐震安全性評価	22
2	本件発電所の耐震安全上の余裕	23
第4	原子力規制委員会による審査等	24
第3章	本件発電所の新たな基準地震動	25
第1	地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	25
1	敷地周辺の地震発生状況の調査・評価	27
(1)	設置許可基準規則等	27
(2)	債務者による調査・評価	27
(3)	原子力規制委員会による審査	29
2	活断層の分布状況の調査・評価	30
(1)	設置許可基準規則等	30

(2) 債務者による調査・評価	31
ア 震源断層と地表地震断層	31
イ 本件発電所の敷地周辺地域の特性	35
ウ 調査の具体的内容	39
(ア) 文献調査	39
(イ) 陸域及び海域における調査	40
(ウ) 小括	44
エ 各断層の具体的な評価	45
(ア) F〇-A～F〇-B断層	45
(イ) 熊川断層	48
(ウ) F〇-A～F〇-B断層と熊川断層の連動	50
(エ) 上林川断層	57
(オ) 小括	59
オ 活断層の分布状況と検討用地震の候補	59
(3) 原子力規制委員会による審査	62
3 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	63
(1) 設置許可基準規則等	64
(2) 債務者による評価・調査	65
ア 震源特性	65
(ア) 断層の位置・長さ	65
(イ) 断層の傾き(断層傾斜角)	66
(ウ) 断層の幅(地震発生層の厚さ)	70
(エ) 小括	75
イ 伝播特性	75
(ア) 幾何減衰	75
(イ) 内部減衰	76

(ウ) 小括	76
ウ 地盤の増幅特性（サイト特性）	77
(ア) 浅部地盤の速度構造に関する調査	78
(イ) 深部地盤の速度構造に関する調査	79
(ウ) 小括	80
エ まとめ	81
(3) 原子力規制委員会による審査	81
第2 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価	83
1 検討用地震の選定	85
(1) 設置許可基準規則等	85
(2) 本件発電所における検討用地震の選定	85
(3) 原子力規制委員会による審査	86
2 応答スペクトルに基づく地震動評価	87
(1) 設置許可基準規則等	88
(2) 本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」	89
ア 距離減衰式の選定	89
(ア) 「耐専式」の選定	89
(イ) 耐専式の適用性及び本件発電所における取扱い	93
イ 保守的な条件設定	95
(ア) 地震の規模	96
(イ) 等価震源距離	97
(ウ) 内陸補正係数	102
(エ) その他のパラメータ等	104
ウ 地震動評価結果	104
(3) 原子力規制委員会による審査	107
3 断層モデルを用いた手法による地震動評価	108

(1) 設置許可基準規則等	112
(2) 本件発電所の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」	112
ア 債務者の評価手法の概要	112
イ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）	114
(ア) 各パラメータの設定	115
(イ) その他のパラメータ設定	124
(ウ) 震源断層パラメータのまとめ	128
ウ 地震波の伝播特性、地盤の増幅特性（サイト特性）の評価	129
エ 地震動評価結果	130
(3) 原子力規制委員会による審査	133
4 不確かさの考慮に関する補足説明	134
(1) 設置許可基準規則等	134
(2) 本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮	134
(3) 原子力規制委員会による審査	135
第3 「震源を特定せず策定する地震動」の評価	137
1 設置許可基準規則等	137
2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価	138
(1) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル	138
(2) 地震ガイドに例示されている16地震	140
ア Mw6.5以上の2地震についての検討	142
(ア) 岩手・宮城内陸地震	142
(イ) 鳥取県西部地震	142
イ Mw6.5未満の14地震についての検討	144
ウ 地震動評価結果	145
3 原子力規制委員会による審査	147
第4 基準地震動の策定	148

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	148
(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	148
(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	150
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	151
3 まとめ	152
4 基準地震動の年超過確率	154
(1) 設置許可基準規則等	154
(2) 本件発電所の基準地震動の年超過確率	155
(3) 原子力規制委員会による審査	157
第4章 本件発電所の耐震安全性	158
第1 設置許可基準規則等	158
第2 耐震設計における基本的な考え方	160
第3 耐震重要度分類	162
第4 基準地震動に対する耐震安全性評価	165
1 耐震安全性評価における解析	165
2 建物・構築物の解析	166
3 機器・配管系の解析	169
4 小括	170
第5 耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事	171
第6 原子力規制委員会による審査	172
第7 本件発電所の耐震安全上の余裕	172
1 基準地震動による地震力に対して有する余裕	172
(1) 評価基準値自体の持つ余裕（上記②の余裕）	174

(2) 評価値の計算条件における余裕（上記③の余裕）	176
(3) 小括	182
2 耐震安全上の余裕の実証例等	183
(1) 多度津工学試験センターでの原子力発電施設耐震信頼性実証試験	183
ア 実証試験の概要	183
イ 実証試験の方法	184
ウ 実証試験の結果	185
エ 小括	187
(2) 新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の原子炉機器の健全性	187
ア 有限責任中間法人日本原子力技術協会による原子炉機器の健全性評価	187
イ 国際原子力機関（I A E A）の調査報告書	188
(3) まとめ	189
第5章 結語	190

第1章 はじめに

本書面は、高浜発電所1号機～4号機（以下、「本件発電所」といい、本件発電所のうち一部の号機のみを指す場合には、「高浜1号機」、「高浜1、2号機」等という）の地震に対する安全確保対策に関し、その全体について説明するものである。

以下では、本件発電所における地震に対する安全確保対策について、第2章でその概要（全体像）を簡潔に説明し、第3章で新規制基準を踏まえて、最新の科学的・専門技術的知見をもとに様々な保守性を考慮して十分な大きさの新たな本件発電所の基準地震動を策定したことについて、第4章で当該基準地震動に基づいて本件発電所の耐震安全性評価を行い、耐震重要施設である「安全上重要な設備」の全てが基準地震動に対する耐震安全性を有することを確認したことについて、それぞれ述べる。

なお、債権者らの令和4年5月17日付「訴状」、同年5月24日付準備書面1及び同年6月27日付準備書面2における地震に関する主張に対する反論は別途行う。

第2章 本件発電所の地震に対する安全確保対策の概要

第1 はじめに

- 1 原子力発電所を設置するにあたっては、地盤、地震、津波等の影響といった自然的立地条件が原子力発電所の安全確保に影響を及ぼさないようにするため、設置する地点の自然的立地条件に係る特性を十分に把握し、放射性物質のもつ危険性が顕在化するような大きな事故の誘因とならないようにする必要がある。

このような考え方の下、債務者は、従来から、本件発電所の自然的立地条件に係る安全確保対策を講じてきたところ、福島第一原子力発電所事故を受けて、自然現象により一斉に機能を喪失すること（共通要因故障）の防止をより確実なものとするべく、地盤、地震、津波、火山、竜巻及び森林火災の評価をより厳格なものとし、安全確保対策を更に充実させた。

- 2 このうち、地震に対する安全確保対策においては、新規制基準を踏まえ、まず、本件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なる地震動（基準地震動）を策定した（下記第2）。その上で、耐震安全性評価を行い、本件発電所が基準地震動に対する安全性を有していることを確認した（下記第3）。そして、これらの対応については、原子力規制委員会において新規制基準への適合性が確認された（下記第4）。
- 3 なお、債務者が用いている、震源となる断層の調査や地震動評価等の手法については、本件発電所の建設以降も、地質学、地震学、地震工学等の分野における不断の調査研究により新たな知見が蓄積され、それらの手法も高度化されてきた。

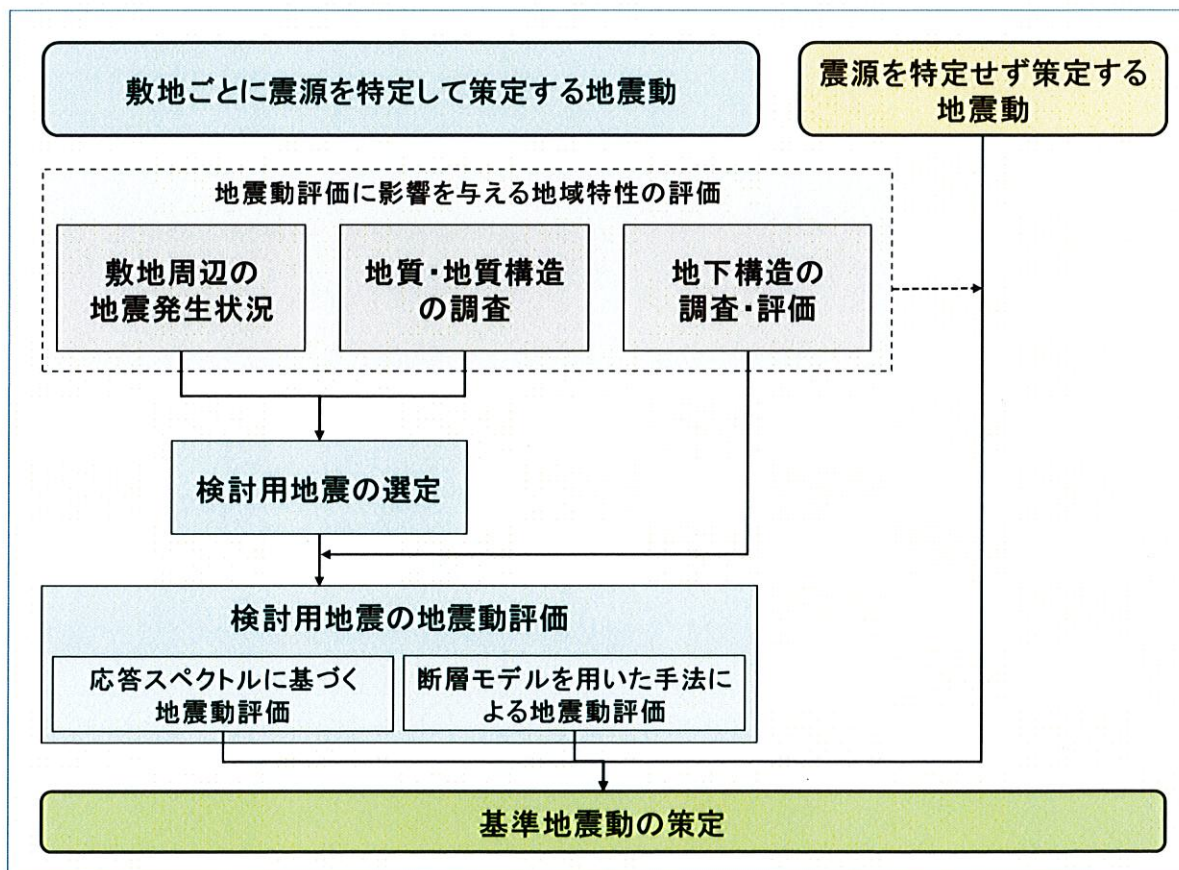
そして、福島第一原子力発電所事故を機に、国会・政府等の事故調査委員会の指摘事項、国際原子力機関（IAEA）や諸外国の規制内容等を踏まえて原子力規制委員会が策定した新規制基準では、このような知見の蓄積や手法の高度化が反映されており、債務者も、それらを踏まえて、本件発電所の地震に対する安全性を確認したものである。

第2 基準地震動の策定

基準地震動は、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なる地震動である。

債務者は、平成25年7月に新規制基準が施行されたことに伴い、設置許可基準規則¹等の新規制基準の要求を踏まえ、本件発電所敷地周辺における地震発生状況や活断層の分布状況等を調査のうえ、地震動に影響を与える「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に係る地域的な特性を十分に考慮し、不確かさを十分に踏まえて、本件発電所の新たな基準地震動を策定した。

その手順の概要は次のとおりである（図表1）。



【図表1 基準地震動の策定手順】

¹ 正式には、「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」である。

1 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価

(1) 検討用地震の選定

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²の分布状況等の地質・地質構造等を詳細に調査し、地震発生様式³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）を複数選定する（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項2号本文、①、② i）、⑦及び同項4号、乙33、134～137頁）。

債務者は、本件発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等を含む地質・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、敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の被害地震（乙30の1、添付書類六、6-5-22頁、乙30の2、添付書類、6-4-26頁、乙30の3、添付書類、6-4-26頁。なお、乙30の1と乙30の2、同30の3における添付書類六の地震等の説明については、章構成の差異等により引用該当頁が一部異なっているが、記載内容はいずれも同じであるため、以下代表例として乙30の1を記載する）と震源として考慮する活断層のうち、敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震（同6-5-23頁）を検討用地震の候補とした。

そして、それらを対象に、地震の規模及び本件発電所敷地までの距離に基づいて敷地に与える影響を詳細に評価し、敷地への影響が大きいと考えられる地震として、F O - A ~ F O - B 断層 ~ 熊川断層、上林川断層（以下、^{かんばやしがわ}「各断層」という）それぞれによる地震を検討用地震として選定した⁴。

² 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。

³ 地震発生様式については、答弁書71～73頁を参照。

⁴ 選定された2つの検討用地震はいずれも、地震発生様式のうち、内陸地殻内地震に分類される。その他の地震発生様式のうち、プレート間地震については、陸のプレートであるユーラシアプレートと海のプレートであるフィリピン海プレートの境界が、本件発電所敷地周辺を含む若狭湾周辺地域から200km以上離れており、プレート間地震において地震の規模（マグニチュード）が大きくなることを

(下記第3章第1の1及び2並びに第2の1で述べる)

(2) 検討用地震の地震動評価

上記のとおり選定した各検討用地震について、発電所敷地及び敷地周辺の地下構造の調査・評価結果(下記第3章第1の3)を踏まえて、下記の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」により、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。その評価に際しては、震源断層(同第1の2(2)アを参照)の長さ等、地震動評価に大きな影響を与える要素について、不確かさを考慮する。(同第2の2及び3)(設置許可基準規則解釈別記2第4条5項2号本文、②、④～⑦及び同項4号、乙33、134～137頁)

ア 「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」とは、地震の規模と震源から敷地までの距離との関係式(距離減衰式⁵)から、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」を求める手法を用いて行う地震動評価をいう。

(イ)ここで、「応答スペクトル」について説明すると、地震動とは、短周期の波から長周期の波まで、様々な周期⁶の波が含まれた複雑な波であ

考慮しても、本件発電所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も、海のプレートは若狭湾周辺地域から遠い上に、地震の規模はプレート間地震より小さくなることから、同じく本件発電所敷地に及ぼす影響は大きくない。

⁵ 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(下記第3章第2の2の冒頭箇所を参照)。

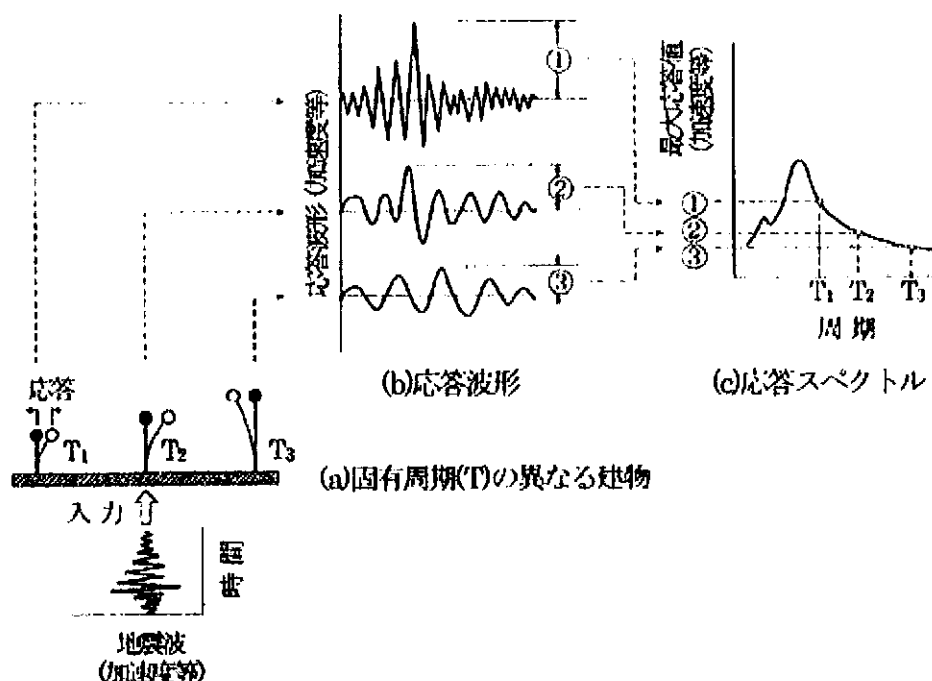
⁶ 振動(揺れ)の様子を波形で表した際、同一の状態が繰り返される間に経過する時間を、振動の周期という。

る⁷。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⁸。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2）。「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。

⁷ 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（乙77、「地震と建築」84頁）。

⁸ 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 2 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⁹）を把握できるものである。

⁹ 「加速度」「速度」「変位」の関係を、車を例にとって説明する。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点を通過する際には毎秒15m (15m/s) の速度であったのが、B点を通過するときには毎秒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。毎秒〇mという速度が毎秒変化するものであるから、毎秒・毎秒△mと「毎秒」が2つ重なることになる。

このように毎秒の（1秒あたりに）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、乙77、49～52頁を参照）

ここで、この図表 3 を用いて、一例として、固有周期が 1 秒の構造物に、

図表 3 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讀むことになる（②）。この場合、200 ガル（ cm/s^2 ）の線と 500 ガルの線の間、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讀むと（③）、速度の最大値は約 60 cm/s と分かり、右下がりの斜線を目盛りを讀むと（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することもできる。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 3 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讀むと、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。

(ウ) 債務者は、各検討用地震につきNoda et al. (2002)¹⁰の方法（乙78。以下、「耐専式」という）という距離減衰式を用いて、地震の規模、等価震源距離等から本件発電所における地震動の応答スペクトルを評価した

イ 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、震源となる断層（震源断層）をモデル化し、震源から発電所敷地までの地震波の伝播特性、発電所敷地の地盤における地震波の増幅特性（サイト特性）を考慮して行う地震動評価をいう。

債務者は、文部科学省の地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」という）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3、乙35（なお、以降は乙35のみ記載する）。以下、「レシピ」という）等を参照するなどして、各検討用地震につき、評価する震源断層の長さ、断層の幅、断層面積、地震モーメント（ M_0 ）、短周期レベル、応力降下量等といった各種の震源断層パラメータを設定し、震源断層のモデル化を行った上で、本件発電所敷地における地震動評価を行った。

ウ 不確かさの考慮

上記ア及びイの地震動評価にあたっては、敷地周辺の詳細な調査により、敷地周辺の「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関する地域性を把握した上で、「不確かさ」を考慮し、十分に保守的な条件設定を行うことで、自然現象のばらつきに対応している。

¹⁰ Noda et al. (2002) 「Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites」。一般社団法人日本電気協会（以下、「日本電気協会」という）の原子力発電耐震設計専門部会（耐専）におい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（答弁書85頁脚注32参照）。

債務者は、例えば、詳細な地質・地質構造調査等からは連動しないと考えられるF O - A ~ F O - B断層と熊川断層が連動するとしたり、強震動を生起するアスペリティ¹¹の位置を各震源断層について本件発電所に近い位置に配置したりするなど、地震動がより大きくなる方向での保守的な条件により「基本ケース」を設定し、その上で、更に様々な不確かさについても保守的に考慮して、地震動の評価を行った。

(以上(2)について、下記第3章第2の2ないし4で述べる)

2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価

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」¹²を評価する(設置許可基準規則解釈別記2第4条5項3号及び4号、乙33、136~137頁)。

債務者は、加藤ほか(2004)¹³(乙79)で示されている、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から、本件発電所の敷地地盤の構造に適用される応答スペクトルを採用した。

また、原子力規制委員会の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(乙36。以下、「地震ガイド」といい、前述のとおり債務者は当初、令和3年4

¹¹ 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。(答弁書86頁脚注38参照)

¹² 設置許可基準規則解釈及び「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」等は、令和3年4月に「震源を特定せず策定する地震動」に関する規定が改正されているところ、債務者は当初この改正前の設置許可基準規則解釈等に基づき、「震源を特定せず策定する地震動」を評価・策定し、基準地震動を策定した。

¹³ 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

月に改正される前の「地震ガイド」に基づき、評価を行った。令和3年4月に改正された地震ガイドを以下、「令和3年改正地震ガイド」¹⁴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過去の内陸地殻内地震）の例から、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）の地震動の観測記録、及び平成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（以下、「北海道留萌支庁南部地震」という）の地震動の観測記録を採用し、地震動の評価結果が大きくなるような保守的な条件で評価を行った。

（下記第3章第3で述べる）

3 基準地震動の策定

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」の評価結果を総合し、基準地震動を策定する（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項1号、乙33、134頁）。

債務者は、上記の各評価結果から、それぞれ最も厳しい評価結果となったものを採用して、本件発電所の基準地震動（ $S_s - 1 \sim S_s - 7$ ）を策定した。

なお、上記2で述べたとおり、設置許可基準規則解釈及び地震ガイドは令和3年4月に改正され、「震源を特定せず策定する地震動」の策定にあたって、「全国共通に考慮すべき地震動」として、①北海道留萌支庁南部地震の観測記録から推定した基盤地震動及び②震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面¹⁵における標準応答スペクトルを用いた評価が要求されることになった（乙81の1、「標準応答スペクトルの規制への取り入れのための実用発電原

¹⁴ 地震ガイドは令和3年4月以降も改正が重ねられているが（乙80は本書面作成時点における最新の令和4年6月8日改正の地震ガイド）、「震源を特定せず策定する地震動」に関する規定については、令和3年改正地震ガイドにおける改正以降、変更はない（軽微な文言の変更は除く）。

¹⁵ 地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう（令和3年改正設置許可基準規則解釈別記2第4条5項3号②、乙82）。

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等の一部改正－改正案に対する意見募集の結果及びこれを踏まえた修正並びに今後の対応－」、乙81の2、「令和3年度原子力規制委員会第5回会議議事録（抜粋）」）。しかし、本件発電所については、後述のとおりこの改正後の設置許可基準規則解釈（以下、「令和3年改正設置許可基準規則解釈」¹⁶という。）を適用しても基準地震動を変更する必要はないことが、令和3年6月16日に原子力規制委員会により確認されている（乙83の1、「標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う基準地震動の変更の要否に係る審議結果（関西電力高浜発電所及び大飯発電所）」、乙83の2、「令和3年度原子力規制委員会第13回会議議事録（抜粋）」）。

（下記第3章第4で述べる）

このように、本件発電所の基準地震動は、新規制基準を踏まえ、最新の科学的、専門技術的知見に基づき、複数の手法を併用し、保守的な条件設定や不確かさの適切な考慮の上で策定したものである。よって、本件発電所に基準地震動を超える地震動が到来することはまず考えられないところであり、この基準地震動は、本件発電所において耐震安全性を確認するための基準として十分な保守性を有する適切なものである。

¹⁶ 設置許可基準規則解釈は令和3年4月以降も改正が重ねられているが（乙82は本書面作成時点における最新の令和4年3月30日改正の設置許可基準規則解釈）、「震源を特定せず策定する地震動」に関する規定については、令和3年改正設置許可基準規則解釈における改正以降、変更はない（軽微な文言の変更は除く）。

第3 本件発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価

以上のとおり策定した基準地震動を用いて、耐震安全性評価により、耐震重要施設（耐震重要度分類Sクラスの設備。設置許可基準規則3条1項、同規則4条2項、同規則解釈別記1第3条1項、同別記2第4条2項1号、乙33、11～12頁、128頁、130～131頁）である「安全上重要な設備」¹⁷の全てが、基準地震動に対する耐震安全性を有することを確認する（同規則4条3項、同規則解釈別記2第4条6項及び7項、乙33、12頁、137～139頁）。なお、重大事故等対処施設（同規則2条2項11号、乙33、5頁）についても、耐震重要施設に係る扱いに準じ¹⁸、上記の地震動に対する耐震安全性を備えるようにすることで、重大事故等に対処できるようにする。

（以下、本書面では、耐震重要施設の地震に対する安全性について述べる）

1 耐震安全性評価

債務者は、本件発電所の設計における基本方針として、本件発電所の建物・構築物及び機器・配管系について、地震動による影響を低減できるような構造・配置とすることとしている。そして、本件発電所の各建物・構築物及び機器・配管系について、原子力発電所の安全を確保する上での重要度に応じて分類した。

¹⁷ 債務者が用いている「安全上重要な設備」という用語は、法令等により定義されている用語ではなく、原子力発電所の安全性を確保する（例えば、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」）ために設置されている格段に高い信頼性を持たせた設備のことを概括的に総称する際に、便宜的・一般的に用いられるものである。

そして、地震に対する安全性確保のための「安全上重要な設備」としては、本文記載のとおり、設置許可基準規則における耐震重要施設（耐震重要度分類Sクラスの設備）がこれにあたる。なお、耐震重要度分類については、第4章第3で述べる。

¹⁸ 設置許可基準規則39条（乙33、88～89頁）において、常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設、及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（いずれも特定重大事故等対処施設を除く）は、基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることが要求されているところ（同規則39条1項1号及び3号、乙33、88頁）、同規則解釈39条1項において、同規則の「第39条の適用に当たっては、本規程別記2に準ずるものとする」とされ（同頁）、耐震重要施設に係る扱いに準じるものとされている。

その上で、重要度の高い設備、すなわち耐震重要施設について、基準地震動に対する地震応答解析及び応力解析を行い、その結果得られた発生応力値等（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）を超えないことを確認し、基準地震動に対して安全機能を維持できることを確認した。

債務者は、新規制基準の施行を受けて新たな基準地震動を策定したことに伴い、耐震安全性を強化するため、本件発電所において耐震補強工事を実施しており、令和4年1月までに全ての工事が完了している。

2 本件発電所の耐震安全上の余裕

上記1のとおり、債務者は、耐震重要施設について、評価値が評価基準値（許容値）を下回ることを確認しているところ、①両者の差は、耐震安全上の余裕（基準地震動による地震力に対する余裕）ということができる（①の余裕）。

また、このような余裕に加えて、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限界値に対して余裕を持った値が設定され、さらに、③評価値を計算する過程においても、計算結果が保守的なものとなるよう余裕を持たせている。

上記①から③までの余裕は、本件発電所に限らず、原子力施設の耐震設計体系において一般的に認められているところ、これらの余裕が現実存在することについては、実証試験の結果や、平成19年（2007年）新潟県中越沖地震（以下、「新潟県中越沖地震」という）における東京電力株式会社（以下、「東京電力」という）柏崎刈羽原子力発電所の事例等からも明らかになっている。

（以上第3について、下記第4章で述べる）

第4 原子力規制委員会による審査等

債務者は、新規制基準の施行を受けて、新たな基準地震動を策定し、全ての耐震重要施設及び重大事故等対処施設について、この新たな基準地震動に対する耐震安全性が確保されていることを確認し、平成25年7月に、原子力規制委員会に対し、まず高浜3、4号機に係る原子炉設置変更許可や工事計画認可等の各申請を行った。そして、原子力規制委員会は、高浜3、4号機の新たな基準地震動、及び耐震安全性についての耐震設計方針に関し、新規制基準への適合性を認め、平成27年2月12日に高浜3、4号機に係る原子炉設置変更許可を行い（乙67）、詳細な耐震設計に関して、工事計画認可申請に対する審査を経て、高浜3号機については同年8月4日に、高浜4号機については同年10月9日にそれぞれ工事計画の認可を行った（乙68の1及び2、乙69の1及び2）。

また、債務者は、平成27年3月に、原子力規制委員会に対して、高浜1、2号機についての原子炉設置変更許可、同年7月に工事計画認可の各申請を行った。そして、原子力規制委員会は、高浜1、2号機の新たな基準地震動、及び耐震安全性についての耐震設計方針に関し、新規制基準への適合性を認め、平成28年4月20日に高浜1、2号機に係る原子炉設置変更許可を行い¹⁹（乙73）、詳細な耐震設計に関して、工事計画認可申請に対する審査を経て、同年6月10日に工事計画の認可を行った（乙74の1及び2、乙75の1及び2）。

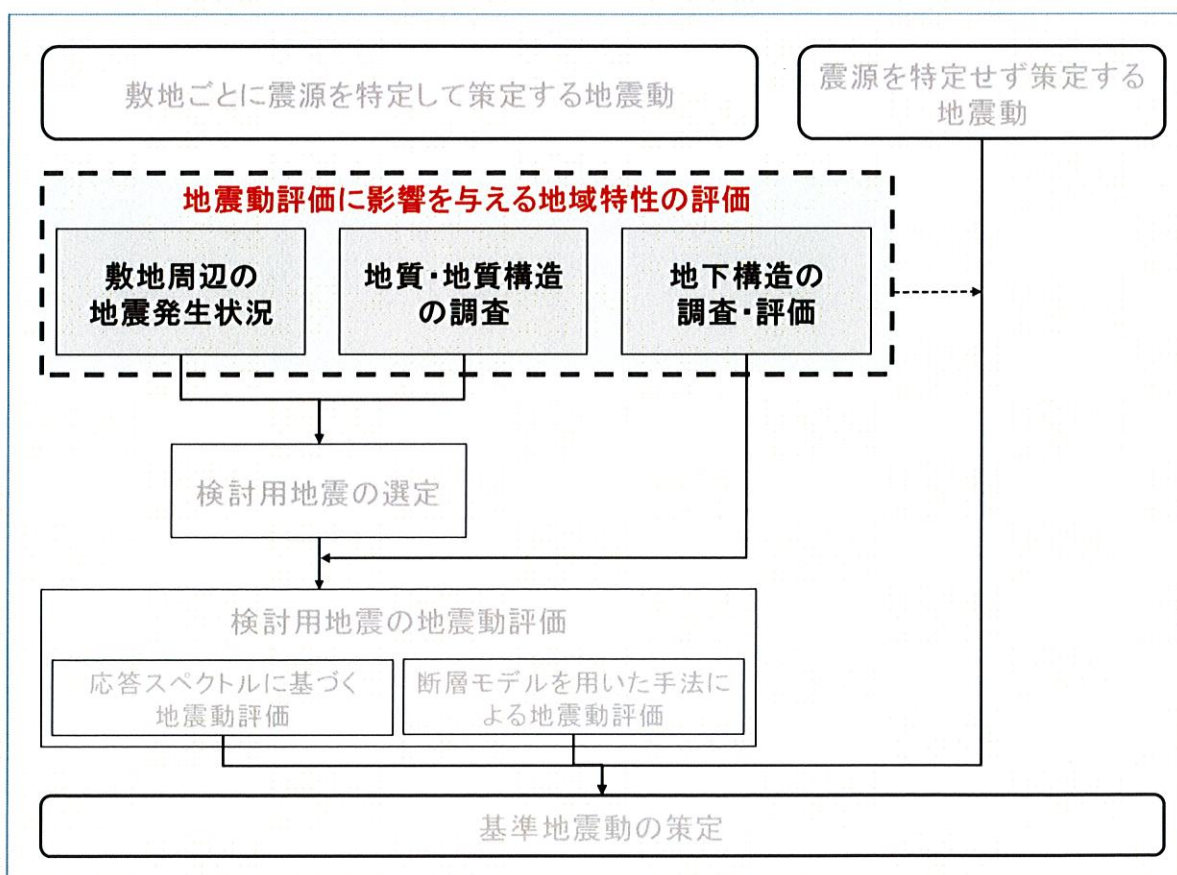
¹⁹ 高浜3、4号機に係る原子炉設置変更許可の後でなされた高浜1、2号機に係る原子炉設置変更許可では、基準地震動は本件発電所のものとして許可されている（乙84、「関西電力株式会社高浜発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（1号、2号、3号及び4号発電用原子炉施設の変更）に関する審査書」11～12頁）。なお、本件発電所の基準地震動の策定にあたっての条件が従前より一部変更となっているものの、基準地震動自体には変更がない、又は、変更が軽微なものである。

第3章 本件発電所の新たな基準地震動

新規制基準を踏まえた本件発電所の新たな基準地震動の策定の概要については、上記第2で述べたとおりである。

本章では、地震に対する安全性の確認の手順に沿って、地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価（下記第1）、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（下記第2）、「震源を特定せず策定する地震動」の評価（下記第3）について説明した上で、それらをもとに策定された基準地震動について説明する（下記第4）。

第1 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価



原子力発電所敷地の基準地震動を適切に評価するためには、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、発電所敷地周辺の地域性を適切に考慮することが重要となる。そのためには、まず、発電所敷地

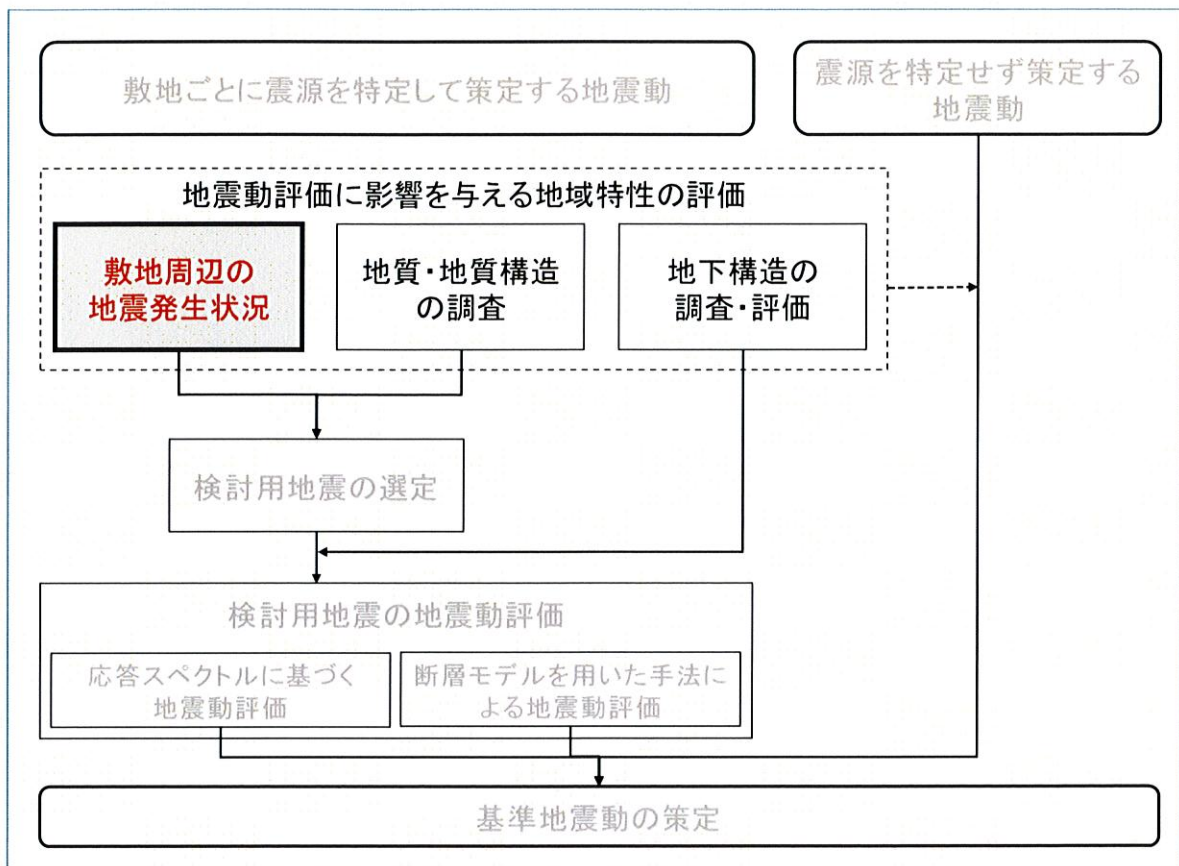
周辺において、地震及び地震動に関係する様々な調査・評価を行うことが必要となる。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に際しては、検討用地震を選定する必要がある。このため、債務者は、本件発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等について詳細な調査・評価を実施し（下記 1 及び 2）、検討用地震の候補を抽出した。

このほか、債務者は、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、発電所敷地周辺の地域性を把握するための詳細な調査・評価を行った（下記 3）。

以下では、本件発電所の基準地震動の策定に関して債務者が行った地域特性の調査・評価について述べる。なお、上記フロー図中の「地質・地質構造の調査」は、下記 2（活断層の分布状況の調査）及び下記 3（2）ア（震源特性）のうち断層の位置・長さ等に概ね対応し、同図中の「地下構造の調査・評価」は、下記 3（地域特性の調査・評価）に概ね対応する。

1 敷地周辺の地震発生状況の調査・評価



(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、検討用地震の選定にあたって、「地震発生状況を精査」することを求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号①、乙33、135頁）。

(2) 債務者による調査・評価

債務者は、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²⁰、気象庁地震カタログ²¹、宇津カタログ（1982）²²等から、本件発電所からの震央距離

²⁰ 宇佐美龍夫ほか「日本被害地震総覧599-2012」東京大学出版会

²¹ 気象庁「地震年報2011年版」

²² 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

²³が 200km 程度以内の過去の主な被害地震を確認した。

そして、これらの被害地震のうち、本件発電所敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる（敷地において震度V²⁴程度以上）9個の地震を、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に用いる検討用地震の候補として抽出した（図表4）。

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、その震央は本件発電所から概ね 200km を超えて離れており、本件発電所敷地で震度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²⁵ものの、それら地震の多くが近畿中南部で発生しており、本件発電所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。

（以上について、乙 85、「高浜発電所の地震動評価について」、2～5 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-2 頁、6-5-5～6-5-6 頁、6-5-18～6-5-22 頁、6-5-25 頁、6-5-45 頁、6-5-47 頁）

²³ 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。

²⁴ 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。

²⁵ 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、本件発電所敷地から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。

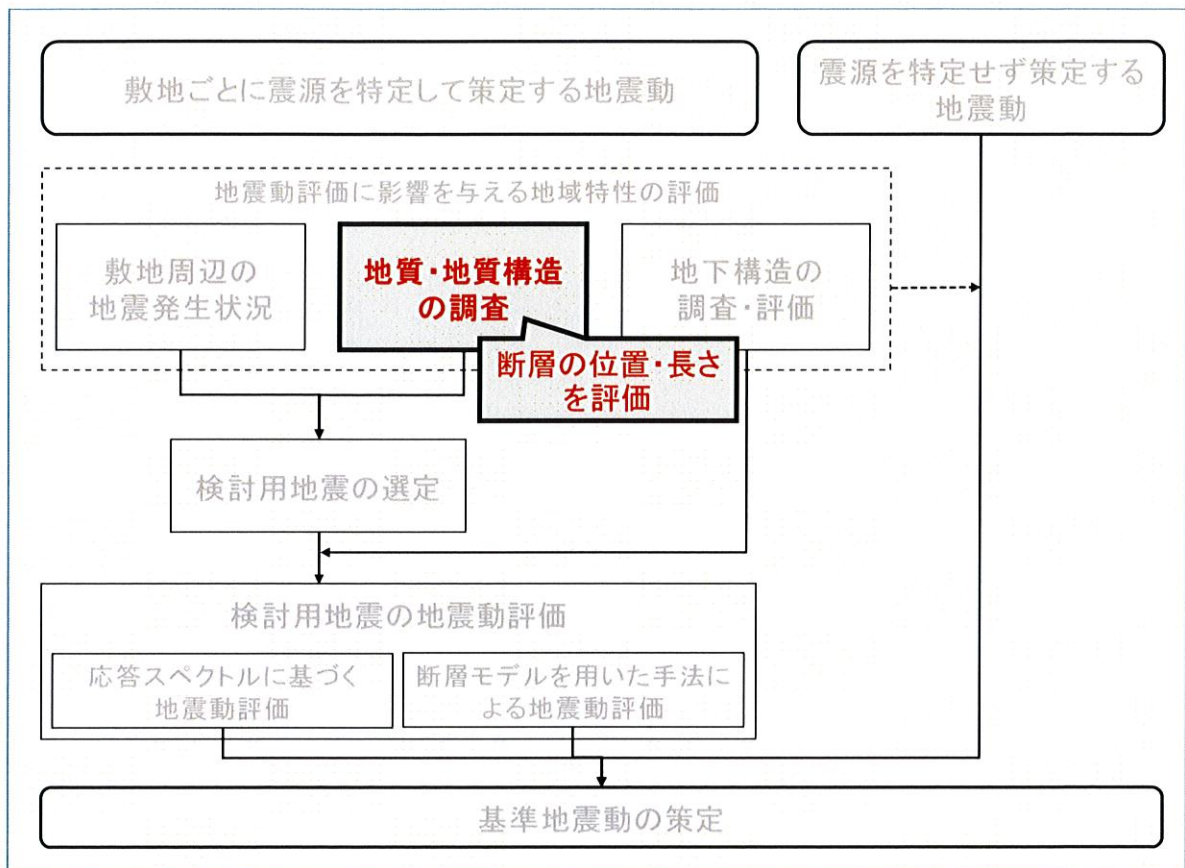
番号	発生年月日	マグニチュード	震央距離 (km)	地 名 (地震名)
1	745.6.5	7.9	106	美濃
2	1185.8.13	7.4	64	近江・山城・大和
3	1586.1.18	7.8	118	畿内・東海・東山・北陸諸道
4	1596.9.5	7.5	80	畿内および近隣
5	1662.6.16	7.5	44	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
6	1819.8.2	7.25	81	伊勢・美濃・近江
7	1891.10.28	8.0	100	愛知県・岐阜県 (濃尾地震)
8	1927.3.7	7.3	53	京都府北西部 (北丹後地震)
9	1963.3.27	6.9	42	福井県沖 (越前岬沖地震)

【図表 4 敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の被害地震】

(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った検討用地震の選定に係る評価が、地震発生状況を精査したものであること等から、設置許可基準規則解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、15～16 頁、乙 84、11～12 頁）。

2 活断層の分布状況の調査・評価



債務者は、活断層の分布状況の調査・評価にあたって、設置許可基準規則等の新規制基準の要求事項（下記（１））を踏まえ、震源断層と地表地震断層に関する知見（下記（２）ア）、本件発電所の敷地周辺地域の特性（同イ）を考慮して、詳細な調査を行い、「震源として考慮する活断層」の位置・長さを詳細に把握した（同ウ及びエ）。

（１）設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、震源として考慮する活断層を、「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断層」とした上で（同規則解釈別記1第3条3項、乙33、128～129頁）、「震源として考慮する活断層の評価に当たっては、調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に

組み合わせた調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号②i）、乙33、135頁）。

そして、「基準地震動の策定に当たっての調査については、目的に応じた調査手法を選定するとともに、調査手法の適用条件及び精度等に配慮することによって、調査結果の信頼性と精度を確保すること」を求めている（同項4号、乙33、137頁）。

また、震源断層の長さ等の「基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ」については、「敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること」を求めている（同項2号⑤、乙33、136頁）。

（２）債務者による調査・評価

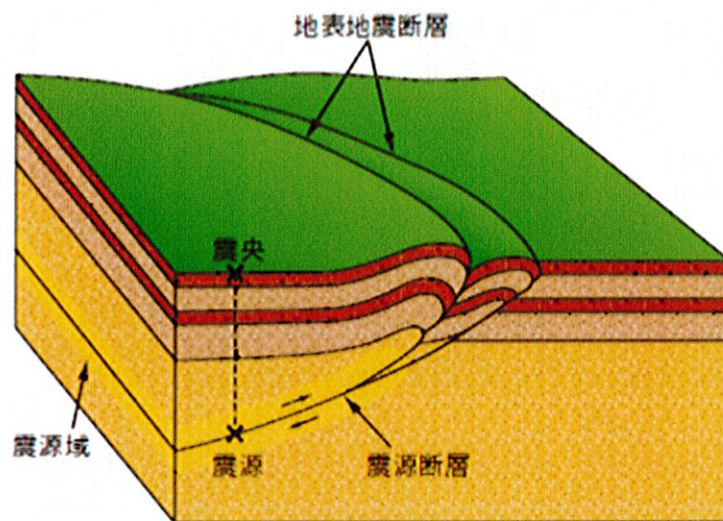
ア 震源断層と地表地震断層

（ア）本件発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震は、いずれも内陸地殻内地震であるところ（上記第2章第2の1（1）の脚注4を参照）、内陸地殻内地震が発生する（断層のずれが起こる）深さは一定の範囲（地震発生層）に限られる（答弁書71～73頁を参照）。この内陸地殻内地震による揺れを発生させる、地下の深い部分にある断層を「震源断層」といい、地震の発生によって地表に現れるずれを「地表地震断層」という（図表5）。

債務者は、将来も活動すると考えられる「震源断層」のことを「活断層」と呼んでいる（上記第2章第2の1（1）の脚注2を参照。本書面では、特に断わりのない限り、将来も活動すると考えられる「震源断層」を「活断層」という）。もっとも、債務者の呼び方とは異なり、「地表

地震断層」のことを「活断層」と呼ぶこともある。

なお、設置許可基準規則解釈における「震源として考慮する活断層」は後期更新世以降の活動を否定できない断層と定義されているところ（上記（１））、この断層とは「地表地震断層」ではなく「震源断層」のことを指す。



（地震本部ウェブサイトより）

【図表 5 震源断層と地表地震断層】

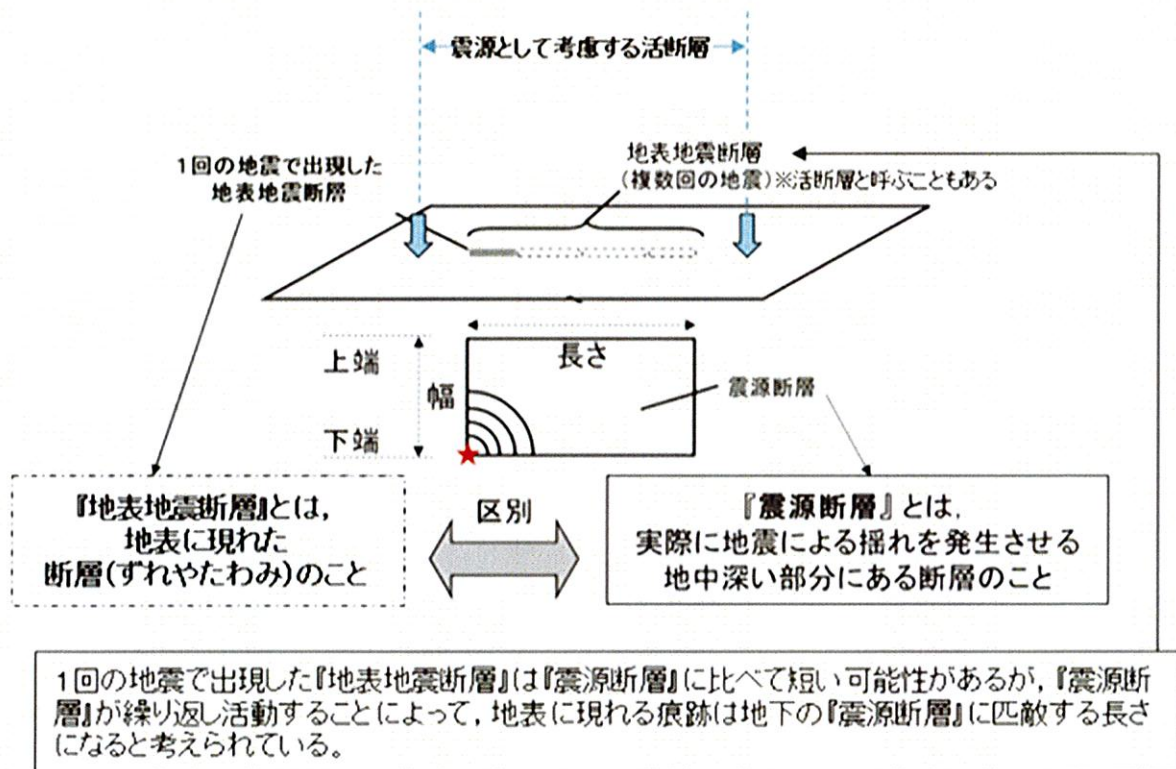
（イ）上記のとおり、震源断層は地下の深い部分にあるため、その位置や長さを直接調査することはできない。

しかし、1回の地震では、地中の震源断層と同じ長さの地表地震断層が出現するとは限らないが、震源断層は繰り返し地震を起こすことで、長い年月の間に地表に現れた地盤のずれやたわみが蓄積して、地表に明瞭な地表地震断層が生じるとされている。

このため、震源断層における地震の繰り返しによって地表に明瞭に現れた、地盤のずれやたわみの蓄積による「地表地震断層」の位置や長さを調査することで、「震源断層」を把握することができると考えられてい

るのである（図表6）。

債務者は、このような複数回の地震による地表地震断層を調査して、震源として考慮する活断層を評価しているのであり、1回の地震で出現した地表地震断層をもとに評価しているのではない。



【図表6 震源断層と地表地震断層との関係】

(ウ) 断層が繰り返し地震を起こすことで地表に現れたずれやたわみが蓄積し明瞭な痕跡が現れることは、上田（2003）²⁶（乙86）の実験結果によっても実証されている。

上田（2003）では、実験により、震源断層が繰り返し活動するに至っていない初期の段階、すなわち「未成熟」な状態である場合は、地表の

²⁶ 上田圭一「横ずれ断層系の発達過程ならびに変位地形の形成過程－断層模型実験による検討－」、電力中央研究所報告、U03021。なお、この上田（2003）は、乙87号証「高浜発電所・大飯発電所 震源を特定せず策定する地震動について コメント回答（抜粋）」の10頁で引用している論文である。

痕跡（地表地震断層）は不明瞭だが、震源断層が繰り返し活動し、地中のずれが何度も起きて「成熟」していくにつれて、ずれた箇所の上方の地表に現れる痕跡（地表地震断層）がより明瞭になっていくことが実証されており、実験で明らかとなった地表面の変形過程は、実際の地盤への適用性が高いと結論付けられている²⁷。

（エ）したがって、活断層が「未成熟」である場合には、地表にはまだ痕跡が十分に現れない場合が多く、地表を調査しても地表地震断層を把握できないために、活断層の適切な評価が困難となる可能性があるが、活断層が「未成熟」ではない場合、すなわち活断層が繰り返し活動していた場合は、地表に痕跡が現れ、下記ウ（イ）で述べる変動地形学的調査や海上音波探査等によって地表地震断層を把握することができ、活断層の適切な評価が可能となる。

（オ）なお、活断層が蓄積できるひずみの量には限度があり、蓄積を続けたひずみが限界に達したときに活断層はずれ動く（断層運動）。この断層運動によってひずみは一旦解消されるが、その後のプレート運動によって再びひずみが限界に達した場合は、再度断層運動が発生する。この点、活断層にかかる力のもととなるプレート運動の向きや大きさは長期的に変化しておらず、約40～50万年前以降、活断層に対する力のかかり方（力の向きや大きさ）は変化していないとされている。このため、活断層は同じ動きを繰り返し、同様の規模（又はそれ以下の規模）で、同様

²⁷ 具体的には、上田（2003）は、砂の入った土槽の底面（震源断層に相当するもの）を少しずつ横ずれさせて、地表面の写真撮影やX線CT撮影等を行う実験を行った結果（乙86、4頁右段3～8行目）、底面を繰り返し横ずれさせていくにつれて、地表面に、リーデルセン断（底面のずれと並行するずれ）、膨らみ、バルジ（小さな丘）、溝状地等の順に、より明瞭な痕跡（地表地震断層に相当するもの）が形成されていくことが明らかにされている（同13頁図5）。そして、かかる実験と、実際の横ずれ断層系（糸魚川－静岡構造線活断層系の釜無山断層群及び牛伏寺断層群、サンアンドレアス断層（Carrizo平原地域））の断層変位地形との比較の結果、実験で明らかとなった地表面の変形過程（底面を繰り返し横ずれさせると、より明瞭な痕跡が現れるという過程）は、実際の地盤への適用性が高いと結論付けられている（同14頁右段8～19行目）。

の方向に、繰り返し同じ面（断層面）を境にしてずれ動くことになる。

（このことは一般的な知見であり、地震は「過去に起きたところで繰り返して起こる」（乙88、「地震がわかる！Q & A」10頁）といった説明は、このことを表している。）

このため、活断層が、過去にずれ動いた断層面を大きく超えてずれ動くことは考えにくく、活断層が「未成熟」でない場合は、同じ断層面において繰り返し活動することで地表に現れた地表地震断層によって、その位置や長さを把握できると考えられる。

イ 本件発電所の敷地周辺地域の特性

（ア）活断層は、断層面の両側の岩盤にかかる力によるひずみが限界に達したときにずれ動くものであり、この岩盤にかかる力は地域によって異なるため、上記で述べた活断層の成熟度は、地域によって異なるものとなる。

（イ）本件発電所敷地周辺地域を含む中部地方や近畿地方は、日本列島の中でも明瞭な活断層が特に多く分布していることが確認されている地域の一つである。両地域の地域性に関して、岡田（2002）²⁸（乙89）は、「中部や近畿地方では、累積変位量（引用者注：活断層の活動によって生じたずれの総量をいう）の大きな明瞭な活断層が密に発達する。これらの地域では・・・大規模な活構造（同：活断層等の活動による地形をいう）は内帯（同：中央構造線を境に、日本海側を内帯、太平洋側を外帯という）の全域に発達」（乙89、30頁右段、10）、1～6行目）している²⁹

²⁸ 岡田篤正「山陰地方の活断層の諸特徴」、活断層研究22号、17-32頁。なお、この岡田（2002）は、乙87号証の9頁左で引用している論文である。

²⁹ なお、岡田（2002）は、本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価対象となった鳥取県西部地震が発生した山陰地域については、活断層の発達過程は初期の発達段階を示し、断層破碎帯も幅が狭く、未成熟な状態であるとしている。そして、活断層に沿う変位量（総変位量）は大きな

と指摘している。また、本件発電所の敷地周辺地域については、文献調査や陸域及び海域での詳細な調査（下記ウで述べる）により、活断層が繰り返し活動していることや、明瞭な活断層が本件発電所の周囲に分布していること、さらに、活断層が実際に活動したことを示す、活断層に関連付けられる地震も数多く見られることを確認している。

この点、活断層が繰り返し活動していることは、例えばF O - A ~ F O - B断層（下記エ（ア））の場合、図表14から読み取ることができる。すなわち、後期更新世以降に堆積したと考えられる地層（B層）と後期更新世より前に堆積したと考えられる地層（C層）との境界面（B / C境界面）の変位量と、C層のうち年代の新しい順に区分したC1層、C2層、C3層の各層の変位量を比較すると、断層活動によって生じるずれが累積されることで、年代の古い地層ほど変位量が大きくなっていることから、同断層は後期更新世より前から繰り返し活動してきたことが、同図表から分かる。

したがって、本件発電所の敷地周辺地域は、活断層が繰り返し活動しており、活断層の発達過程が「未成熟」ではなく、活動の痕跡が地表に現れている地域であることから、その現れた痕跡である地表地震断層を調査することで震源断層を把握することができる地域といえる。

（以上について、乙87）

（ウ）ところで、地下深くに位置する震源断層がずれても、地表付近の地層が軟らかければ、地下で生じたずれは、その地層で複数の小さいずれに分岐するなどして地表に痕跡が現れにくくなる。そのため、活断層を評価する際には、活断層の発達過程のみならず、地表付近の地層にも留意

く、活動間隔も長いことから、断層活動の開始時期も中部や近畿地方よりも遅いことが示唆されるとし（乙89、30頁左段、2）、山陰地域と中部や近畿地方は著しく異なる地体構造域となっている（同頁右段、10）6～7行目）。なお、地体構造域とは、地震の規模と頻度の関係、震源深さの分布、震源メカニズムなどの地震の起こり方に共通性が認められる領域をいう。

することが必要となる。

一般に、比較的新しい年代に堆積した地層や噴火した火山からの噴出物といった、比較的軟らかい地層が活断層の上部に厚く分布する地域では、地震の際の地下のずれが地中で留まり、地表地震断層が現れにくいことが知られている。しかし、本件発電所の敷地周辺については、舞鶴帯、超丹波帯、丹波帯と呼ばれる新第三紀（約2300万年前～約260万年前）よりも前の比較的硬い岩盤が分布しており、広範囲にわたって軟らかい堆積物や火山噴出物が厚く分布するところがないことを確認している（図表7）。

つまり、地下で生じたずれが、（複数の小さなずれに分岐するなどして）地中に留まることなく、地表にその痕跡を現しやすいのであり、震源断層が把握しづらくなるようなことはない。



【図表7 本件発電所敷地周辺の地質】

(エ) 本件発電所の敷地周辺については、上記（イ）及び（ウ）で述べたような特性が認められることから、債務者は、上記（１）の要求事項を踏まえ、地表地震断層を調査することにより震源断層を把握することとしている。

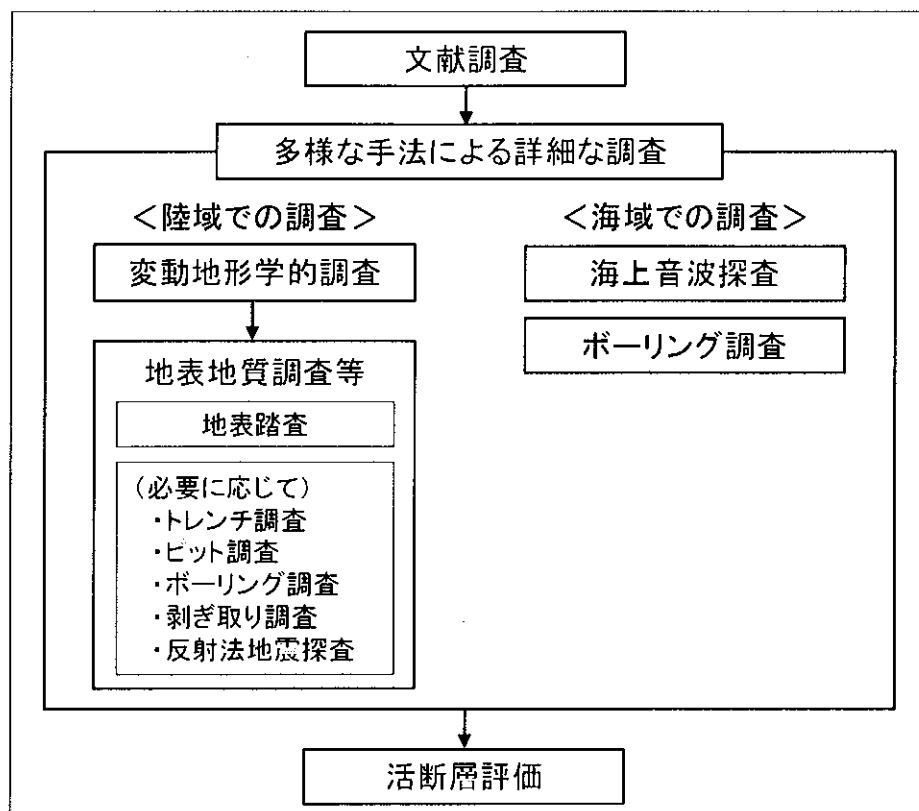
その際、地表地震断層の長さの過小評価は、震源断層の過小評価、ひいては震源として考慮する活断層の過小評価につながり得るということに留意する必要がある。そこで、債務者は、陸域及び海域を問わず全域を網羅的に調査して活断層を把握し、また、活断層の端部の評価にあたっては、長さを短く見積もることのないよう、詳細な調査により活断層の活動の痕跡の無いことが明確に確認できる箇所（上記ア（イ）の図表６内、下向きの太い水色の矢印が指している箇所）を特定し、そこまで活断層を延長することで、活断層の長さを保守的に評価している。

例えば、本件発電所の敷地周辺は、上記（ウ）のとおり、比較的硬い岩盤が分布している地域であるものの、活断層の痕跡の端付近が厚い堆積層に覆われている場合には、その場所を端部とするのではなく、さらに延長して、活断層の痕跡の無いことが明確に確認できる箇所を探索し、当該箇所を端部と評価することで、活断層の長さを保守的に評価するなどしている（例えば、上林川断層について、下記エ（エ）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などの地層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ている（例えば、F O－A～F O－B断層と熊川断層との連動の可能性について、下記エ（ウ）を参照）。

ウ 調査の具体的内容

債務者が行った断層の調査及び評価は、具体的には以下のとおりである（図表8）。



【図表8 断層の調査・評価の流れ】

(ア) 文献調査

まず、本件発電所敷地周辺の陸域及び海域を対象に文献調査を実施した。

国内の地形、地質、地震等に関する研究者が参集した活断層研究会による「[新編] 日本の活断層」、海上保安庁水路部（現海上保安庁海洋情報部）発行の「5万分の1沿岸の海の基本図」等の文献に記載されている既往の調査結果から、本件発電所敷地から概ね半径100kmの範囲の地形及び地質・地質構造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（乙30の1、添付書類六、6-3-2～6-3-3頁、6-5-3頁）。

この文献調査により、主要な活断層の有無、位置・長さ等を把握することができ、本件発電所の基準地震動を策定する際に参照すべき活断層を把握することができる。

（イ）陸域及び海域における調査

次に、本件発電所敷地の近くで発生する地震は敷地への影響がより大きいことを踏まえ、本件発電所から少なくとも半径30km以内については、陸域及び海域それぞれの全域で多様な手法による調査を行い、網羅的に活断層を把握した（乙30の1、添付書類六、6-3-3～6-3-4頁、乙90、「高浜発電所 地盤（敷地周辺、敷地近傍の地質・地質構造）について」等）。

以下、陸域（下記a）と海域（下記b）に分けて説明する。

a 陸域における調査

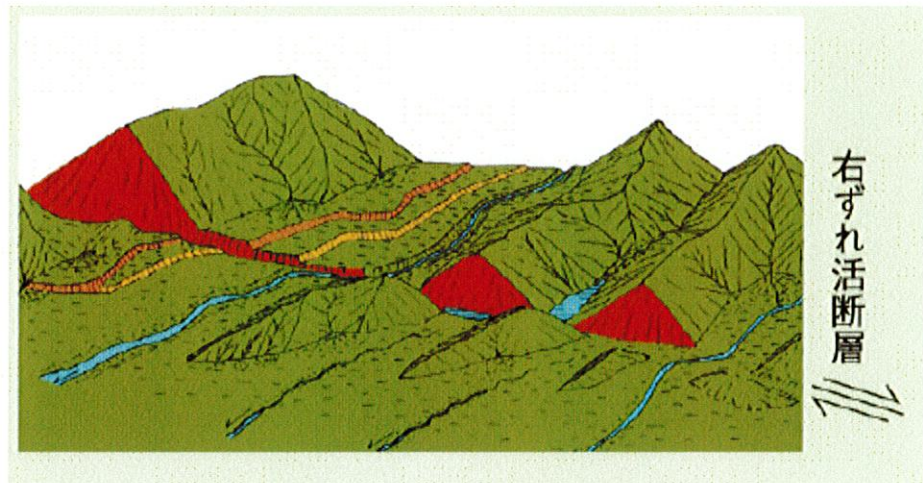
（a）変動地形学的調査

活断層は繰り返し地震を起こすことで、長い年月の間に地表に現れた地盤のずれやたわみが蓄積し、明瞭な痕跡としての変動地形・リニアメント³⁰（図表9）が形成されと考えられている。

そこで、活断層の有無やその位置等を把握するために、まず、空

³⁰ 断層が繰り返し活動すること等により、谷や尾根において、その傾斜が急変したり、横ずれしたりする地形的な特徴が現れ、このような特徴が直線、又は直線に近い状態で配列することが知られている。このような断層活動等に伴う変動地形の可能性のある地形をリニアメントという。リニアメントは変動地形の一種である。

中写真判読³¹・航空レーザー測量³²等を用いた変動地形学的調査³³を本件発電所から半径30km以内の全域で網羅的に実施し、変動地形・リニアメントの可能性がある地形を、不明瞭なものや断層活動によるものではない可能性があるものも含め、漏れなく抽出した。



【図表9 リニアメントの例】

(b) 地表地質調査等

上記の文献調査及び変動地形学的調査により、活断層又は変動地形・リニアメントの可能性があると考えられた地形については、稠密な地表踏査を行い、さらにトレンチ調査³⁴、ピット調査³⁵、ボーリング

³¹ 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。

³² 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。

³³ 変動地形とは、長い地質時代の中に繰り返し発生した地震及び火山活動等に起因する痕跡の累積効果である特徴的な地形をいい、変動地形学とは、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（地形学の一種）をいう。

³⁴ 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。

³⁵ ピット調査とは、地表から比較的規模の小さな縦穴（ピット）を掘って、地表面下の地質状況を直接観察する調査をいう。

調査³⁶、剥ぎ取り調査³⁷、反射法地震探査³⁸といった多様な手法も用いて、より精度の高い、詳細な地表地質調査等を実施した。

債務者は、これらの地表地質調査等において、後期更新世以降（約12～13万年前以降）に堆積した地層における、断層活動の痕跡（断層活動による変位・変形）の有無を確認し、変位・変形が確認できた場合は、後期更新世以降に断層活動があったものと評価し、「震源として考慮する活断層」とした。

b 海域における調査

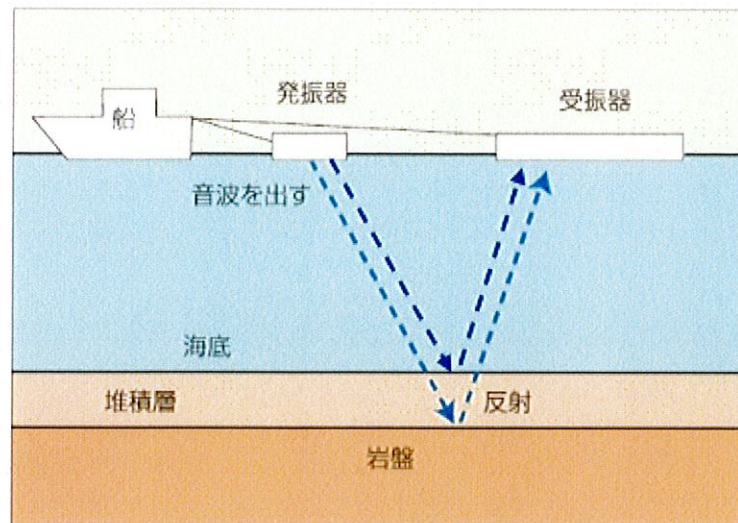
（a）一方、海域においては、債務者は、地質調査所（現国立研究開発法人産業技術総合研究所）及び海上保安庁等が行った海上音波探査記録を用いて地質・地質構造を評価するとともに、自らも海上ボーリング調査及び海上音波探査³⁹（図表10）を行った。このうち債務者が行った現地調査では、海上ボーリング調査で採取した堆積物や岩石を分析することにより、海域に堆積している地層の年代と深度を把握し、その上で海上音波探査を行った。

³⁶ 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。

³⁷ 剥ぎ取り調査とは、地表に堆積した土砂、草木等を取り除き、地表面下の地質状況を直接観察する調査をいう。

³⁸ 反射法地震探査とは、発振器で地表面から人工的に波を発し、受振器で地層からの反射波を観測、解析して、波が伝わる速度が変化する境界面の位置、構造を把握する調査手法をいう。

³⁹ 海上音波探査は、調査船が曳航する発振器で海面下から音波を発し、これが海底面や海底下の地層境界で反射したものを受振器で観測、解析して、波が伝わる速度が変化する境界面の位置、構造を把握する調査手法である。

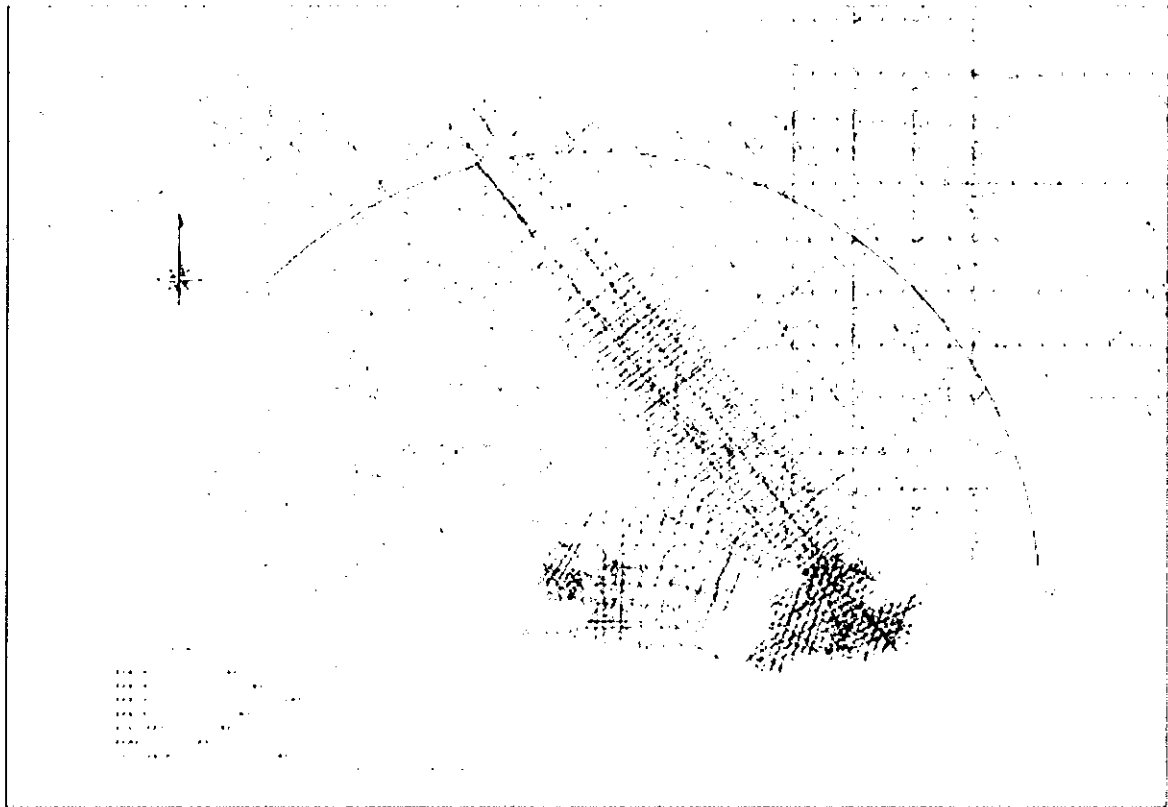


【図表 1 0 海上音波探査】

(b) 海上音波探査では、本件発電所敷地周辺の海域における断層の有無や活動性を網羅的に把握するため、当該海域に格子状等に配置した無数の海上音波探査測線により、詳細に調査・評価した（図表 1 1。乙90、165頁）。

これらの調査により、陸域と同様、後期更新世以降の断層活動の痕跡（断層活動による変位・変形）の有無を確認した。

その際、敷地に与える影響が大きい断層については、その端部や、延長部分の付近において、断層の走向に対して直交するように複数の測線を近接して配置し、断層の端部を慎重に評価した。



163

【図表 1 1 敷地周辺の海上音波探査測線】

(ウ) 小括

以上のとおり、債務者は、陸域・海域を問わず、概ね半径100km以内の全域で、活断層の有無、位置・長さ等の概要を把握するとともに、半径30km以内の全域で変動地形学的調査及び海上音波探査により、活断層や変動地形・リニアメントが存在する可能性のある地形を抽出した。

そして、それらの地形に対して、多様な手法を組み合わせで詳細な調査を実施し、網羅的に地質・地質構造を把握して、本件発電所の地震動評価において「震源として考慮する活断層」を漏れなく把握した。

エ 各断層の具体的な評価

債務者は、上記のとおり行った網羅的な調査結果をもとに、震源として考慮する活断層のうち本件発電所に与える影響が大きいと考えられる、F O - A ~ F O - B 断層、熊川断層及び上林川断層（下記第5の1（2））について、その位置を詳細に把握した上で、地震動の評価が安全側となるよう、長さや連動の可能性を保守的に評価した。以下、具体的に説明する。

（ア）F O - A ~ F O - B 断層

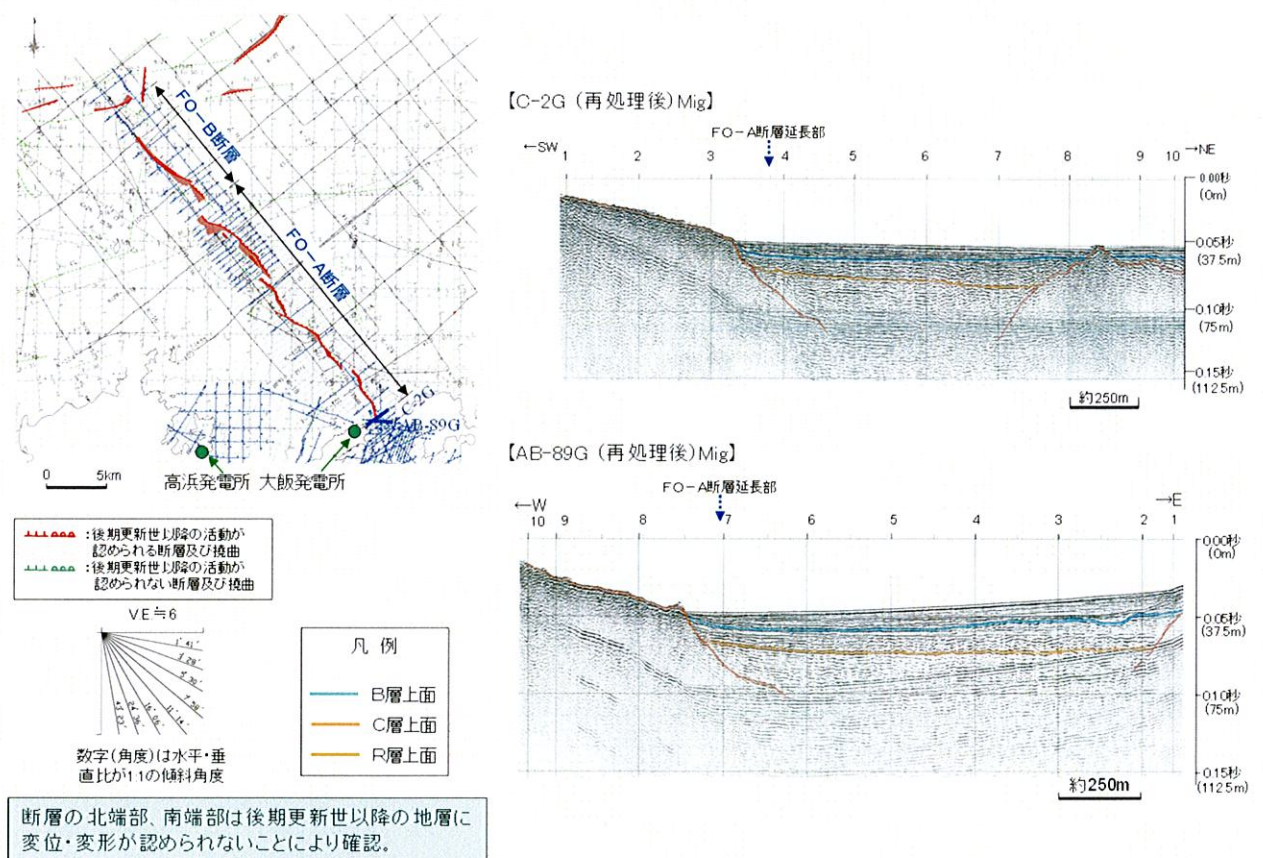
F O - A 断層及びF O - B 断層は、本件発電所の北側の若狭湾内に北西から南東方向に延びる断層である。F O - A 断層は、既存文献（海上保安庁水路部『5万分の1沿岸の海の基本図』、活断層研究会『[新編] 日本の活断層』）では長さ18kmとされていた。また、F O - B 断層は、既存文献には記載が無かった。

債務者は、F O - A 断層及びF O - B 断層について、詳細に海上音波探査等を行い、慎重に検討した結果、その長さをそれぞれ約24km、約11kmと評価した。両断層は、それらを区分するC - 4 7 G 測線において鉛直方向の変位量が認められないこと等から個別の断層と評価されるが、断層の走向がいずれも北西 - 南東方向であること等、特徴が類似していることから両断層は同時活動するものとし、「F O - A ~ F O - B 断層」として、その長さを約35kmと評価した。

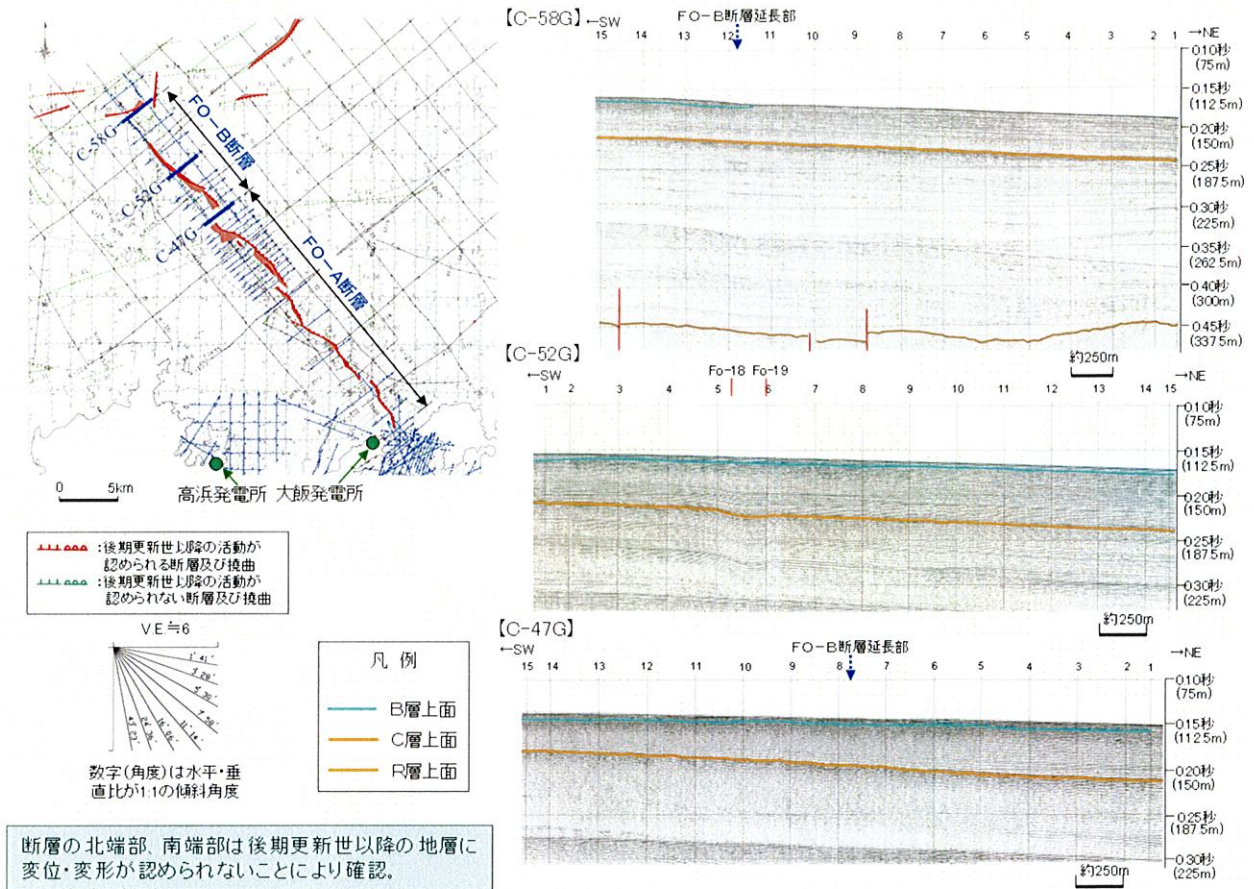
（乙90、171～179頁、乙30の1、添付書類六、6-3-73～6-3-75頁）

具体的には、債務者は、海上ボーリング調査で採取した堆積物や岩石を分析することによって海域に堆積している地層の年代を把握した上で、海上音波探査を行い、後期更新世以降に堆積したと考えられるB層の中で最も古く堆積した地層に断層活動による痕跡が認められない、つまりこの地層に段差がない箇所を端部とした。

その結果、F O - A 断層の南東端についてはC - 2 G 測線を端部と評価し（図表 1 2（乙 90、174 頁）の右上図。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表 1 として添付する）、F O - B 断層の北西端についてはC - 5 8 G 測線を端部と評価した（図表 1 3（乙 90、178 頁）の右上図。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表 2 として添付する）。



【図表 1 2 F O - A 断層に関する調査結果】

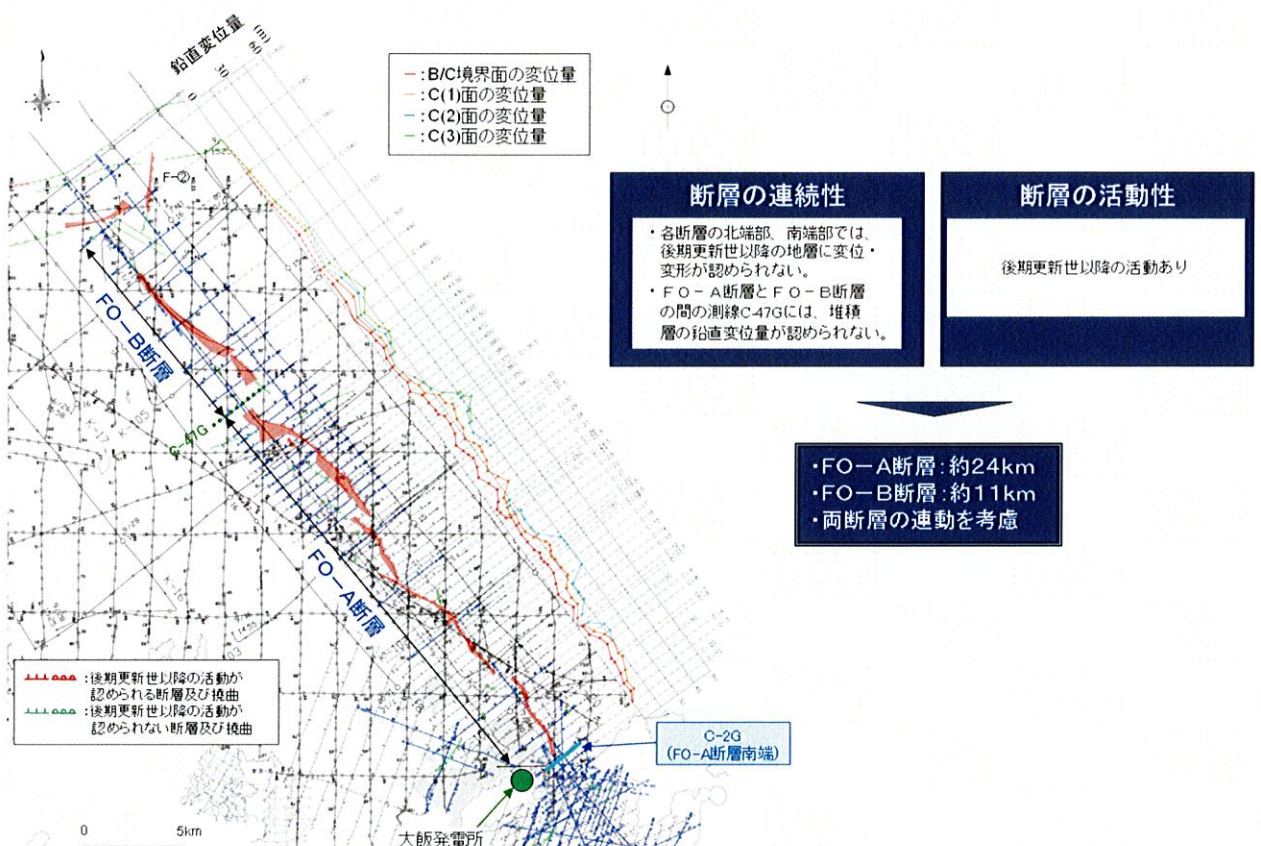


【図表 1 3 F O - B断層に関する調査結果】

C - 5 8 G測線及びC - 2 G測線を含む、F O - A断層及びF O - B断層の各測線における確認の結果をまとめたのが図表 1 4 (乙90、179頁。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表 3 として添付する) の左側の図である。

F O - A断層及びF O - B断層に沿って「鉛直変位量」の折れ線グラフが並べられているが、その中の赤色の折れ線(「B/C境界面の変位量」)がB層の下面の変位・変形の大きさを示している。この赤色の折れ線グラフの値は、F O - B断層の北西及びF O - A断層の南東に向かうにつれてそれぞれ減少していき、C - 5 8 G測線(図内で「F O - B

断層」の両向き矢印（ $\leftrightarrow$ ）の左上端が触れている右上－左下方向の測線）及びC－2G測線（図内で「C－2G」と示されている測線）では、その値が「0m」になっており、B層に変位・変形がないことが分かる。



【図表14 FO-A断層、FO-B断層の評価】

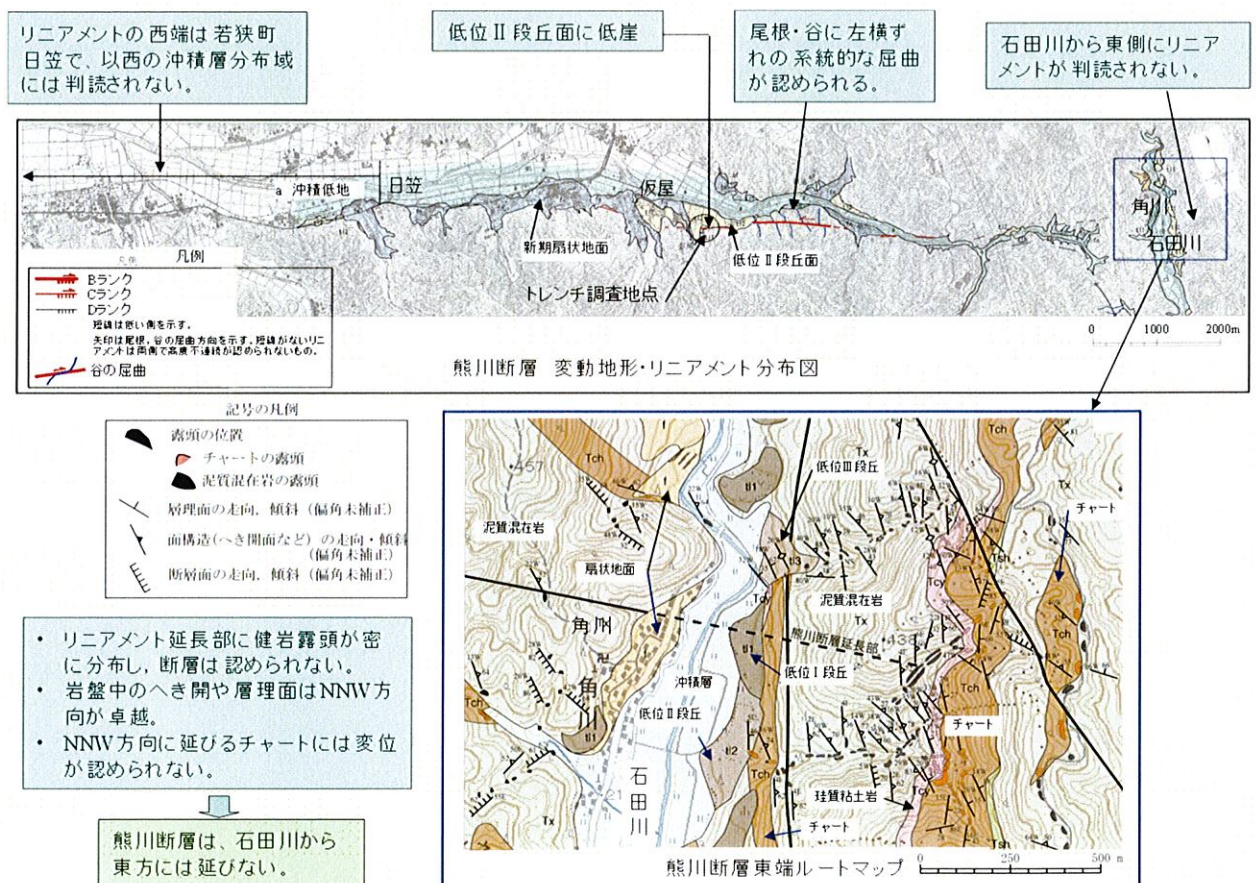
(イ) 熊川断層

熊川断層は、FO-A～FO-B断層の南東側の陸上に西北西から東南東方向に延びる断層である。熊川断層は、既存文献（活断層研究会『[新編] 日本の活断層』、岡田篤正・東郷正美「近畿の活断層」）では長さ9km、又は12kmとされていた。

債務者は、熊川断層について、反射法地震探査や地形・地質の状況か

ら、その長さを約14kmと評価した（乙90、43～73頁、乙30の1、添付書類六、6-3-28～6-3-35頁）。

熊川断層の南東端については、リニアメント（上記ウ（イ） a（a）を参照）がなく、地上に露頭した後期更新世より前の岩盤に断層が認められない角川付近とした（図表15。乙90、45頁）。具体的には、同図表中の凡例の「チャートの露頭」及び「泥質混在岩の露頭」で示される箇所が、地上に岩盤の露頭が見られる箇所であり、ここに断層活動の痕跡が確認されなかったことから、熊川断層はこれより東側に延びていないとし、南東端としたものである。



【図表15 熊川断層の南東端の評価】

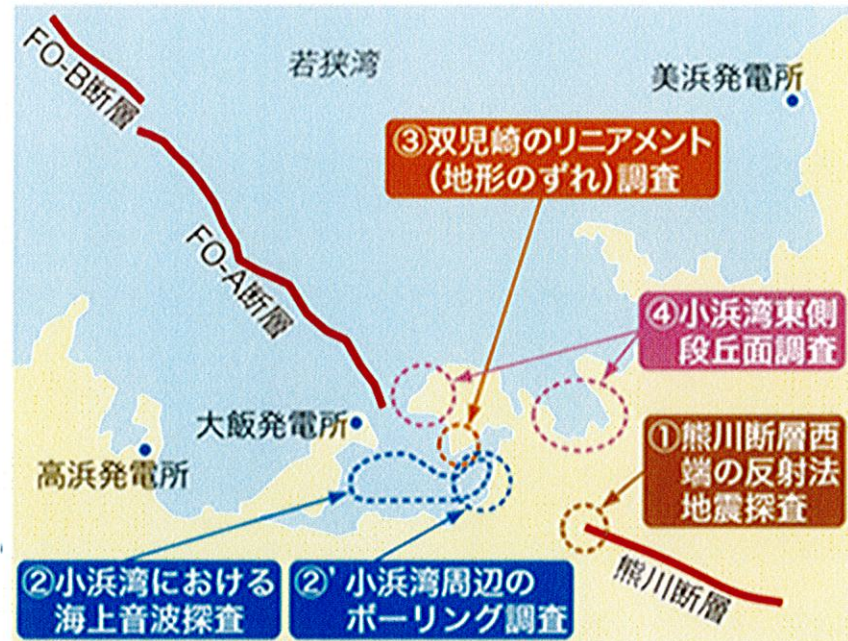
一方、北西端は、南東端のように露頭した岩盤が見られず、地表の痕跡から評価することができなかったことから、反射法地震探査により地下に熊川断層の存在を示唆するような断層活動の痕跡が認められない、つまり後期更新世より前の岩盤から、後期更新世以降に堆積した層を含む地表までの地層が大きな段差なく堆積しているNo. 2測線（下記（ウ）bの図表16の下図、右下にある「No. 2測線」とした（乙90、65頁）。

（ウ）FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動

- a FO-A～FO-B断層と熊川断層については、債務者が実施した調査で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から、FO-A～FO-B断層と熊川断層とは連動しないと判断した。
- b しかしながら、（Ⅰ）断層の延びる方向が似かよっている、（Ⅱ）熊川断層の北西延長上の小浜湾内で原子力安全・保安院が実施した海上音波探査において、後期更新世以降に堆積した地層に断層活動の痕跡の可能性が否定できない反射面の変形（堆積した地層の境界面における段差）が認められたとされている、（Ⅲ）FO-A～FO-B断層と熊川断層の間にリニアメントが認められ、そのリニアメントは、両断層のずれ方（いずれも横ずれ断層であるが、断層の東側が西側に対して沈降する縦ずれの成分も有している）と同様の傾向を示している、といった指摘が原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合でなされたこと等から、FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動性について、平成25年に更に詳細な調査を実施した。

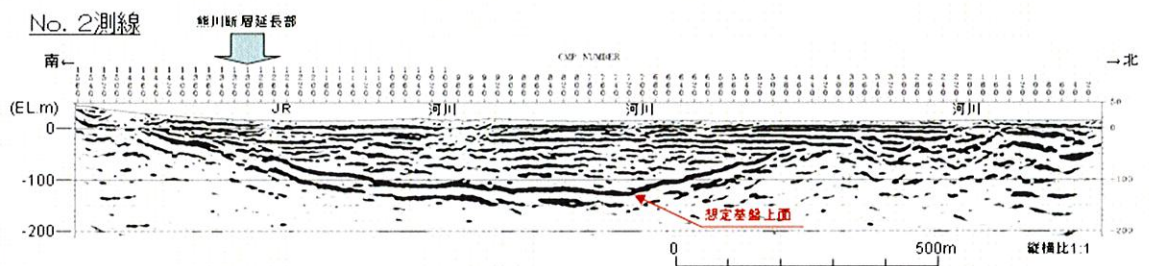
具体的には、図表16のとおり、①熊川断層西端の反射法地震探査（下記（a））、②小浜湾における海上音波探査及び②'小浜湾周辺のボーリング調査（下記（b））、③双児崎のリニアメント調査（下記

(c))、④小浜湾東側段丘面調査(下記(c)及び(d))を実施したが、次に述べるとおり、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。



【図表 1 6 小浜湾等の海域・陸域調査】

(a) ①熊川断層西端の反射法地震探査では、図表 1 6 の下の図の「E1」、「E2」、「No. 1」、「No. 2」の各測線における探査によって反射面を把握した（図表 1 7 はNo. 2測線の探査結果である）。その結果、各測線の地下の後期更新世以降に堆積した地層に断層活動の痕跡が認められなかったことから、熊川断層が小浜湾方向へ延伸していないことを確認した。



【図表 1 7 熊川断層西端の反射法地震探査結果 (No. 2測線)】

(b) 次に、②小浜湾における海上音波探査と②' 小浜湾周辺のボーリング調査では、債務者は、小浜湾内において約400m間隔で測線を縦横に配置して海上音波探査を実施するとともに、同湾内でボーリング調査を実施した。当該調査における海上音波探査の調査測線及びボーリング調査のボーリング点の位置は、図表 1 8 のとおりである。

の地層の広がりを確認したところ、後期更新世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（同6-3-383頁等）等から、原子力安全・保安院から指摘のあった反射面は断層活動によるものではない（つまり、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとは認められない）と判断した。

（c）次に、③双児崎のリニアメント調査及び④小浜湾東側段丘面調査では、債務者は、航空レーザー測量に基づく地形図の分析及び現地での海岸付近の地形の調査を行った。

調査の結果、指摘されるような左横ずれを示す地形はなく、断層の存在を示唆するリニアメントは認められなかった。

また、F O - A ～ F O - B 断層と熊川断層との間に、原子力安全・保安院の指摘（上記b冒頭段落の（Ⅲ）の指摘）のとおり、両断層と同様のずれ方をする断層が存在するとした場合、当該断層もまた、断層の東側が西側に対して沈降するはずである。この点、図表19に示すとおり、その両側に位置する同年代に形成された岩盤であるベンチ（波打ち際で波浪によりできた平坦面）の高さは、いずれも標高約30～50cmであり、そのような高度差は認められなかった。

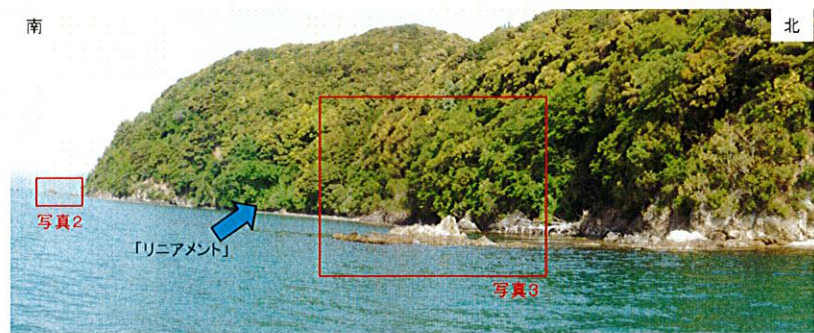


写真1(双児崎)
双児崎南東岸の全景写真(東方から西方に向かって撮影)
「リニアメント」と指摘されているエリアの北側と南側の岩礁には、どちらにも、標高約30～50cmのベンチが分布する。



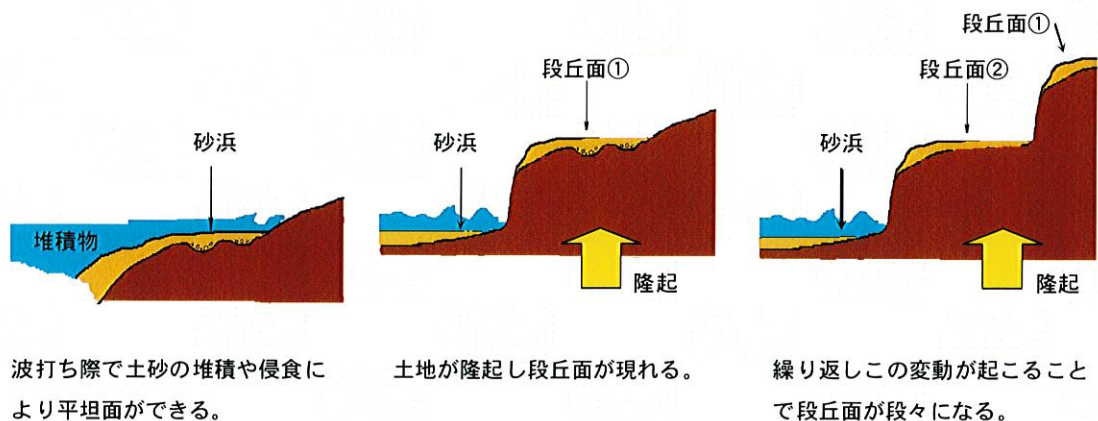
写真2(双児崎)
「リニアメント」と指摘されているエリアの南側に分布するベンチ。
ベンチの高さは標高約30～50cm。



写真3(双児崎)
「リニアメント」と指摘されているエリアの北側に分布するベンチ。
ベンチの高さは標高約30～50cm。

【図表19 双児崎のリニアメント調査】

(d) さらに、④小浜湾東側段丘面調査では、小浜湾を挟んだ東西の半島等で海成段丘面の高さを調査した。海成段丘面とは、波打ち際で土砂の堆積や侵食によりできた平坦面が隆起することのできる面をいい(図表20)、同年代に形成された海成段丘面を把握することにより、平坦面が形成されて以降の隆起の状況を把握することができる。



【図表 2 0 海成段丘面の形成過程】

上記（c）で述べたとおり、小浜湾にF O－A～F O－B断層及び熊川断層と同様のずれ方をする断層が存在する場合、小浜湾の東側の海成段丘面（約12～13万年前に形成されたもの）が、同年代に形成された西側の海成段丘面に比べて沈降することで高度差が見られるはずである。

しかしながら、調査の結果によると、図表 1 6 の下の図内に記載しているとおり、小浜湾の西側の鋸崎～台場浜（同図左上の「④」。海成段丘面の標高約12～15m）、赤礁崎（同図左中ほどの「④」。同約10～14m）などで確認された海成段丘面と、小浜湾の東側の泊（同図中央やや左の「④」。同約15～18m）や田島（同図右の「④」。同約15m）で確認された海成段丘面は、いずれも同年代に形成されたものであるところ、そのような高度差は認められなかった。

（e）以上のとおり、いずれの調査によっても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なかった。

c また、両断層の間には、過去に連動した実績が確認されている断層間の最大の離隔距離（7km）の2倍を超える離隔距離（15km以上）があることから、債務者は、両断層は連動しないものと評価した。

（以上 a～c について、乙30の1、添付書類六、6-3-28～6-3-35頁、6-3-73～6-3-78頁。なお、調査結果の詳細については、乙90、184～187頁、乙91の1、「大飯発電所、高浜発電所 F O - A ～ F O - B 断層と熊川断層の連動に関する調査結果 コメント回答」、乙91の2、「同別添資料集」、乙92の1、「大飯発電所、高浜発電所 F O - A ～ F O - B 断層と熊川断層の連動に関する調査結果 コメント回答」、乙92の2、「同 別添資料集」、乙93、「大飯発電所、高浜発電所 敷地周辺の活断層評価について コメント回答」のとおり）

d しかしながら、債務者は、地震動評価にあたっては、原子力規制委員会における議論も踏まえ、十分に保守的な評価を行う観点から、F O - A ～ F O - B 断層と熊川断層が連動するとの震源断層モデル（「F O - A ～ F O - B ～ 熊川断層」という震源断層モデル）を設定することとし、断層長さは63.4kmとした（下記第5の2（2）イ（ア）及び同3（2）イ（ア）a（a））。

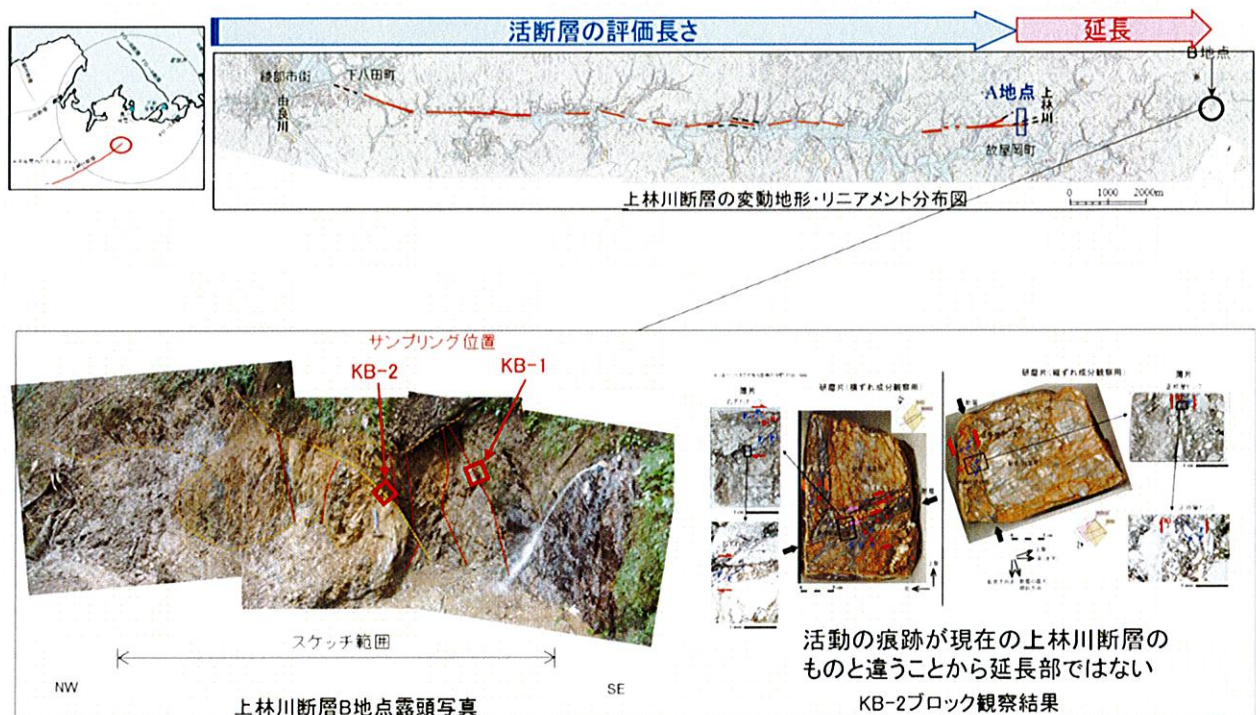
（エ）上林川断層

上林川断層は、本件発電所の南西側の陸域に位置し、北東から南西方向に延びる断層である。上林川断層は、既存文献（地震本部の「三峠・京都西山断層帯の長期評価について」）では長さ約26kmとされていた。

債務者は、上林川断層について、詳細な地形・地質調査を行い、上記の長さ約26kmよりも13km以上長い、約39.5kmと評価した。

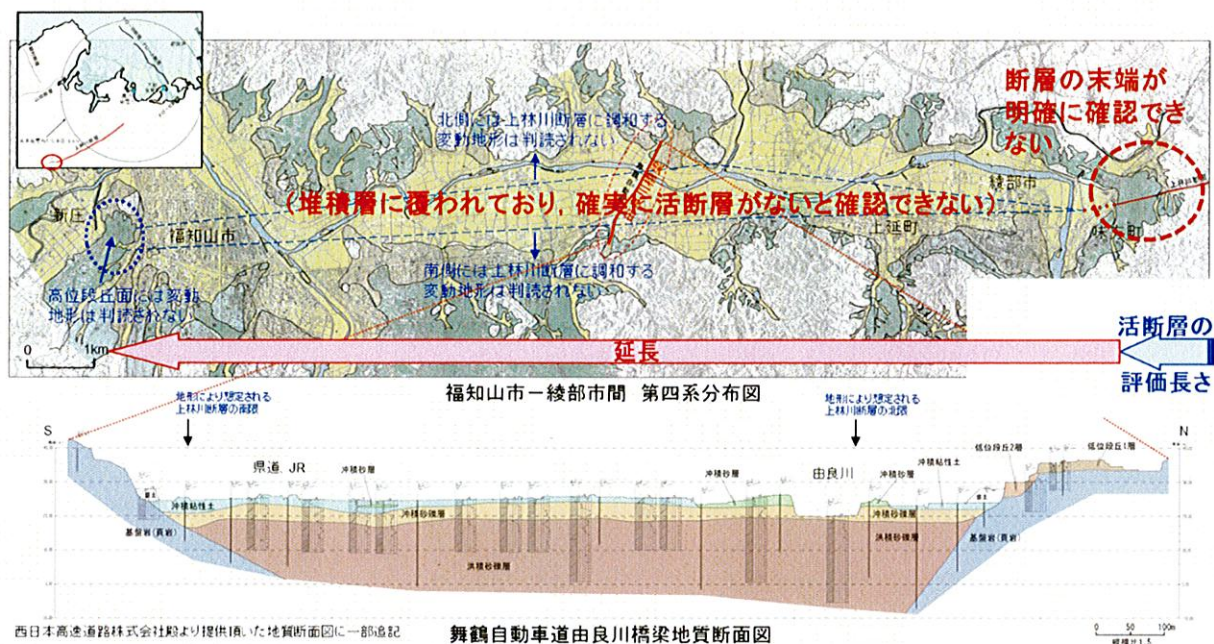
具体的には、北東端については、リニアメントが認められなくなる故屋岡町付近よりもさらに東側の延長線上において、露頭した岩盤に後期

更新世以降の活動が確実にないことが確認できた県境付近とした（図表21）。また、南西端については、文献調査で南西端とされていた付近の地域は比較的新しい年代の厚い堆積層に覆われており、活断層の痕跡の端付近で端部が確認できなかった。そのため、そこからさらに延長し、後期更新世より前に形成された地層（高位段丘面）に変動地形が認められず、確実に活断層がないと確認できた福知山市付近を南西端と評価した（図表22）。（乙90、17～42頁、乙30の1、添付書類六、6-3-19～6-3-28頁）



上林川断層北東端は、変動地形の端であるA地点からさらに北東に延長し、少なくとも後期更新世以降の活動が見られないことが確認できたB地点までと評価した。

【図表21 上林川断層の北東端の評価】



上林川断層南西端は、文献では味方町付近まで(約26km)とされているが、現地調査で末端が確認できなかったため、念のために確実に活断層がないと確認できる福知山市付近まで(約39.5km)連続するものと評価した。

【図表 2 2 上林川断層の南西端の評価】

(オ) 小括

このように、債務者は、「震源として考慮する活断層」のうち本件発電所に与える影響が大きいと考えられる活断層については、その長さや運動を保守的に考慮することにより、地震動評価に用いる活断層の長さを保守的に評価した。

オ 活断層の分布状況と検討用地震の候補

以上の調査によって確認した、本件発電所敷地周辺を含む若狭湾周辺における「震源として考慮する活断層」の主なものの分布は、図表 2 3 のとおりである(乙 94、「高浜発電所 1～4 号炉 敷地周辺の地質・地質構造、地震動評価について(最新審査実績の反映)」2 頁)。

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)
1	安島岬沖～和布－干飯崎沖～ 甲良城断層	76	8.0	76
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※1	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	FG A3東部	29	7.3	60
14	FO－A～FO－B～熊川断層	63.4※1	7.8	15
15	FO－C断層	20※1	6.8※2	18
16	甲良城沖断層～浦底断層～ 池河内断層～柳ヶ瀬山断層	36	7.4	56

※1 地震動評価上の長さ

※2 孤立した短い活断層として、M6.8の地震規模を想定した。

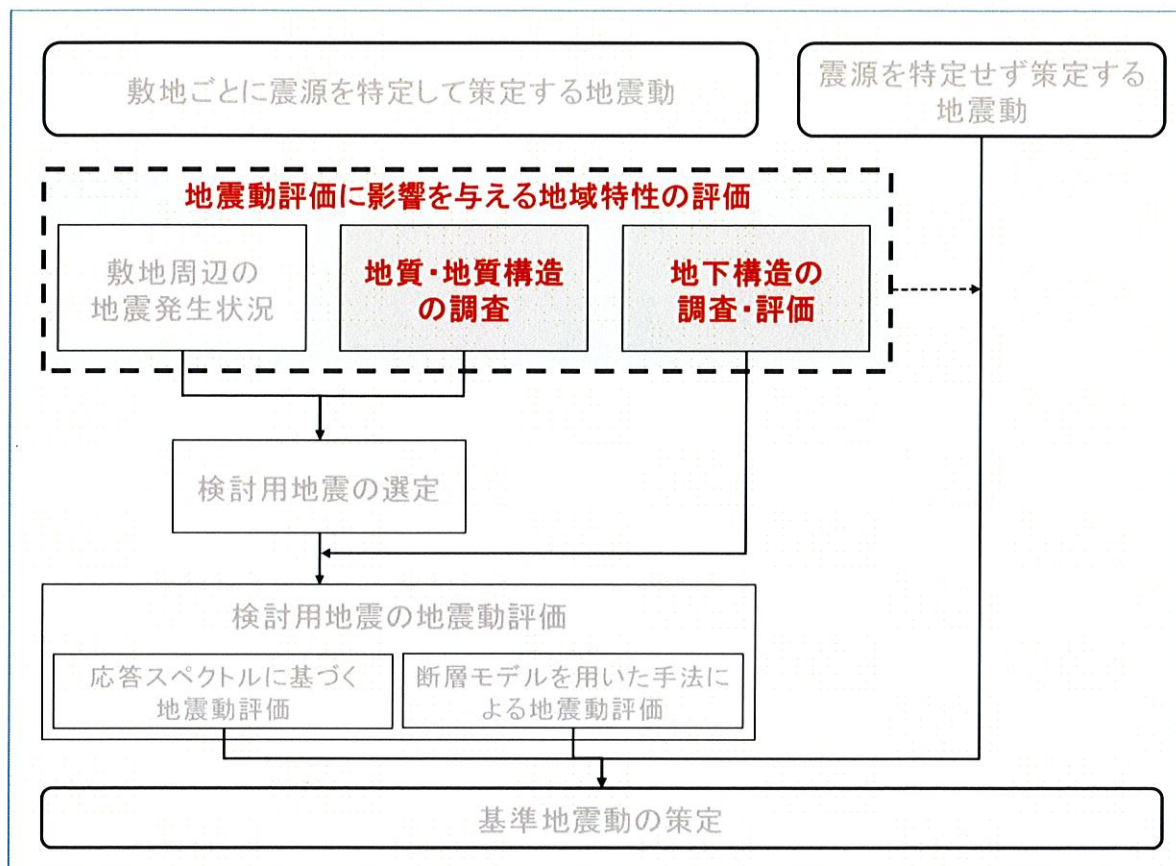
【図表 2 4 敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震⁴⁰⁾】

⁴⁰⁾ なお、高浜 1、2 号機の設置変更許可申請において、本件発電所敷地周辺の活断層の分布について諸元の見直しが行われた。その結果、「和布－干飯崎沖断層～甲良城断層」（図表 2 4 の 1 番）が「安島岬沖～和布－干飯崎沖～甲良城断層」（長さ 76km、規模 M8.0、震央距離 76km）となり、新たに「甲良城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層」（長さ 36km、規模 M7.4、震央距離 56km）が同図の 16 番として追加されたが、いずれも本件発電所の検討用地震の選定に影響しないことを確認している。（乙 94、2～4 頁、29 頁）

(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った「震源として考慮する活断層」の評価に関して、調査地域の地形・地質条件に応じて適切な手法、範囲及び密度で調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し、活断層の位置、形状、活動性等を明らかにしていることから、設置許可基準規則解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、14～15 頁、乙 84、11～12 頁）

3 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価



債務者は、設置許可基準規則等の新規制基準の要求事項（下記（１））を踏まえ、上記１及び２の調査・評価のほか、本件発電所敷地周辺の地質・地質構造、敷地及び敷地周辺の地下構造に関する様々な調査を行い、その結果から、地震動評価に影響を与える地域的な特性である「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」を評価した（下記（２））。

こうした地域的な特性に関する調査・評価の結果は、下記第２で述べる地震動評価のパラメータとして用いるなど、基準地震動の評価結果を左右することになる⁴¹。そのため、調査・評価にあたっては、基準地震動の過小評価をもたらすことのないよう、随所で保守的な考慮を行っている。

⁴¹ なお、「震源を特定せず策定する地震動」の評価（下記第３）においても、本件発電所周辺の地域特性が適宜考慮されている。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「震源として考慮する活断層」（上記2（1）を参照）の評価にあたって、「調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に組み合わせた調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号②i）、乙33、135頁）。また、「基準地震動の策定に当たっての調査については、目的に応じた調査手法を選定するとともに、調査手法の適用条件及び精度等に配慮することによって、調査結果の信頼性と精度を確保すること」を求めている（同項4号、乙33、137頁）。

次に、地震動評価にあたっては、「地震発生様式及び地震波の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」を求めている（同項2号④、乙33、135頁）。

そして、地震波の伝播特性に関して、「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」を求めている（同項4号①、乙33、137頁）。

なお、地下構造の評価に関する要求事項については、従前の耐震設計審査指針⁴²から、新潟県中越沖地震や平成21年（2009年）8月11日の駿河湾の地震から得られた、特異な地下構造によって地震動が増幅するとの知見を踏まえ、地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造や、地震波の速度構造等の地下構造の詳細な評価が新たに求められることとなったものである（乙95、「サイ

⁴² 正式には、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」という。

ト敷地の地下構造の詳細な把握の必要性について（抜粋）」2頁）。

（２）債務者による評価・調査

ア 震源特性

震源で地震が発生すると、地震波が放出される。震源の場所、ずれの方
向、震源の大きさなど、地震波の大きさ等に関する特性を震源特性という。

震源特性に関し、債務者は、断層（以下、本項アにおいて、単に「断層」
と記載しているものは、特に断わらない限り、震源として考慮する活断層
つまり「震源断層」を指す）の位置・長さ、断層の傾き、断層の幅（地震
発生層の深さ）について、以下のとおり評価した。

（ア）断層の位置・長さ

地震動評価において重要なパラメータである、断層から敷地までの距
離は、断層の位置の影響を受ける。また、同じく重要なパラメータであ
る断層の面積は、断層の長さ（及び幅）によって決まる。このようなこ
とから、断層の位置・長さを評価する必要がある。

債務者は、文献調査、地形・地質調査、反射法地震探査及び海上音波
探査等、各種の調査を適切に組み合わせて、断層の位置・長さを評価し
た。そして、このうち後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が
否定できないものを震源として考慮する活断層とした。

その上で、債務者は、震源として考慮する活断層のうち本件発電所に
与える影響が大きいと考えられる各断層（下記第2の1（2）を参照）
について、断層の位置を詳細に把握した上で、断層の長さを保守的に評
価した。具体的には、上記2（2）で述べたとおりである。

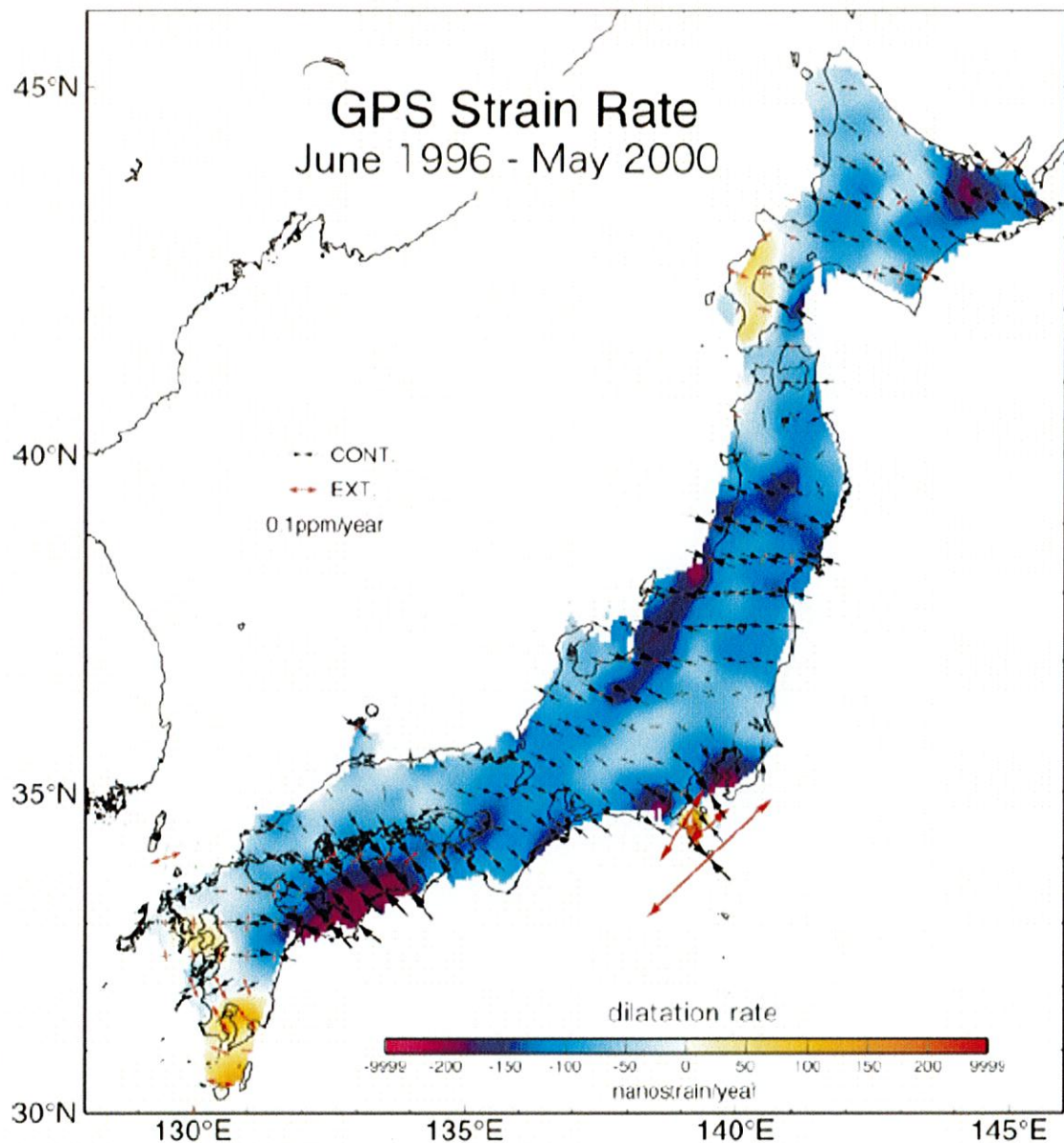
（乙30の1、添付書類、6-3-19～6-3-35頁、6-3-73～6-3-78頁、乙90、
17～73頁、171～179頁）

(イ) 断層の傾き（断層傾斜角）

地震動評価において重要なパラメータである、断層から敷地までの距離は、上記（ア）の断層の位置だけでなく、断層の傾きによって変化する。また、同じく重要なパラメータである断層の面積は、断層の幅（及び長さ）によって決まるところ、断層の幅は、断層の傾きと下記（ウ）の地震発生層の深さから求められる。このようなことから、断層の傾きを評価する必要がある。

この点、断層の傾きは、広域応力場⁴³と断層の方向（走向）との関係に関する知見をもとに評価することができる。すなわち、地球の表面を覆う岩盤の板（プレート）には、その運動によって圧縮又は引っ張りの力（応力）がかかっている。日本列島における応力は、一部の地域を除いて圧縮の応力がかかっており、その方向は東西方向が多い（図表 2 5。大半の地域が、圧縮の応力がかかっていることを示す水色から紫色であり、列島上の小さな矢印の方向から、東西方向にかかっている地域が多いことが分かる）。

⁴³ 広域応力場とは、地殻にどのような力が加わっているかを示すもので、水平方向を基準にして押されていれば圧縮応力場、引っ張られていれば引張応力場という。



(Sagiya (2004) ⁴⁴、xxxiii頁、Fig. 3)

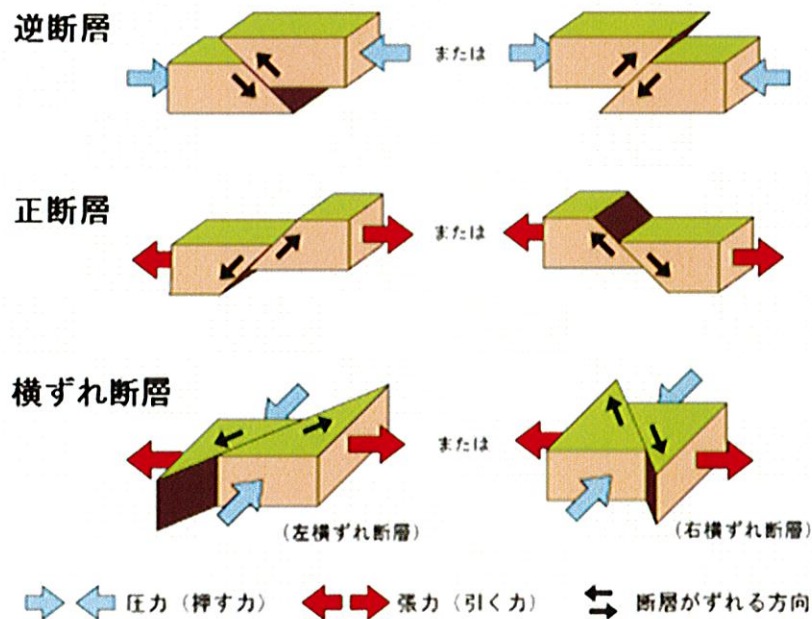
【図表 2 5 G P S 観測による日本列島のひずみ速度 (応力場)】

このように、ある地域に加わっている力の状況を広域応力場といい、
(水平方向を基準にして) 両方向から圧縮されていれば圧縮応力場、逆

⁴⁴ Takeshi Sagiya 「A decade of GEONET:1994-2003-The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies-」、Earth Planets Space、56、xxix-xli頁

に両方向から引っ張られていれば引張応力場という。

一方で、断層は、その動き方によって、正断層、逆断層、横ずれ断層に分類されるところ、それらの動きは、上記の広域応力場（圧縮応力場なのか、引張応力場なのか）や、広域応力場と断層の走向との関係による影響を受けるとされている。具体的には、一般に、正断層は、引張応力場において引張方向と断層の走向が直交する場合に、逆断層は、圧縮応力場において圧縮方向と断層の走向が直交する場合に、横ずれ断層は、圧縮応力場又は引張応力場において圧縮方向又は引張方向から見て断層の走向が斜め横方向である場合に、それぞれ形成されるとされている（図表 2 6）。



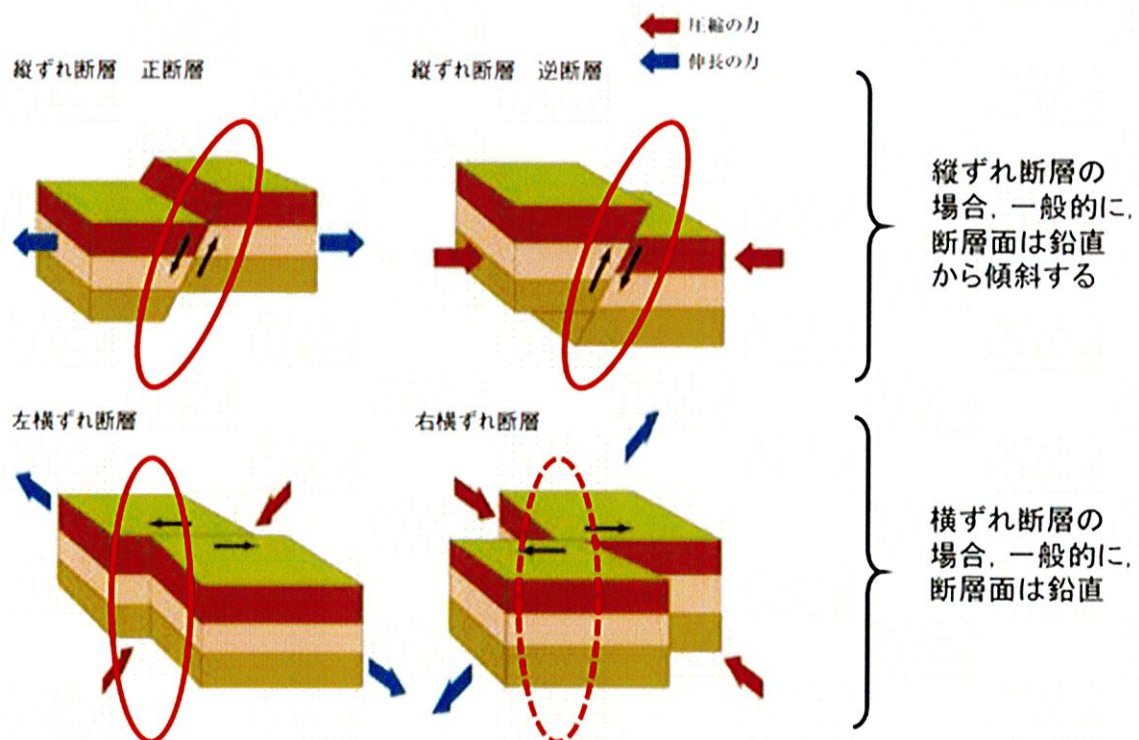
（気象庁ウェブサイトより）

【図表 2 6 断層の動き】

このうち、横ずれ断層について敷衍すると、図表 2 6 の下段に示されるように、圧縮方向（水色の矢印が押す方向）又は引張方向（赤色の矢印が引く方向）に対して断層の走向が斜め横方向である結果、断層は横

向き（黒色の矢印の方向）にずれが発生して、横ずれ断層になるとされている。

また、横ずれ断層の場合、一般的に断層傾斜角は、ずれによる抵抗が最も小さくなる、すなわち断層面の面積が最も小さくなる 90° になると考えられる（図表27、下の2つの図）。この点、地震本部のレシピにおいても、横ずれ断層の場合は断層傾斜角を 90° と評価することが基本とされている（乙35、4頁）。



（地震本部ウェブサイトの一部加筆）

【図表27 断層のずれ方による分類と断層傾斜角】

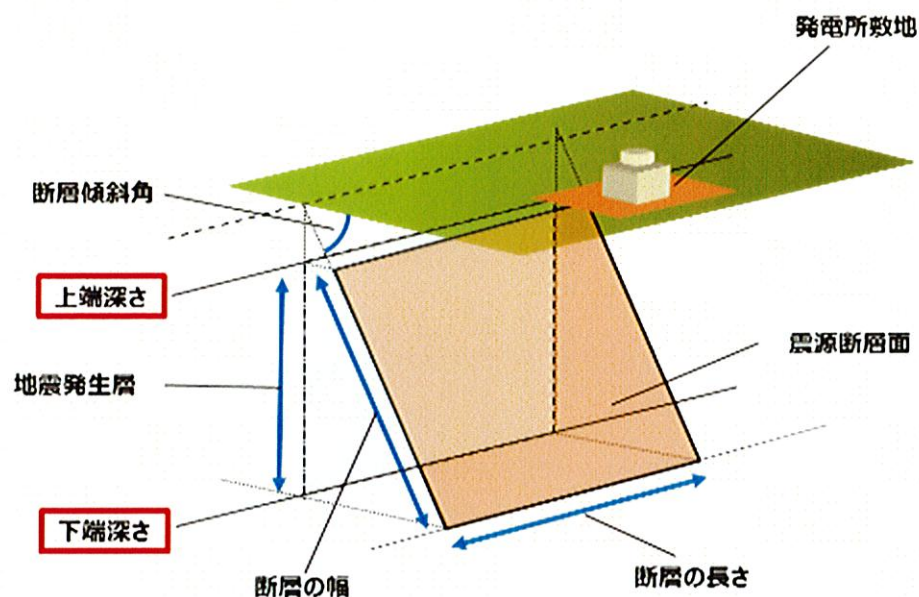
以上のような知見があるところ、債務者は、F〇-A～F〇-B断層、熊川断層、及び上林川断層について、地形調査・地質調査の結果や、若狭湾付近の広域応力場と断層の方向（走向）との関係から、横ずれ断層であると評価した上で、既往の知見を踏まえて傾きを 90°

（断層面が鉛直）と評価した。

すなわち、まず、若狭湾付近の広域応力場が東西圧縮応力場であり（乙90、11～13頁）、一方で各断層の走向は、F O - A ~ F O - B 断層及び熊川断層が北西－南東方向、上林川断層が北東－南西方向である（上記第1の2（2）オの図表23を参照）。つまり、各断層とも、圧縮応力場の圧縮方向から見て断層の走向が斜め方向となっており、上記で述べた、一般的に横ずれ断層が形成される場合にあたることから、債務者は各断層とも横ずれ断層と評価した。次に、横ずれ断層の場合、一般的に断層傾斜角は 90° となること、また、国立研究開発法人産業技術総合研究所の活断層データベースでも、各断層とも断層傾斜角 90° の横ずれ断層とされている（乙96、産業技術総合研究所ウェブサイト「活断層データベース」起震断層・活動セグメント検索）ことを踏まえ、各断層とも断層の傾きが 90° （断層面が鉛直）と評価した（乙85、68頁、101頁）。

（ウ）断層の幅（地震発生層の厚さ）

- a 上記第1の2（2）ア（ア）で述べたとおり、内陸地殻内地震が発生する深さはある一定の範囲（地震発生層）に限られる。そして、地震動評価において重要なパラメータである震源断層の面積は、断層の幅（及び長さ）によって決まるところ、断層の幅は、上記の地震発生層の厚さ（上端深さ・下端深さ）と、上記（イ）の断層の傾きから求められる（図表28）。このようなことから、地震発生層の厚さを評価する必要がある。



【図表 2 8 地震発生層の厚さ（上端深さ・下端深さ）と

断層の幅、断層傾斜角との関係】

b 地震動を発生させる震源断層は、1回の地震で必ずしも断層全体が一度にずれるとは限らないところ、地震発生層の上端から下端まで一杯に広がった震源断層面の全体が一度にずれるものとあえて想定することは、保守的な評価となる。また、地震発生層の上端深さが浅く、下端深さが深いほど、断層の幅が大きくなることで震源断層が大きくなり、上端深さが浅いほど断層から敷地までの距離も短くなることから、上端深さを浅く、下端深さを深く想定する方が、敷地での地震動がより大きくなり、保守的な評価となる。債務者は、そのような保守的な条件設定をおいて、評価を行った。

具体的には、まず、上端深さについて、以下のとおり評価した。すなわち、震源車などで起震して地中の地層で反射した波を、若狭湾地域を含む近畿地方を縦断・横断するような測線上に配置した受振器によって観測することにより地盤の速度構造（地震波（P波・S波）が

伝わる速さが異なる地層の並びをいう。下記ウで述べる)を求めた、文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる地下構造探査(図表29)や、若狭湾地域を含む近畿地方において発生した地震について震源から複数の観測点までの地震波の到達する時間差を用いた解析を行うことで地盤の速度構造を求めた、地震波速度トモグラフィ⁴⁵による検討(図表30)といった、既往の研究成果を参照して若狭湾周辺における地下の速度構造を把握した上で(乙97、「高浜発電所地下構造評価について(データ集)」75~76頁)、地震発生層の上限はP波速度と良い相関があるという既往の知見や、下記ウ(イ)の地震波干渉法及び微動アレイ観測による地盤の速度構造の解析結果をもとに、保守的に(断層の幅が広くなるように)評価するため、できるだけ浅く評価することとし、上端深さを4kmと評価した。

そうであるところ、債務者は、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より一層の保守的な評価という観点から、さらに浅く、上端深さを3kmとして地震動評価を行うこととした。

⁴⁵ 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地震波(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。

■地盤速度構造による地震発生層の検討

若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、内陸地殻内地震が発生する上部地殻に相当する $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層は、深さ約6~16kmであった。また、速度構造断面図に気象庁一元化カタログによる測線に沿う幅20kmの範囲内の震源分布は、 $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層に対応している。

○新宮-舞鶴測線(2004)の探査結果

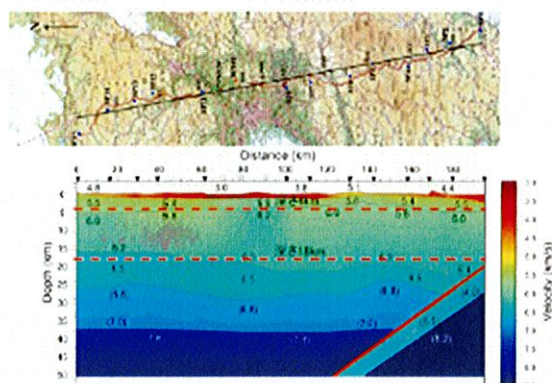


Fig. 15 P-wave velocity structure for the Tanabe-shi. P-wave velocities in km/s. Dashed lines show constant velocity value. Small black and red dots (about 20 km) show earthquake and low frequency earthquakes respectively after Hirose and Ino (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

○藤橋-上郡測線(1989)の再解析結果

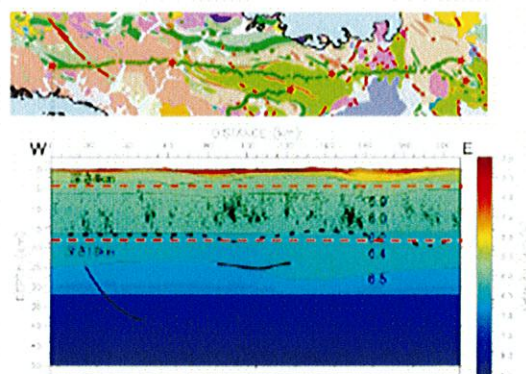


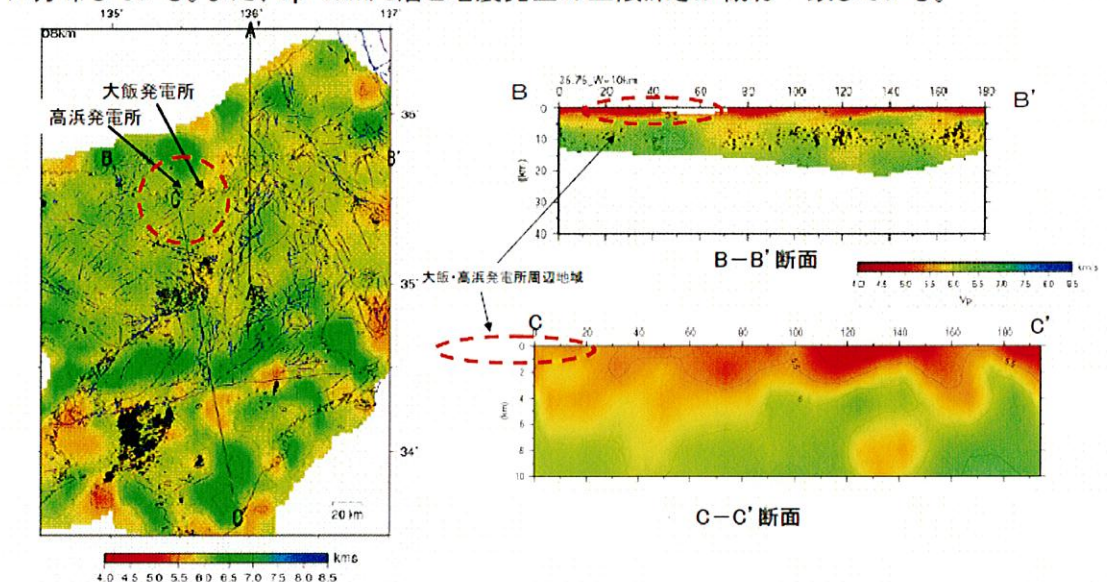
図 16 藤橋-上郡測線の地震波速度構造は、若狭周辺の震源分布と反射断層面によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

【図表 2 9 大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる地下構造探査】

■地震波トモグラフィによる検討

地震波トモグラフィ解析によれば、大飯・高浜発電所周辺地域の $V_p=6\text{km/s}$ 層は深さ4～5kmに分布している。また、 $V_p=6\text{km/s}$ 層と地震発生の上限深さが概ね一致している。



深さ8kmのP波速度分布(川里・他(2007)に一部加筆)

【図表 3 0 地震波速度トモグラフィによる検討】

また、下端深さについては、気象庁の震源データを用いた震源深さの分布の検討(乙85、61頁、乙97、77頁)等、既往の研究結果を用いて、保守的に18kmと評価した。

以上のとおり、債務者は、本件発電所周辺の地震発生層について、上端深さ3km、下端深さ18kmと評価した。そして、「震源として考慮する活断層」のうち本件発電所に与える影響が大きいと考えられる活断層(FO-A～FO-B断層、熊川断層及び上林川断層)については断層傾斜角が 90° であることから、これらの活断層の幅は15kmと評価した。

（エ）小括

上記のように、債務者は、地震動評価の対象とした活断層について詳細な調査を行うことにより、震源として考慮する活断層の位置・長さ・傾き・幅を精度良く把握した上で、断層の大きさを十分に保守的に（長さは長く、幅は広く）評価した。

イ 伝播特性

震源で発生した地震波は、地中の硬い岩盤を伝播し、震源からの距離が遠くなるほど、小さくなっていく。このような地震波の伝わり方（減衰）に関する特性を伝播特性という。地震波の伝播特性には、幾何減衰と内部減衰がある。

債務者は、幾何減衰（下記（ア））及び内部減衰（下記（イ））について、以下のとおり評価した。

（ア）幾何減衰

震源で発生した地震波は、震源を中心にしてその周囲に広がっていくため、地震波は、震源から遠ざかるほど減衰する。このように、震源距離とともに地震波の振幅が減少することを幾何減衰といい、地中を伝播する地震波の振幅は、震源距離の逆数に比例して小さくなっていく（乙98、「地震の揺れを科学する」73頁）。この幾何減衰は、伝播特性のうち大きな部分を占める。

幾何減衰の程度は、地域ごとに大きな違いはなく、震源から敷地までの距離によって決まることから、震源の位置を把握することが重要となる。

債務者は、上記ア（ア）で述べたとおり、震源として考慮する活断層の位置を詳細に把握していることから、幾何減衰について適切に評価し

た。

(イ) 内部減衰

上記の幾何減衰に加え、地震波は、媒質（岩石等）を伝わる間に地震波のエネルギーの一部が摩擦熱等に変換されることで、若干小さくなっていく。これを内部減衰といい、その程度は、地震波が伝わる媒質の影響を受けることから、幾何減衰と異なり、地域により違いがある。内部減衰は、媒質に固有の値（Q値）で表され、Q値が小さいほど減衰の効果が大きい（乙98、75頁）。

債務者は、本件発電所周辺の内部減衰について、若狭湾付近で発生した20個の中小の内陸地殻内地震の地震記録から同地域のQ値について研究した佐藤ほか（2007）⁴⁶（乙99）の知見をもとに、Q値を $50f^{1.1}$ （fは地震波の周波数⁴⁷で、周波数毎にQ値は変化する）と設定した（乙85、80頁等の各表の「Q値」の欄を参照）。この値は、国内における平均的な値である $50f$ と同程度である⁴⁸。

(ウ) 小括

上記のように、債務者は、本件発電所周辺を含む若狭湾付近の伝播特性の大きな部分を占める幾何減衰を適切に評価するとともに、内部減衰については、若狭湾付近に係る既往の知見をもとに評価し、その値は国内の平均程度となった。

⁴⁶ 佐藤智美ほか「若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析」日本地震学会2007年秋季大会講演予稿集、286頁下段

⁴⁷ 地震波の周波数とは、1秒間に繰り返される地震波の振動数をいい、周期の逆数となる（例えば、周期0.2秒の場合、周波数は5Hz（ヘルツ）となる）。

⁴⁸ 佐藤智美「伝播経路モデルの与え方」日本建築学会2006年地盤震動シンポジウム、23-34頁

ウ 地盤の増幅特性（サイト特性）

地震波は、硬い（地震波の伝わる速さが大きい）地層から相対的に軟らかい（地震波の伝わる速さが小さい）地層へ伝播する際に増幅されるため、相対的な硬さ（地震波の速度）の差があると、地震波は、相対的に軟らかい地層に伝播する際に増幅される。通常は、地表に近づくに従って地層は相対的に軟らかくなるため、地中の硬い岩盤を伝わってきた地震波は、いくつかの地層を通して地表に到達するまでに順次増幅される。このような特性を地盤の増幅特性（サイト特性）といい、その増幅の程度は、速度構造（地震波の伝わる速さが異なる地層の並び）の影響を受ける（乙98、79頁）。

また、地震波の進む方向は、地震波の伝わる速さが異なる地層の境界面で変化することから（乙98、81頁）、地盤の速度構造に特異な構造がある場合は、局所的に地震波が集中し、大きく増幅する可能性が生じる。

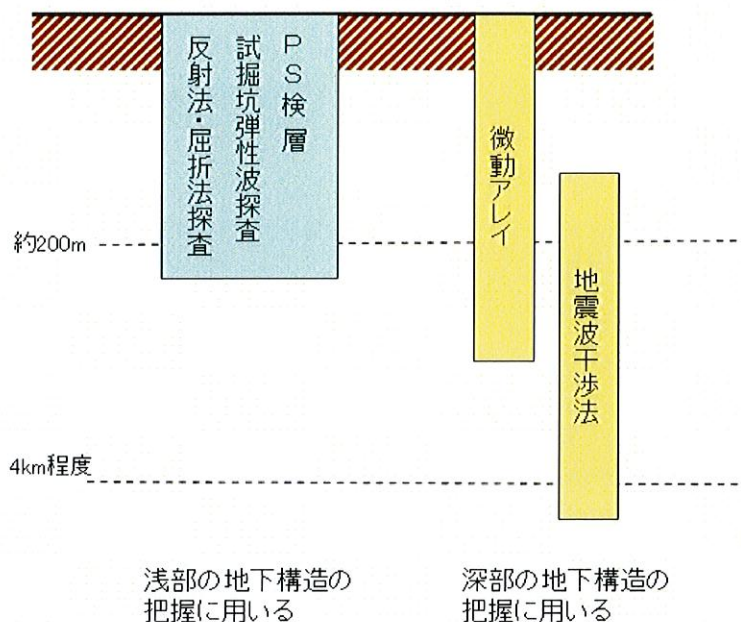
このため、地盤の増幅特性（サイト特性）を評価する上では、こうした特異な構造の有無を含めて、本件発電所敷地周辺の地盤の速度構造を把握することが重要となる。

そこで、債務者は、このような速度構造を評価するために、①地下200m程度までの浅部地盤、及び②地中の硬い岩盤までの（地下4km程度までの）深部地盤について、各々、調査を行った（図表3 1。乙97、5頁）。

以下、浅部地盤（下記（ア））と深部地盤（下記（イ））とに分けて説明する。

なお、一般的に、地震基盤面（S波速度が3km/s程度以上の層で、地震波が地盤の影響を大きく受けないところをいう）より浅い部分では、地表に近づくにつれてS波速度の小さい層となり、地震波が増幅される一方、地震基盤面から深さ十数kmまでの部分では、地震波は増幅しないとされている（乙100、「国立研究開発法人防災科学技術研究所ウェブサイト「地震ハ

ザードステーション」用語集（抜粋）」。



【図表 3 1 地下構造の把握に係る各種調査】

(ア) 浅部地盤の速度構造に関する調査

債務者は、本件発電所敷地の地表面近くの浅部地盤の速度構造について、ボーリング調査により地盤の特徴を調査した上で、P S 検層、試掘坑弾性波探査、反射法地震探査等を行い、それらの調査結果を総合して評価した（乙97、6～61頁）。

これらの調査結果により、敷地浅部にP波速度及びS波速度がそれぞれ約4.3km/s、約2.2km/sの硬質な岩盤が広がっていることを確認した（乙97、7～13頁）。

その上で、反射法地震探査によって、本件発電所敷地の地下に、地層の極端な起伏等の地震波の伝播に影響を与えるような特異な構造が認められないことを確認した（乙97、50、54、61頁）。

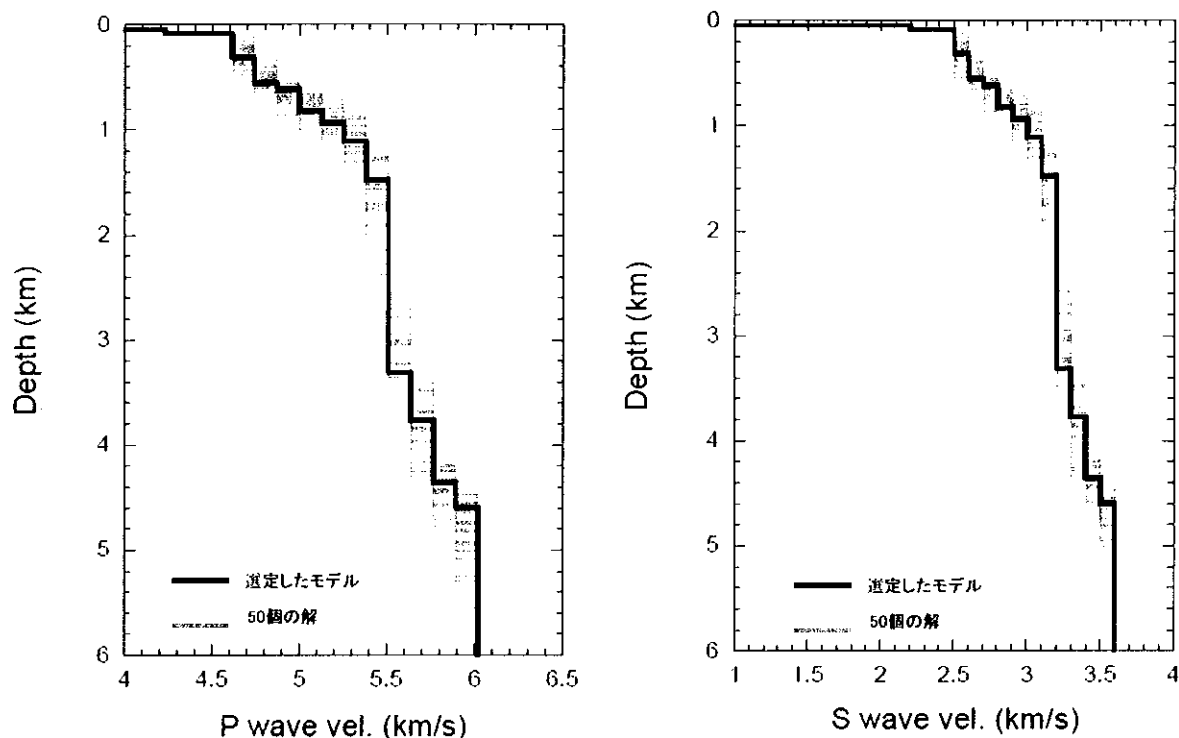
そして、以上の各調査の結果を総合して、債務者は、本件発電所の地

下構造について、地震動評価上は、水平成層構造とみなしてモデル化できると評価し、一次元の速度構造モデル（下記（イ））を作成することとした（乙30の1、添付書類六、6-5-7～6-5-8頁）。

（イ）深部地盤の速度構造に関する調査

債務者は、地震波干渉法及び微動アレイ観測により、本件発電所敷地内や周辺地点において、非常に小さな地震・波浪・風や、産業活動・交通に伴う振動等によって常時存在する地面の小さな揺れ（常時微動）の観測を行い、その観測記録を解析して、深部までの地盤の速度構造を評価した（乙101、「高浜発電所・大飯発電所 地下構造評価について」）。

これらの調査結果を踏まえ、本件発電所敷地の地盤の一次元の速度構造モデル（波の速度が変化する境界面（速度構造）が地表面と平行となっているモデル）を解析により求めた結果、本件発電所敷地の地盤の速度構造モデルは、図表3-2（乙101、21頁）のとおりとなった（同図内の「選定したモデル」の線。横軸が地震波の速度（km/s）、縦軸が地中の深さ（km）であり、深くなるほど地震波の速度（P波速度、S波速度）が速くなっている）。



【図表 3 2 本件発電所の地盤の速度構造モデル（左：P波速度、右：S波速度）】

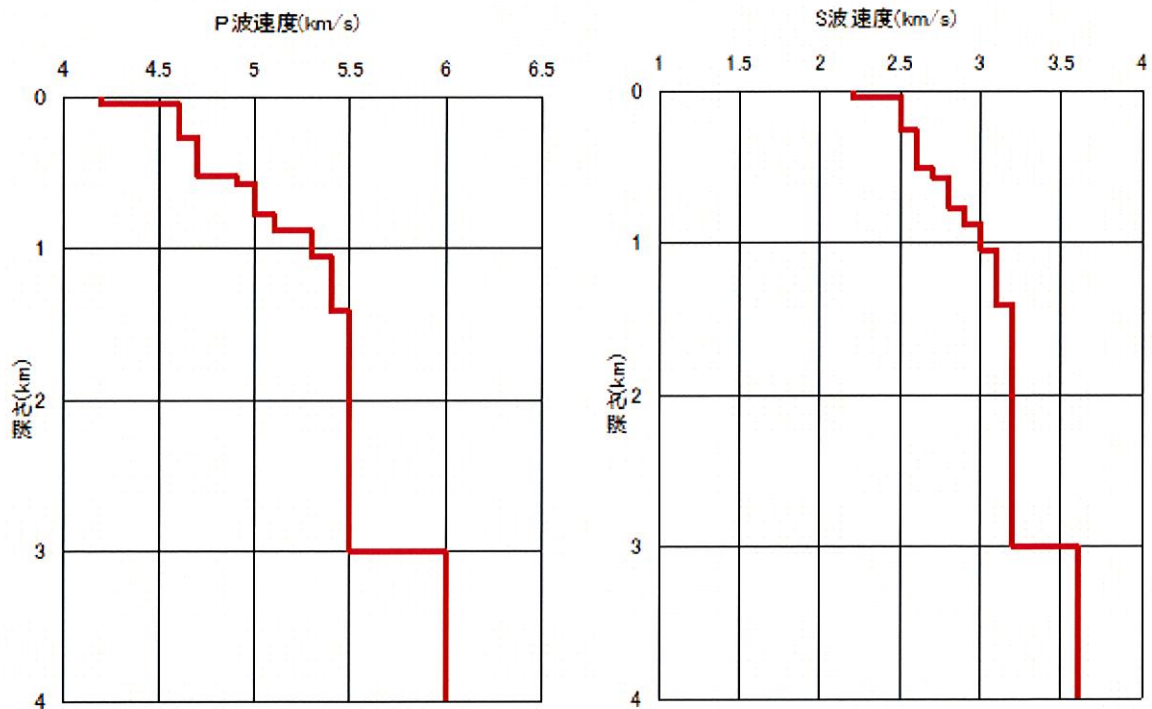
（ウ）小括

上記のように、債務者は、各種の詳細な調査を行うことにより、本件発電所敷地及び敷地周辺の地盤の速度構造を精度良く把握し、また、局所的に地震波の集中をもたらすような特異な速度構造が無いことを確認した。

その上で、原子力規制委員会における議論も踏まえて地震発生層の上端深さを3kmとしたこと（上記ア（ウ））を受けて、本件発電所敷地の地震動評価に用いる地下構造モデルを図表 3 3（乙101、30頁、乙30の1、添付書類六、6-5-61頁の第5.4.10図）のとおり設定した⁴⁹。

⁴⁹ 例えば、P波速度について説明すると、図表 3 2の左のグラフにおいて、P波速度が6.0km/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5.5km/sであるとしていたところ、図表 3 3の左のグラフにおいては、「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であるとした。S波速度（図表 3 2及び図表 3 3のそれぞれ右のグラフ）も同様である。

この地下構造モデルにより、本件発電所の地震動評価において考慮すべき地盤の増幅特性（サイト特性）を評価することができる。



【図表 3 3 本件発電所の地震動評価に用いる地下構造モデル

（左：P波速度、右：S波速度）】

エ まとめ

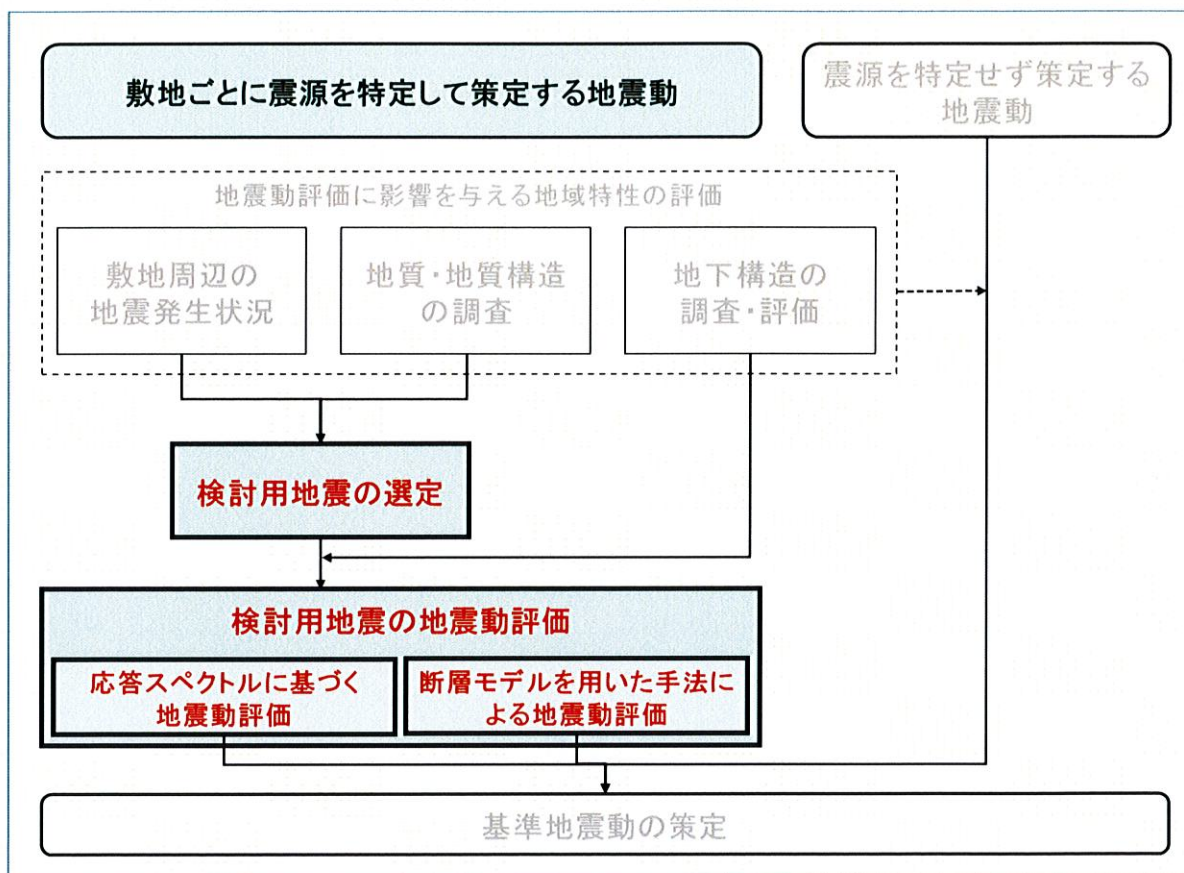
以上のように、債務者は、本件発電所敷地及び敷地周辺における震源特性、伝播特性、地盤の増幅特性（サイト特性）に係る地域性を精度良く把握し、地震動評価に反映している。

（3）原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った震源として考慮する活断層の評価や、本件発電所敷地及び敷地周辺の地下構造の評価に関して、設置許可基準規則

解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、12～15 頁、
乙 84、11～12 頁）。

第2 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価



債務者は、第1で述べた本件発電所周辺の地域特性を踏まえ、検討用地震（各断層による地震）を選定し（下記1）、各検討用地震が発生した場合に本件発電所敷地で想定される地震動を評価するため、「応答スペクトルに基づく地震動評価」（下記2）及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記3）を行った。

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

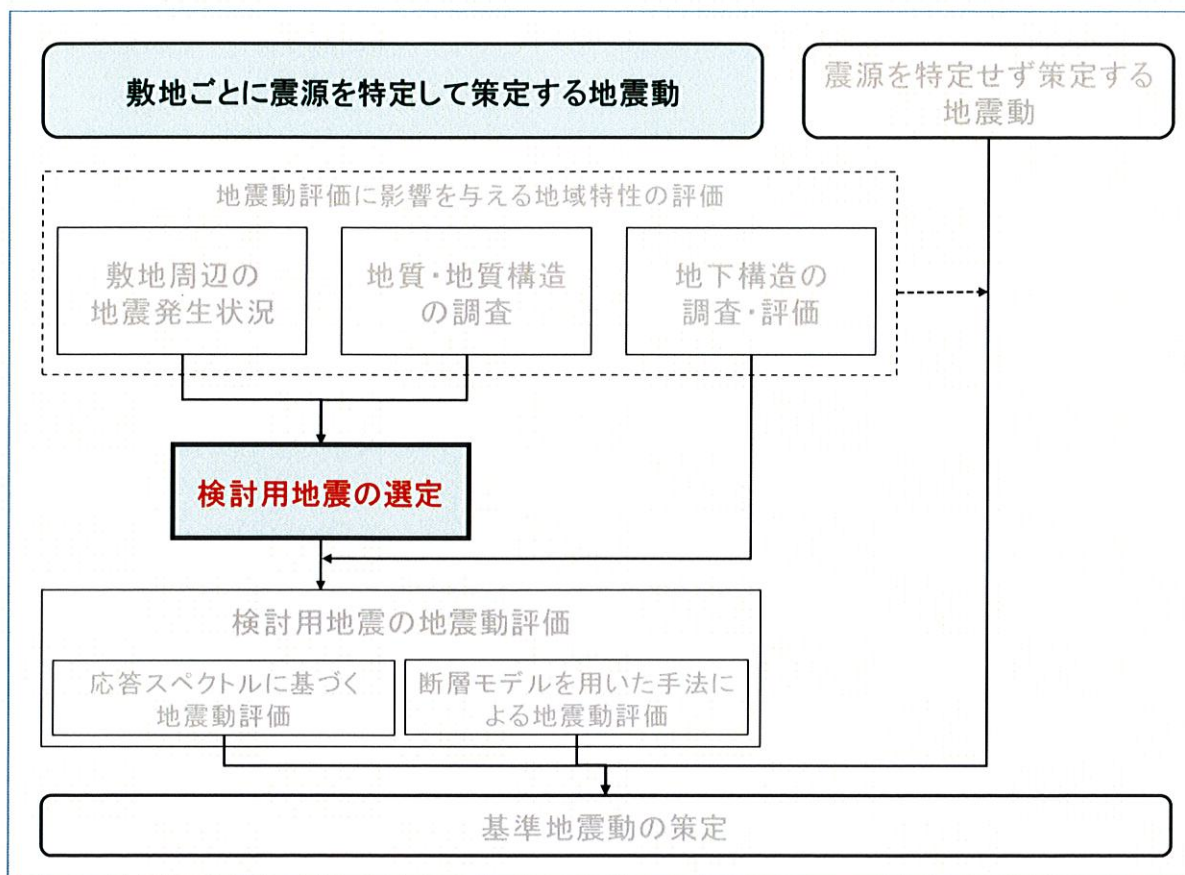
一方、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、震源となる断層（震源断層）をモデル化し、震源から本件発電所敷地までの地震波の伝播特性、本件発電所敷地の地盤における地震波の増幅特性（サイト特性）を考慮して行

う地震動評価である。

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

以下、この地震動評価の過程及びその結果について述べる。

1 検討用地震の選定



(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価）にあたって、「内陸地殻内地震・・・について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という）を複数選定」することを求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号、乙33、134頁）。

(2) 本件発電所における検討用地震の選定

債務者は、上記第1の1（敷地周辺の地震発生状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された9個の地震（図表4参照）、及び、上記第1の2（活断層の分布状況の調査・評価）において検討用地震の候補と

して抽出された 16 個の地震（図表 2 4 参照）を対象に、地震の規模及び敷地までの距離に基づいて敷地に与える影響を詳細に検討した。

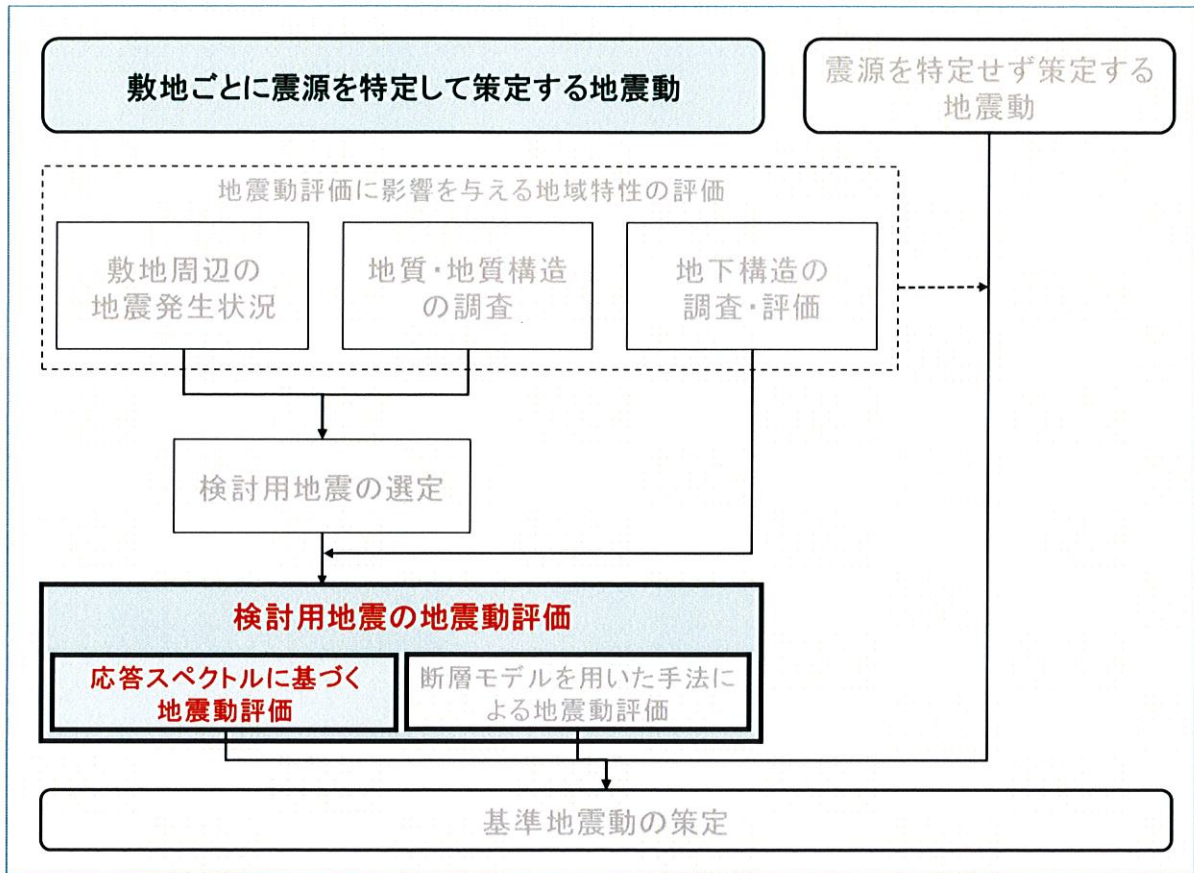
その結果、本件発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震として、F O－A～F O－B～熊川断層による地震（図表 2 4 の 14 番）、及び上林川断層（図表 2 4 の 8 番）の 2 つを、検討用地震として選定した。

（以上について、乙 85、9 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-9 頁）

（3）原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の検討用地震の選定に係る評価について、活断層の性質や地震発生状況を精査し、既往の研究成果等を総合的に検討することにより検討用地震を複数選定するとともに、評価にあたっては複数の活断層の連動も考慮していることから、設置許可基準規則解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、15～16 頁、乙 84、11～12 頁）。

2 応答スペクトルに基づく地震動評価



「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、距離減衰式に代表される、地震のマグニチュード（ M ）⁵⁰と震源（又は震源断層）からの距離の関係で地震動特性を評価する手法である。ここで、「距離減衰」とは、地震動の大きさと震源からの距離との関係を示したもので、地震が発生した場所から遠くなればなるほど、地震の揺れが弱くなることをいう。

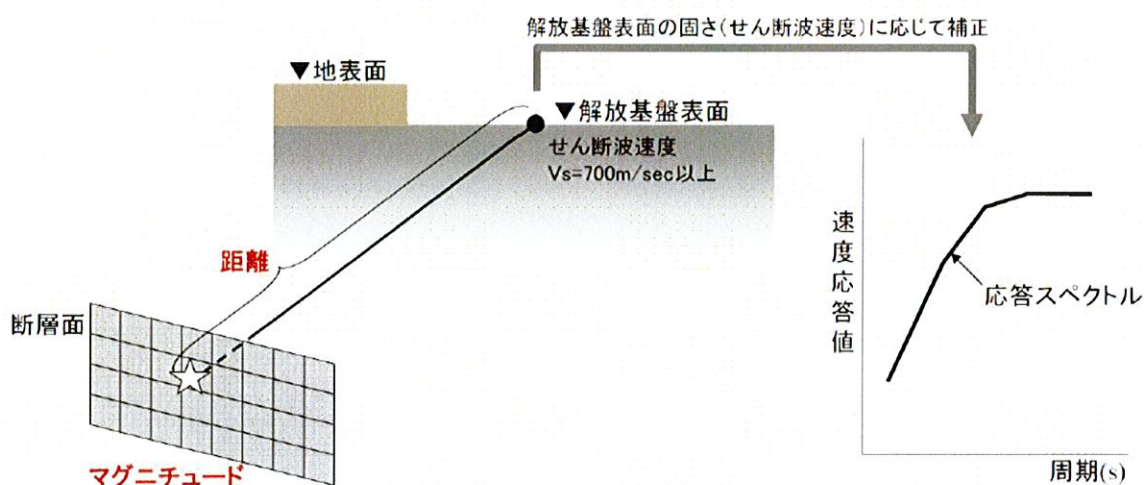
「距離減衰式」とは、地震の規模及び震源からの距離と、地震動の大きさとの関係を式に表したもので、過去の多くの地震データの統計的処理によって経験的に得られるものである。地震の規模（マグニチュード）や、震源距離等を

⁵⁰ 地震の規模を表すマグニチュード（ M ）には、気象庁マグニチュード、モーメントマグニチュード（ M_w ）等、いくつかの種類があり、同じ地震でも異なった値になることがある。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の値である。

距離減衰式に入力すると、これらの入力に対応する地震動を計算することができる。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、地震の規模を表すマグニチュード、震源距離を用いて応答スペクトルを求め、地域性を考慮した補正をすることで、応答スペクトルが求められる（図表34）。

（乙28、251～253頁）



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

（乙28、252頁より）

【図表34 応答スペクトルに基づく地震動評価の例】

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

（1）設置許可基準規則等

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

を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号④ i）、乙33、135～136頁）。

これを受けて、地震ガイドは、①経験式（距離減衰式）の選定について、「用いられている地震記録の地震規模、震源距離等から、適用条件、適用範囲について検討した上で、経験式（距離減衰式）が適切に選定されていること」、及び「参照する距離減衰式に応じて適切なパラメータを設定する必要がある、併せて震源断層の拡がりや不均質性・・・が適切に考慮されていること」を確認するとともに、②伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価について、「参照する距離減衰式の特徴を踏まえ、敷地周辺の地下構造に基づく地震波の伝播特性（サイト特性）の影響を考慮して適切に評価されていること」を確認するとしている（I 3.3.1 (I)、乙36、4頁）。

（2）本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」

ア 距離減衰式の選定

（ア）「耐専式」の選定

- a 上記の要求事項を踏まえ、債務者は、本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」において必要となる距離減衰式について、耐専式（乙78）を用いることとした（乙85、62頁）。

耐専式は、日本電気協会の原子力発電耐震設計専門部会（耐専）で審議され、取りまとめられた式であり（乙78、2頁）、本件発電所敷地地盤と同様の岩盤上の20年間の地震記録（水平成分214個、上下成分107個）を統計的に分析すること（回帰分析）により得られた算定式である。同式は、上記部会において平成11年に策定されて以降、地震観測データを用いて適用性の検証、確認が継続的に行われており、信頼性を有する地震動評価手法である。

- b 耐専式は、地震の規模（マグニチュード、M）、等価震源距離（ X_{eq} ）（下記d）及び評価地点の地盤のP波速度・S波速度から、評価

地点の水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを評価するものである。すなわち、耐専式では、地震の規模（ M ）と等価震源距離（ X_{eq} ）が与えられると、特定の8つの周期（図表35の「 T_A 」から「 T_H 」まで）に対する応答値（コントロールポイント。同表の「A」から「H」まで）が算定される。この8つのコントロールポイントを、横軸に周期をとったグラフ上に書き出し（図表36の「A」から「H」までの8つの点）、それらを線で結ぶことにより、応答スペクトルが求められる（同図）。

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

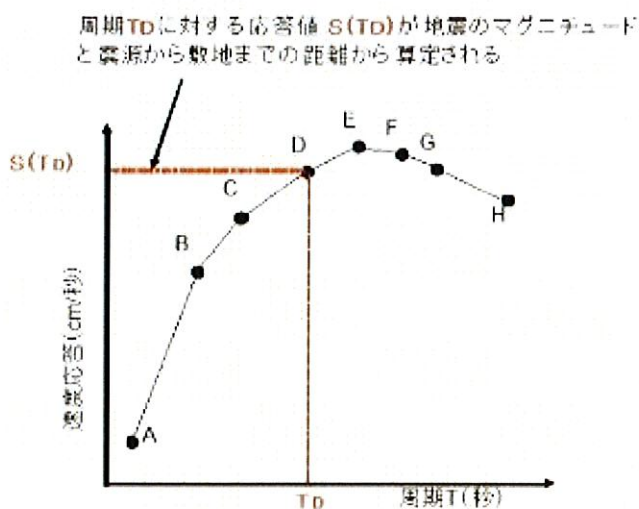
表 1.2.3.2-1 地震基盤における水平地震動のコントロールポイント

領域	M	X_{cs} (km)	コントロールポイントの座標 pS_v (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			T_A (s)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	T_E (s)	T_F (s)	T_G (s)	T_H (s)
			0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

pS_v の値は、減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルの絶対値

【図表 3 5 耐専式における8つの周期に対する

応答値 (コントロールポイント)】



【図表 3 6 耐専式による応答スペクトルの作成】

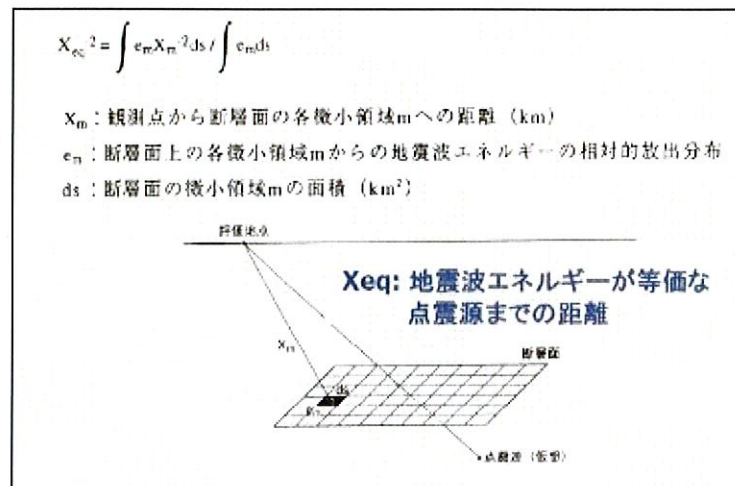
- c 耐専式に入力する地震の規模（M）については、松田時彦東京大学名誉教授が「活断層から発生する地震の規模と周期について」（1975年）（乙 34）で提案されている、活断層長さ（L）と地震の規模（M）との関係を表す経験式（松田式。 $\log L = 0.6M - 2.9$ ）（乙 34、271 頁）を用いて、断層長さから求めた（乙 85、62 頁）。

松田氏の上記論文は、「・・・地震発生は地殻にたくわえられた歪エネルギーの急激な解放である。その歪エネルギーの大小はその歪領域の大小による。そして歪領域の大小は断層のディメンジョン（引用者注：大きさ）の大小に反映している」（乙 34、270 頁）という考え方を示した上で、日本の内陸部で発生した 14 地震のデータをもとに、断層のディメンジョンを活断層の長さ（L）で表し、これと地震の規模（M）との関係を表す式として、上記の式を提案している。松田式は、現在もなお実務で広く用いられ、レシピにおいても、地震の規模を求めるための関係式として引用されており（乙 35、5 頁、（d））、活断層と地震の規模との関係式として信頼性を有するものである。債務者は、松田式を用いるにあたっては、同式を適用することに問題がないことを確認している⁵¹。

- d また、耐専式では、震源から敷地までの距離として等価震源距離（Xeq）を用いている。等価震源距離とは、震源断層面の各部から放出され敷地に到達する地震波のエネルギーの総計が、特定の 1 点（点震源）から放出されたものと仮定した場合に到達するエネルギーと等しくなるときの点震源から敷地までの距離をいう（図表 3 7）。実際

⁵¹ レシピでは、「活断層長さがおおむね 80km を超える場合は、松田 (1975) のもとになったデータの分布より、松田 (1975) の適用範囲を逸脱するおそれがある」とされている（乙 35、5 頁、（d）、欄外）。債務者は、本件発電所の検討用地震として選定した、F O - A ～ F O - B ～ 熊川断層及び上林川断層の断層長さをそれぞれ 63.4km 及び 39.5km と評価している（上記第 4 の 2 （2）オの図表 2 4 参照）ため、松田式を適用することに問題がないことを確認している。

は広がりをもった震源断層面から放出された地震波を、ある 1 つの震源（点震源）から放出されるものと仮想することにより、等価震源距離という 1 つの数値の中で、震源断層面の広がりやアスペリティ分布の効果をも考慮することができる。



【図表 3 7 等価震源距離】

(イ) 耐専式の適用性及び本件発電所における取扱い

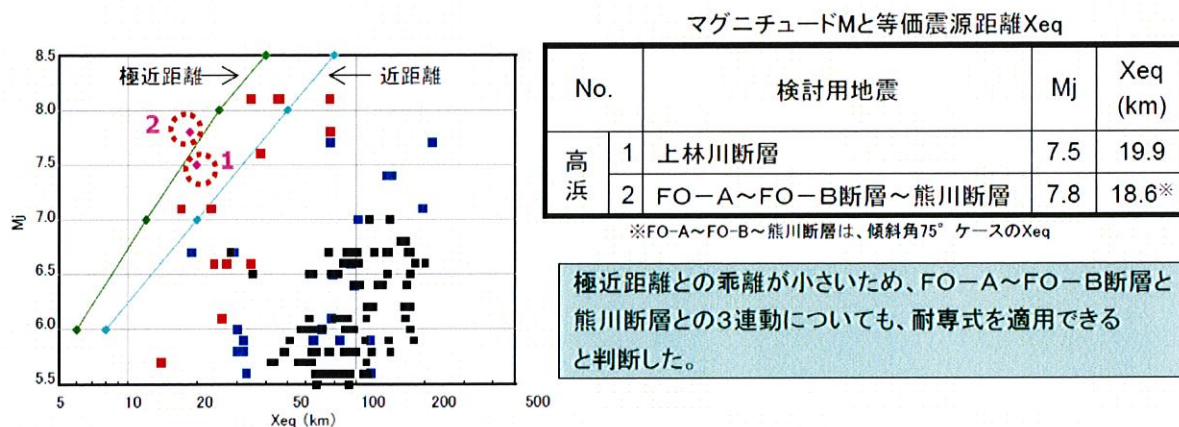
距離減衰式は、様々な観測地点で得られた多くの地震観測記録を回帰分析⁵²等によって統計的に処理するという経験的な手法によって作成されている。そのため、距離減衰式を用いる際には、その元となった地震観測記録群の範囲（地震規模、震源からの距離等）を踏まえ、評価地点における地震動評価に用いることが適当かどうか（適用性）を確認した上で用いる必要がある（I 3. 3. 1 (I) ①1）、乙33、4頁）。

耐専式については、その作成にあたって基礎とされた地震観測記録群のほか、作成後、同式の適用性の確認に用いられた地震観測記録群もあ

⁵² 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。

るが、これらの記録群には、等価震源距離が「極近距離」（マグニチュード8なら25km、マグニチュード7なら12km等）よりも著しく短い場合の地震観測記録は含まれていない（乙102、「耐専スペクトルの適用性検討（内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容）」、14頁）。また、等価震源距離が「極近距離」より著しく短い場合、耐専式では、等価震源距離が短くなるにつれて過大評価になる傾向があるとされている。そのため、等価震源距離が著しく短い場合、耐専式を用いることが適当ではない場合がある。

この点、本件発電所の地震動評価において、上林川断層は「極近距離」以上の等価震源距離がある一方、FO-A～FO-B～熊川断層は「極近距離」より若干短く（図表38（乙85、63頁））、実際の地震動に比べて大きな評価結果になる可能性があった。



（乙85、63頁から抜粋）

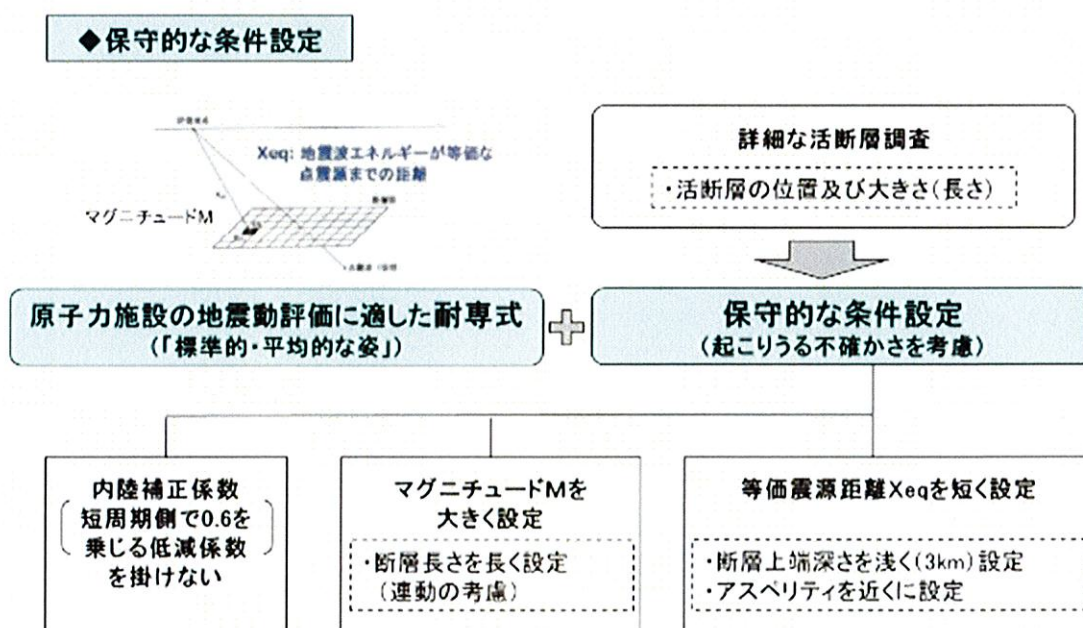
※左側の図において、FO-A～FO-B～熊川断層を表す「2」の点が、「極近距離」の斜め線よりも若干左側に位置しており、同断層の等価震源距離（Xeq）が「極近距離」よりも若干短いことを示している。

【図表38 耐専式の適用可否の検討】

しかし、「極近距離」からの乖離の程度が小さいこともあり、保守的に評価する観点から、上林川断層のみならず、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層についても耐専式を適用することとした（乙85、63頁）。そして、本件発電所敷地の解放基盤表面はS波速度が約2.2km/sであることから（上記第2の5（2）及び第4の3（2）ウ（ア）、乙30の1、添付書類六、6-5-7頁）、耐専式で用意されているS波速度2.2km/sの場合の評価方法を用いることとした。

イ 保守的な条件設定

債務者は、上記のとおり耐専式を用いることとし、保守的な条件により設定した地震の規模と等価震源距離等のパラメータを耐専式に入力して、応答スペクトルに基づく地震動評価を行った（図表39）。



【図表39 耐専式を用いる際の保守的な条件設定】

すなわち、耐専式を用いる際に必要となる、地震の規模（マグニチュ

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

(乙30の1、添付書類六、6-5-10～6-5-11頁、6-5-29頁、6-5-70～6-5-73頁)

以下、具体的に説明する。

(ア) 地震の規模

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

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

その結果、F〇-A～F〇-B～熊川断層による地震の規模は、F〇-A～F〇-B断層(2連動)が長さ35kmでマグニチュード7.4であったところ、3連動する設定とし、長さ63.4kmとしたことでマグニチュード7.8とした。

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

(イ) 等価震源距離

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

a 断層の上端（地震発生層の上端）の深さ

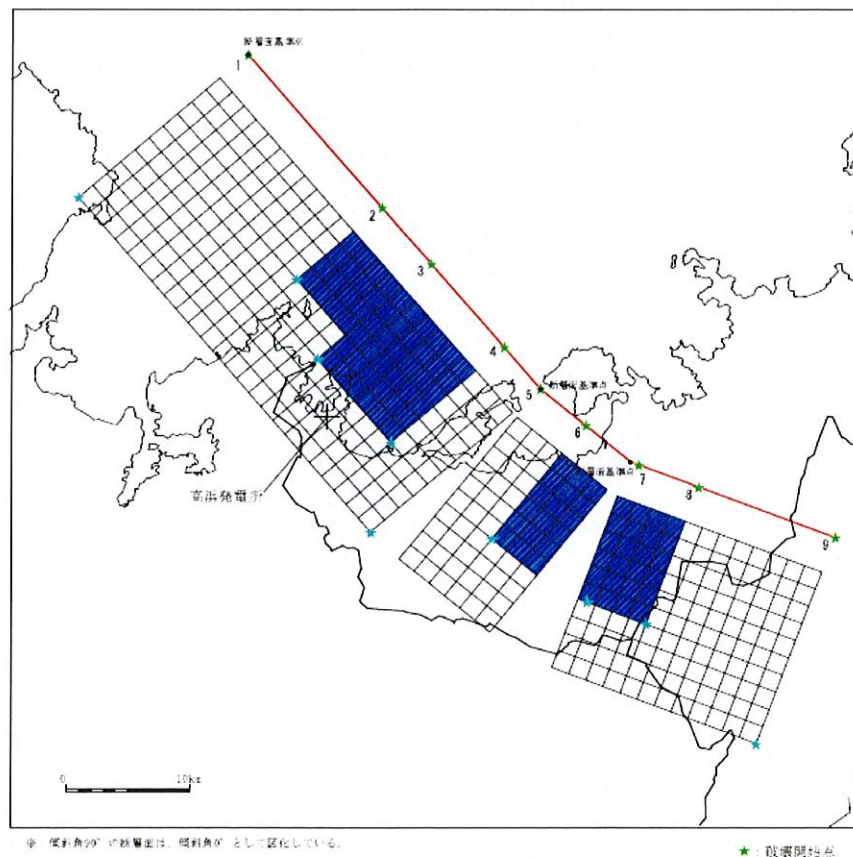
まず、断層の上端（地震発生層の上端）の深さについては、上記第 1 の 3（2）ア（ウ）で述べたとおり、詳細な地下構造の調査結果から深さ 4km 程度であると評価していたが、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より浅く（保守的に）深さ 3km と設定することで、震源断層面が本件発電所敷地により近づく設定とした。

b アスペリティの配置

震源断層面において周囲よりもすべり量が大きく、強い揺れが生起される部分であるアスペリティの配置については、断層面の中央付近に設定することが基本とされている⁵³。しかしながら、債務者は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層及び上林川断層のいずれの断層についても、詳細な調査に基づいてその位置を把握し、断層の長さ（上端深さ及び下端深さ）を保守的に評価した上で、アスペリティ位置を地震の発生前に正確に特定するのは困難であることを考慮し、等価震源距離が短く（本件発電所敷地に近く）なるよう、断層面のうち本件発電所敷地に近い位置にアスペリティを配置した。

⁵³ 債務者が断層モデルを用いた手法による地震動評価で参照するレシピ（乙35）においても、アスペリティが1個の場合の位置は、震源断層面の中央付近とすることが基本の設定であるとされている（乙35、9頁、（a）欄外）。

特に、本件発電所敷地に近いF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層の間の断層の存在が確認されていない区間（約15km）についてもアスペリティを設定することとし、本件発電所敷地に最も近い位置⁵⁴にアスペリティを配置した（アスペリティの配置等については図表40のとおり。乙85、72頁、乙30の1、添付書類六、6-5-65頁）。



- ※ 図内の赤い線が、地表面上における震源断層の位置を示している。その赤い線に沿って置かれた格子状のものが地下の震源断層面を示している。そして、格子状の震源断層面のうち、青色で塗りつぶされている区画がアスペリティである。
- なお、断層傾斜角（下記c）が鉛直（水平面から90°下向き）の場合、平面図上では真上から見ると1本の線になってしまうため、鉛直である震源断層面を、便宜上、水平（横倒し）にして表示している。
- また、図内に複数ある小さな星印は、破壊開始点（下記3「断層モデルを用いた手法による地震動評価」で述べる）の位置である。赤い線の上に打たれた緑色

⁵⁴ 小浜湾における極めて詳細な調査（上記第1の2（2）エ（ウ）を参照）により、断層の存在が明確に否定できる区間を除いた区間の中で、本件発電所敷地に最も近い位置である。

の星印は、平面図上での位置を示しており、格子状の区画上に打たれた水色の星印は、上記緑色の各星印の、震源断層面における位置を示している。

【図表 4 0 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のモデル図（基本ケース）】

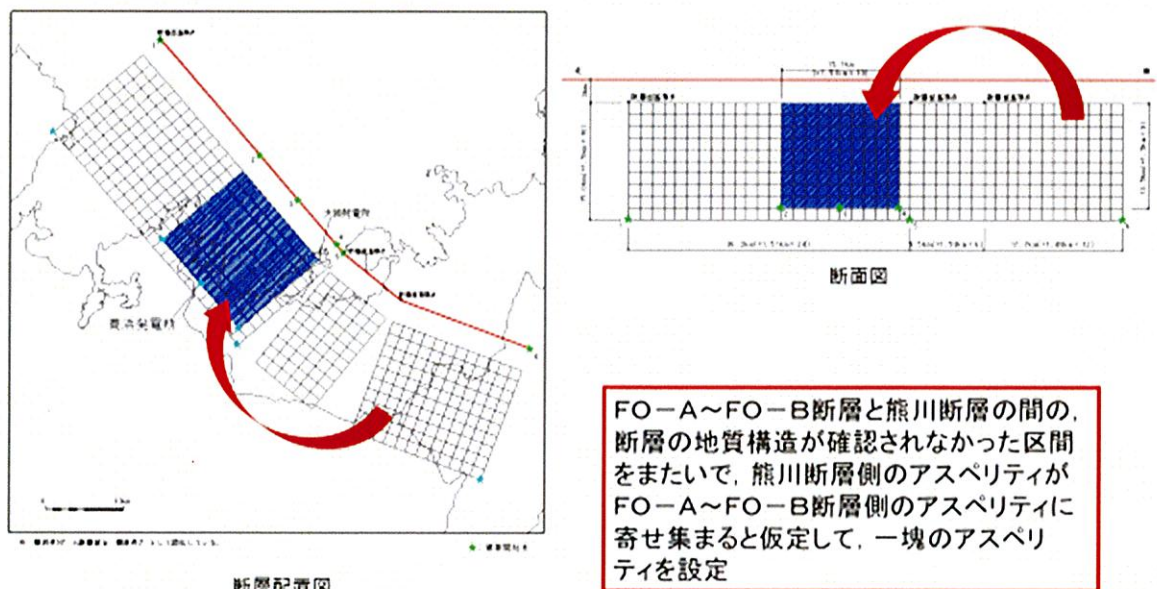
このアスペリティの配置は、以下述べる点に照らしても、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層が連動するとした場合に最も地震動が大きくなる配置であると考えられる。

まず、アスペリティは震源断層の中ですべり量が多い部分であることを踏まえると、震源として考慮する活断層のうちF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、詳細な調査から断層を示す地質構造が確認されなかったF O - A ~ F O - B 断層と熊川断層の間の区間にアスペリティが位置することは考えられない（この点、レシピでは、アスペリティの位置に関して、震源断層の浅部の変位量分布と起震断層（アスペリティ）の変位量分布がよく対応することが明らかにされていると示されている。乙35、9頁、(a)）。また、一方の断層のアスペリティが、断層を示す地質構造が確認されなかった区間をまたいでもう一方の断層のアスペリティに寄せ集まって1箇所固まって存在することも想定し難い。したがって、地震動評価における基本ケースとしては、そのような制約の中で（想定し難い前提を排除した中で）、地震動が大きくなるように本件発電所敷地に最も近い位置にアスペリティを寄せた配置とした（これを下記ウ（ア）の図表 4 4 の「基本ケース」として設定した。）。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、また十分に保守的な評価という観点から、念のため、現実には起こるとは想定し難いような配置も検討することとし、基本ケースを超えて、更に不確かさを考慮するケースとして、F O - A ~ F O - B 断層と熊

川断層の間の区間をまたいでアスペリティを一塊に寄せ集め、正方形又は長方形にして本件発電所敷地近傍に配置するケースを設定した（これを下記ウ（ア）の図表４４の「不確かさを考慮したケース」として設定した。アスペリティの配置等については下記図表４１（一塊（正方形）にしたケース）のとおり。乙85、82、84頁、乙30の1、添付書類六、6-5-67～6-5-68頁）。

（なお、上林川断層については、乙85、103頁、乙30の1、添付書類六、6-5-69頁。）



【図表４１ FO-A～FO-B～熊川断層のアスペリティを
一塊（正方形）にしたケース】

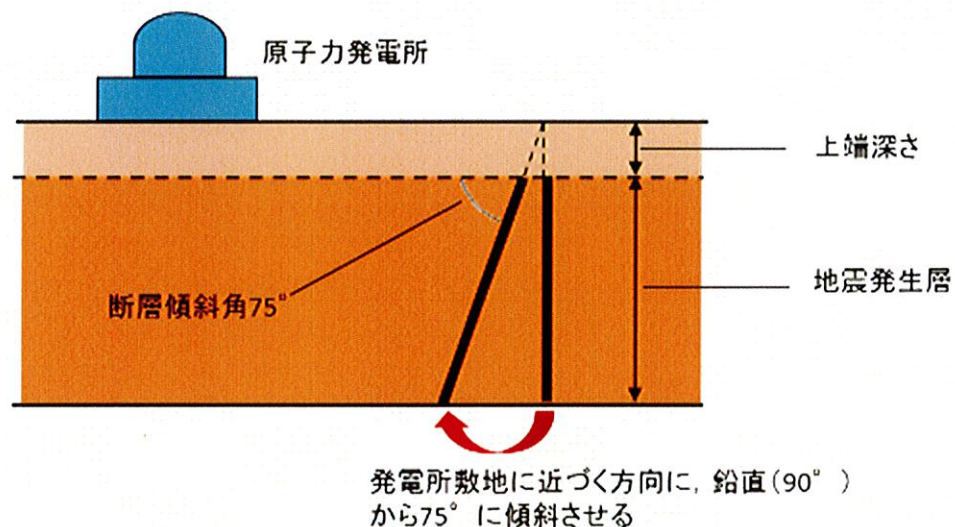
c 断層傾斜角

次に、断層傾斜角については、上記第１の３（２）ア（イ）で述べたとおり、債務者はFO-A～FO-B～熊川断層、上林川断層のいずれも、断層面がほぼ鉛直で地震時のずれ方向は水平方向が主である「横ずれ断層」とであると評価し、断層傾斜角は鉛直（水平面

から90° 下向き) と評価した (これを下記ウ (ア) の図表4 4 の「基本ケース」 として設定した)。

しかしながら、断層傾斜角が鉛直から多少傾斜する可能性も考えられ、特に震源断層が発電所敷地に近い場合には、これらの不確かさが発電所敷地での地震動に影響する可能性があることから、債務者は、本件発電所敷地に近いF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の断層傾斜角について、保守的な観点から不確かさを想定することとした。

具体的には、断層傾斜角について、評価結果の鉛直 (水平面から90° 下向き) から、水平面から75° 下向きにしたケース⁵⁵を、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層において更に不確かさを考慮するケース (下記ウ (ア) の図表4 4 の「不確かさを考慮したケース」) の一つとして設定した。震源断層面を発電所敷地に近くなる方向に傾けることで等価震源距離は短くなり、保守的な条件設定となる。(図表4 2)



【図表4 2 断層傾斜角】

⁵⁵ 詳細な地質調査の結果、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、断層面が鉛直 (断層傾斜角90°) の横ずれ断層と評価しているところ、不確かさの考慮として、(周辺の逆断層 (69頁の図表2 7の右上の図) の傾斜角を60° と評価していることを踏まえ) 逆断層までには至らない断層傾斜角75° を考慮し、発電所敷地に近くなる側に傾斜させる設定とした。

d 等価震源距離の評価

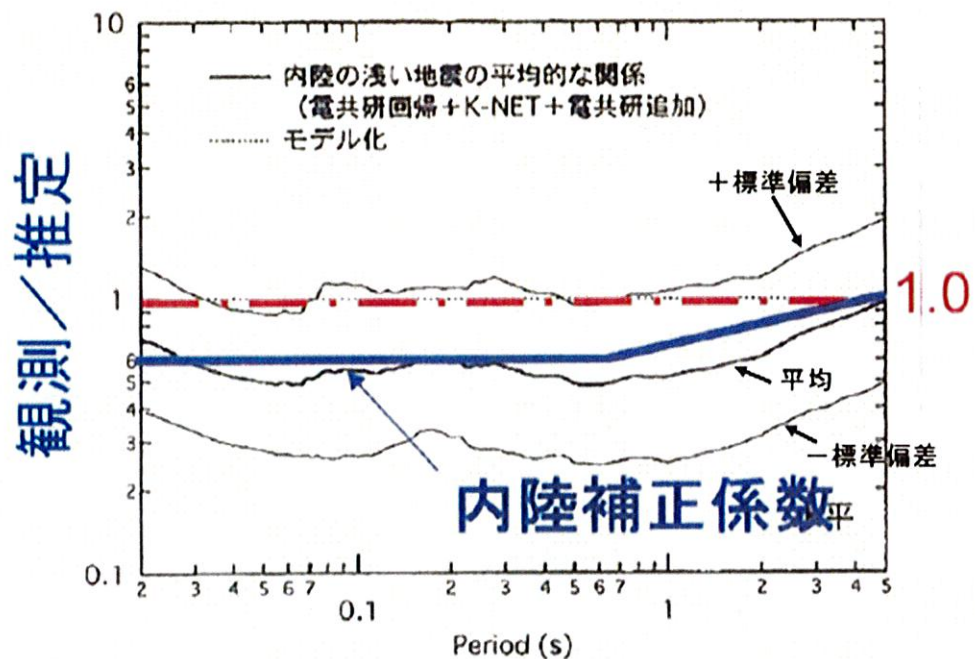
以上のような保守的な条件設定により、等価震源距離は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について、基本ケースで20.2km、アスペリティを一塊にしたケースで19.7km（アスペリティ正方形）、19.5km（アスペリティ長方形）、断層傾斜角を75°にしたケースで18.6km（下記ウ（ア）の図表44）、上林川断層について19.9kmとなり、債務者は、これらを地震動評価に用いることとした。

（ウ）内陸補正係数

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

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

そのため、耐専式をそのまま適用すると、図表43に示すように、実際の地震動の観測記録の方が小さく、耐専式による評価結果は過大評価となる。



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

（乙78、22頁の右下の図に一部加筆）

【図表4-3 内陸補正係数】

そこで、内陸地殻内地震について耐専式を用いる場合には、同図表において青色の線で示すように、短周期側（グラフの横軸の左側）を0.6倍にする内陸補正係数を乗じて補正する（小さくする）こととされている（乙103、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-2015）」47頁、(5)、48頁、附表1.1-1）⁵⁶。

本件発電所に影響を与える、若狭湾周辺地域で発生する地震は内陸地殻内地震であることから、本来この内陸補正係数を用いることができるところ、債務者は、あえてこの内陸補正係数を乗じないことで地

⁵⁶ 具体的には、地震基盤における水平方向の地震動に対し、応答スペクトルの周期0.02秒から0.6秒にかけては補正係数0.6を、周期0.6秒から5秒にかけては周期に応じ、補正係数0.6から1.0に漸増させた補正係数を、それぞれ乗じることで、短周期領域の地震動を小さくすることができる。

震動を大きく見積もり、保守的な地震動評価を行った。（乙30の1、添付書類六、6-5-10～6-5-11頁）

（エ）その他のパラメータ等

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

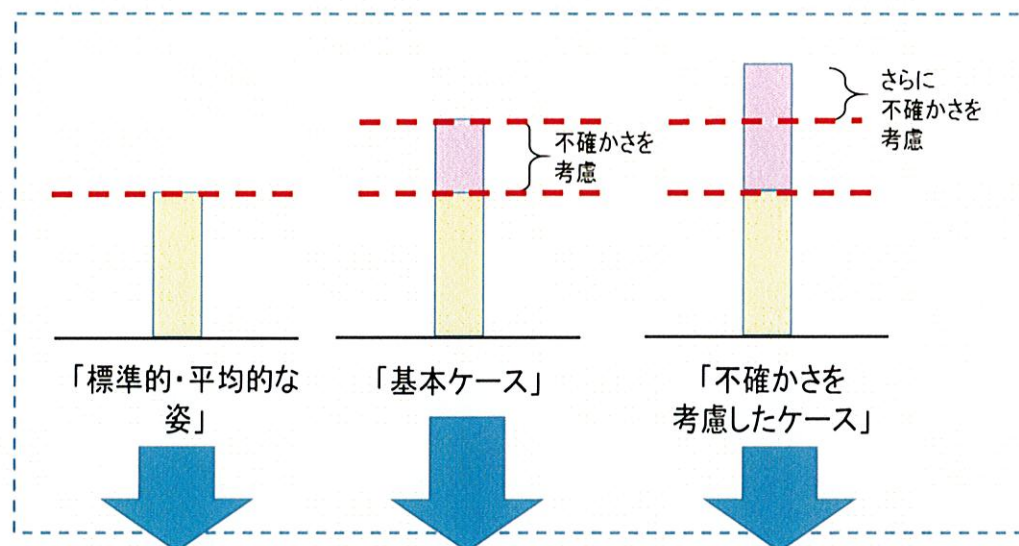
そこで、債務者は、地盤の増幅特性（サイト特性）について、上記第1の3（2）ウで述べた詳細な調査に基づいて、本件発電所敷地の解放基盤表面のP波速度及びS波速度をそれぞれ約4.3km/s、約2.2km/sと評価するとともに、地震波の局所的な集中を生じさせるような特異な地下の速度構造がなく、耐専式で得られる評価結果を補正する必要がないことを確認した。

ウ 地震動評価結果

（ア）債務者は、上記イのとおり、詳細な調査と既往の知見に基づいて保守的にパラメータを設定した（乙30の1、添付書類六、6-5-29頁）。そのうち、F〇-A～F〇-B～熊川断層による地震に係る震源断層パラメータの設定をまとめると、図表44のとおりとなる。

債務者は、基準地震動の策定にあたって、「基本ケース」を設定した上で、「不確かさを考慮したケース」も設定して地震動評価を行っている。これらは、地震動評価において設定すべき各種パラメータについて、そもそも詳細な調査に基づき、不確かさを考慮して保守的な条件で基本ケースを設定しているところ、それらのパラメータについて、（場合によっては科学的・専門技術的知見から合理的に考慮できる範

囲を超えて) さらに不確かさを考慮して設定したものを「不確かさを考慮したケース」と呼び、これとの区別のため、前者を便宜上「基本ケース」と呼んでいる。



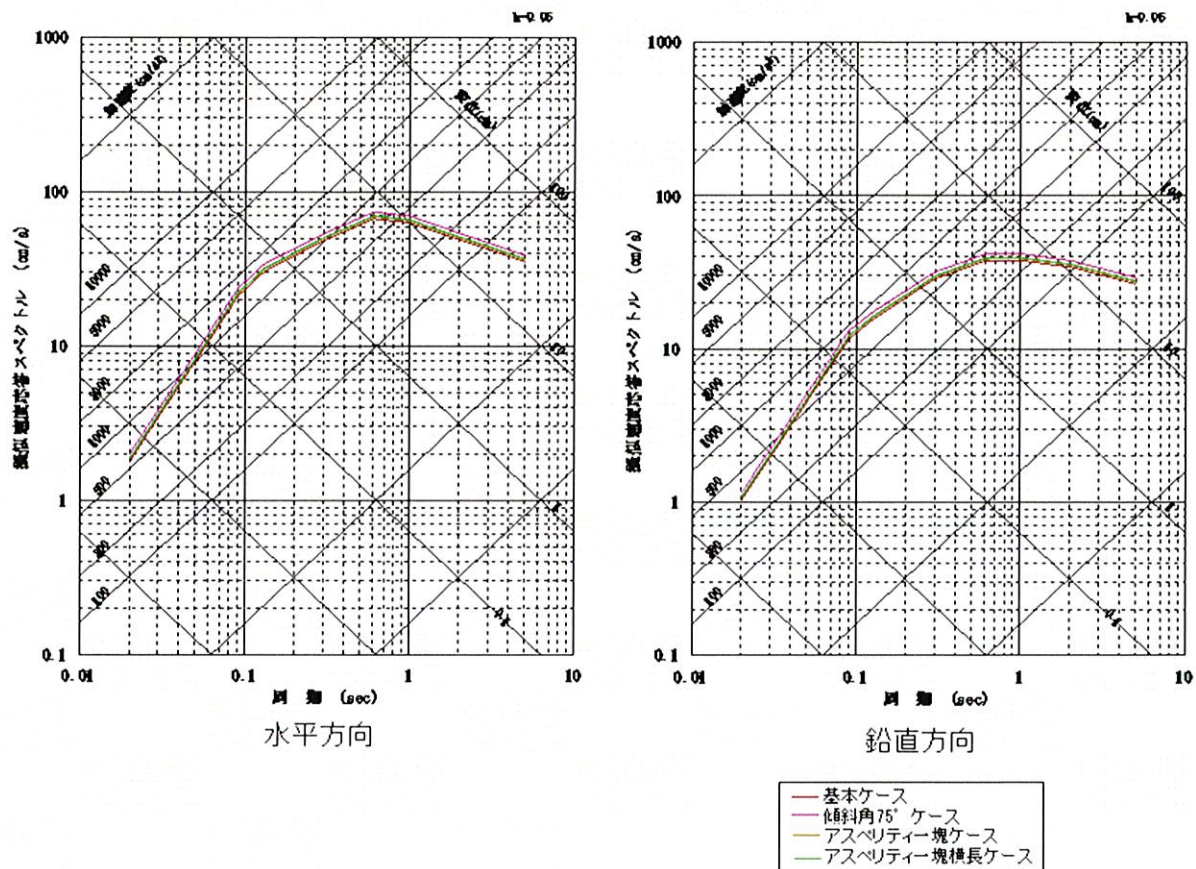
断層パラメータ	標準的・平均的な姿	基本ケース	不確かさを考慮したケース
断層の長さ	35.3km(2運動を考慮)	63.4km(3運動を考慮)	
地震発生層の厚さ	14km(上端深さ: 4km、下端深さ: 18km)	15km(上端深さ: 3km、下端深さ: 18km)	
アスペリティの配置	敷地近傍に配置 (なお、レシピでは、断層面の中央付近に配置するのが基本とされている)	敷地近傍に配置	・敷地近傍に正方形に一塊にして配置(①) ・敷地近傍に長方形に一塊にして配置(②)
断層傾斜角	調査結果に基づき、90°	調査結果に基づき、90°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また周辺の断層も参照して、75°(③)
内陸補正係数	係数を用いる(短周期側を0.6倍に小さく補正する)	係数を用いない(短周期側を0.6倍に小さく補正しない)	

【図表 4 4 応答スペクトルに基づく地震動評価のパラメータ設定

(F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震)】

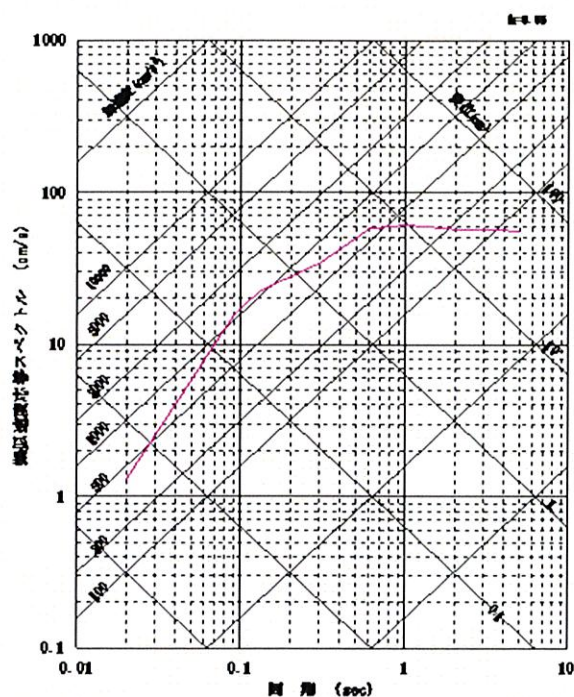
(イ) 以上の設定をもとに、本件発電所について耐専式を用いて応答スペクトルに基づく地震動評価を行った結果(応答スペクトル)は、図表

4 5 (F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震) 及び図表 4 6 (上林川断層による地震) のとおりである (乙 85、86、106 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-70 ~ 6-5-73 頁)。

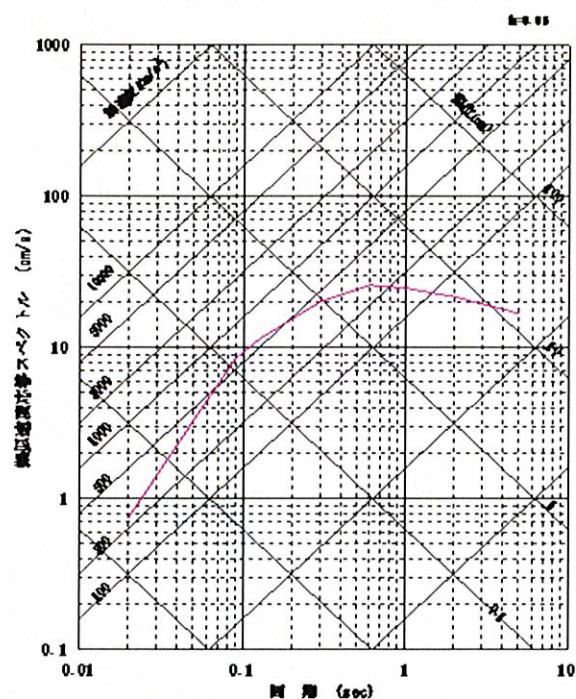


【図表 4 5 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の

耐専式による地震動評価結果】



水平方向



鉛直方向

【図表 4 6 上林川断層による地震（基本ケース）の

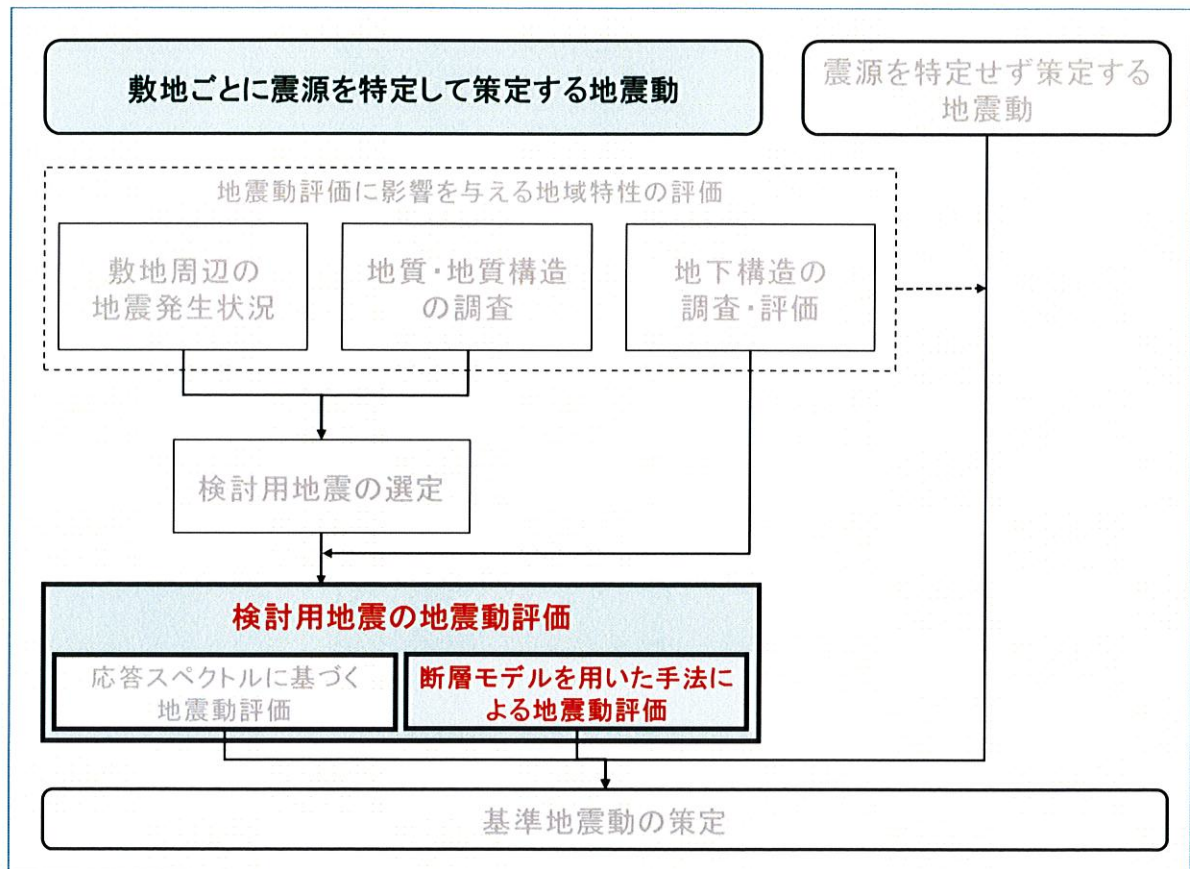
耐専式による地震動評価結果】

(3) 原子力規制委員会による審査

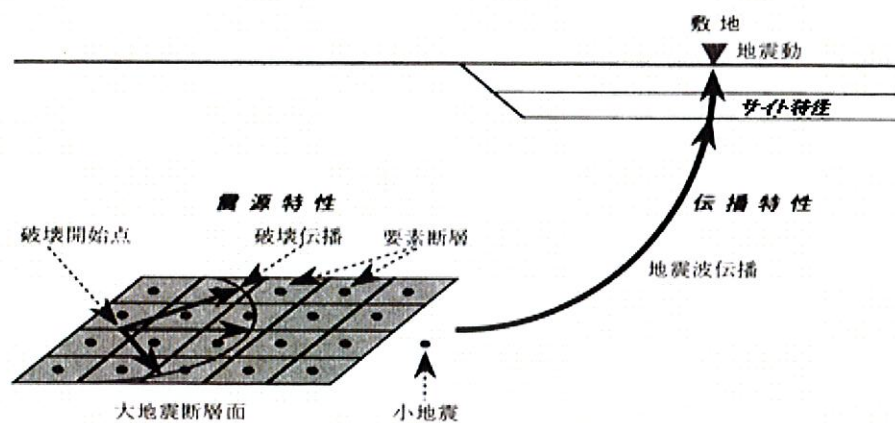
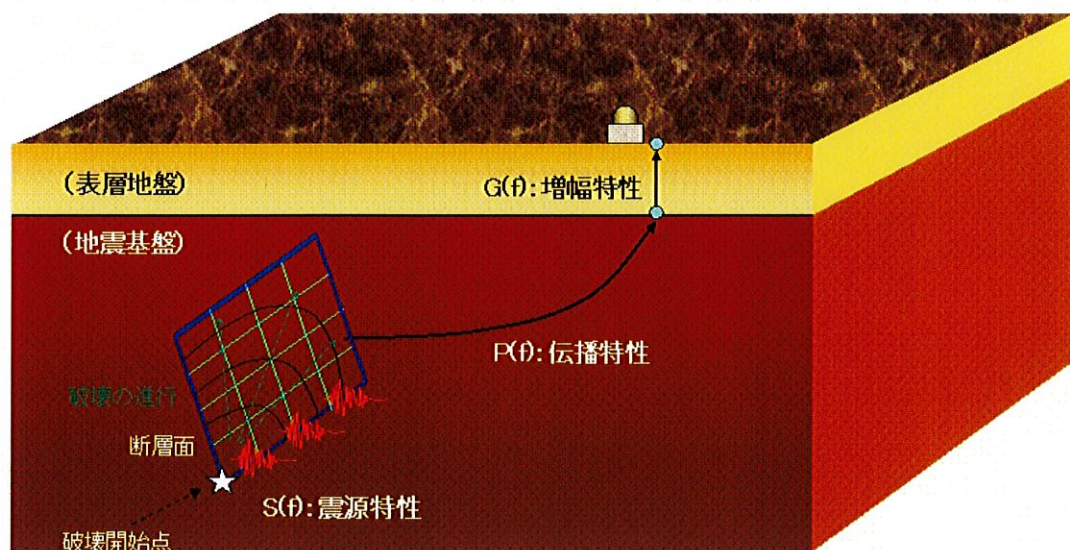
原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（本項の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び下記 3 の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」）について、検討用地震として選定した各断層による地震に係る評価が、設置許可基準規則解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、16～18 頁⁵⁷、乙 84、11～12 頁）。

⁵⁷ なお、債務者が松田式を用いている点については、乙 39 号証の 17～18 頁の (3) ②で言及されている。

3 断層モデルを用いた手法による地震動評価



「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、震源となる断層（震源断層）をモデル化して震源断層面を設定し、その震源断層面にアスペリティを配置し、ある一点の破壊開始点から、これが次第に破壊し、揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価手法である（図表47）。



【図表 4 7 断層モデルを用いた手法の模式図】

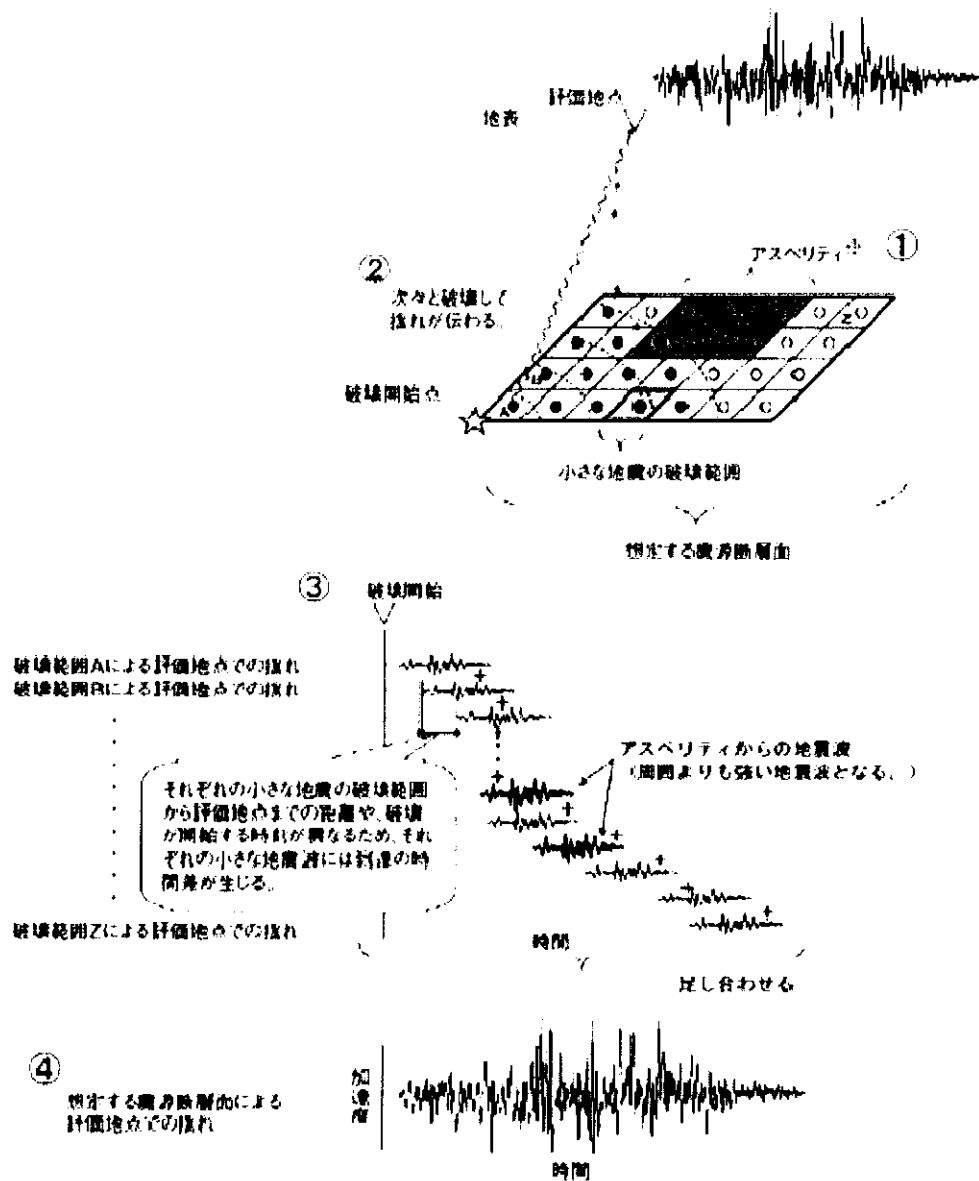
上記 2 の「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、過去の多くの地震データをもとにしたもので、少ないパラメータ（地震規模、震源距離等）で地震動を評価できる手法である。一方で、実際の断層は面であり、断層面は均質ではなく、また、地震のメカニズムも複雑である。

すなわち、地震とは、プレートの動きによって蓄積されたひずみが限界を超えたときに、断層がずれ動く現象である。ずれ動く面のことを震源断層面といい、震源断層面は均質ではなく、断層面上には通常は強く固着していて、ずれ動く際に周囲に比べて特にすべり量が大きく強い地震波を出す領域（アスペリティ）が存在する。そして、震源断層は、同時に震源断層面の全範囲が破壊されるのではなく、破壊が始まった部分が地震波を発し、次第に破壊の範囲が広がっていくものである。地震動評価においては、大きな地震は、小さな地震が次々に発生してそれぞれの揺れが合わさったものと見なすことができる。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、このような地震の発生メカニズムを反映した手法であり、具体的には、①震源断層面を設定（アスペリティの配置を含む）し、細かい小断層（要素面）に分割する、②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する、③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し、分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる（この時アスペリティからの地震波はアスペリティ以外の部分からの地震波よりも強いものとなる）、④足し合わせの結果、評価地点での地震動が求められる（以上①から④について、図表48）。

なお、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」との関係について、従来は「応答スペクトルに基づく地震動評価」が中心であったが、平成18年の耐震設計審査指針（乙55、別添1）の改訂を踏まえて、近年技術的進歩が著しい強震動予測手法としての「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を並列的に用いている。

（以上について、乙28、254～256頁、262頁）



(乙28、256頁より)

【図表 4 8 断層モデルを用いた手法による地震動評価のイメージ】

以下では、各検討用地震に係る「断層モデルを用いた手法による地震動評価」について説明する。

(1) 設置許可基準規則等

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」について、設置許可基準規則解釈は、「検討用地震ごとに、適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定し、地震動評価を行うこと」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号④ii）、乙33、136頁）。

これを受けて、地震ガイドは、まず、震源モデルの設定について、「震源断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法』（引用者注：「レシピ」（乙35）のことである）等の最新の研究成果を考慮し設定されていること」、「アスペリティの位置が活断層調査等によって設定できる場合は、その根拠が示されていること」、「根拠がない場合は、敷地への影響を考慮して安全側に設定されている」こと、「アスペリティの応力降下量（短周期レベル）については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていること」を確認するとしている（I 3.3.2(4)①、乙33、4～5頁）。

また、地震動計算において統計的グリーン関数法（下記（2）ア③）等を用いる場合について、「震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの増幅特性が地盤調査結果等に基づき評価されていること」を確認するとしている（I 3.3.2(4)③1）、乙335、5頁）。

(2) 本件発電所の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

ア 債務者の評価手法の概要

上記の要求事項を踏まえ、債務者は、本件発電所について断層モデルを用いた手法による地震動評価を行った。その概要は以下のとおりである。
(乙28、257～261頁)

① 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）

債務者は、まず、地震ガイドに例示されている地震本部のレシピ（乙35）等を参照するなどして、検討用地震ごとに、十分に不確かさを考慮して、震源断層パラメータを設定し、震源断層をモデル化した（下記イ）。

なお、レシピは、実際の地震動を精度良く再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている。

このことは、地震ガイド（乙36）において、レシピが最新の研究成果として例示されている（I 3.3.2(4)①1）、乙33、4～5頁）ことに加え、国の防災計画や地方公共団体の地域防災計画等の検討において実績の豊富な信頼性の高い手法として採用されていることから裏付けられる（乙28、297頁）。

② 地震波の伝播特性、地盤の増幅特性（サイト特性）の評価

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

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

③ 地震動評価

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」では、震源断層パラメータ（上記①）と、伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価

結果（上記②）を用いて、震源断層面上の各要素面からの地震波によって生じる評価時点での小さな地震動を、評価地点に次々に到達することによる時間差を考慮して重ね合わせる作業（波形合成）が必要となる。

債務者は、この波形合成の方法（波形合成法）として、統計的グリーン関数法等^{58, 59}を用いることとし、地震動評価を行った（下記エ）。

イ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）

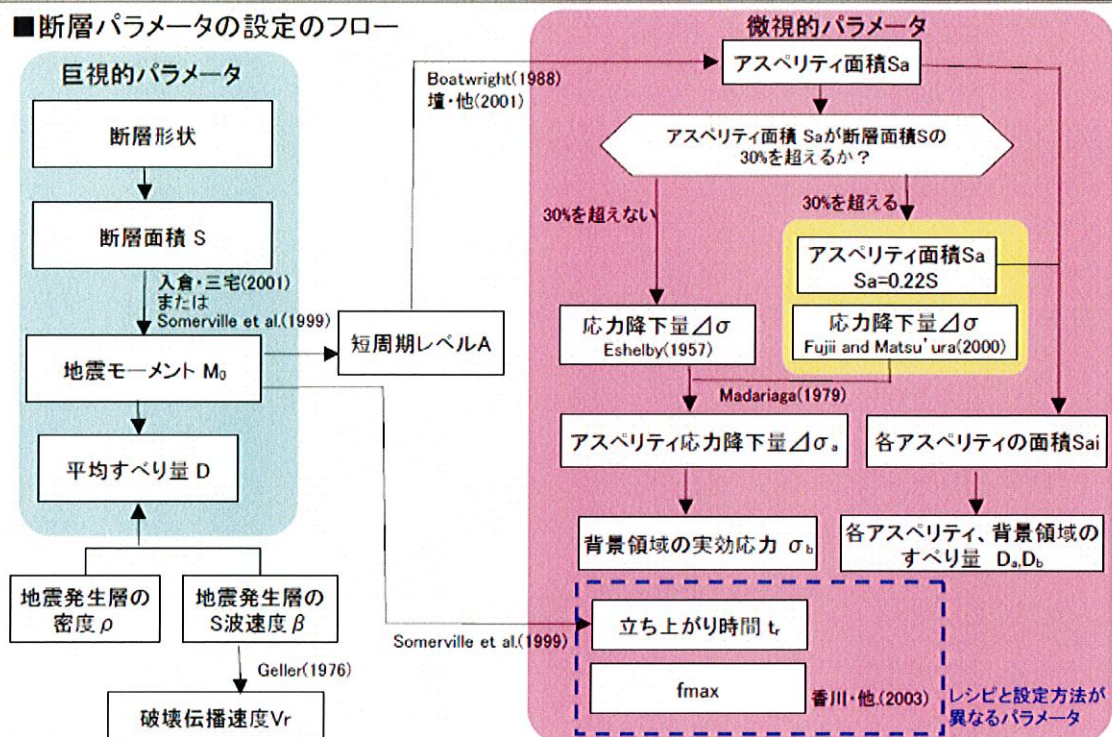
債務者は、地震ガイドに例示された地震本部のレシピ（乙35）等を参照するなどして、震源断層パラメータを設定した（図表4-9。乙85、64頁、乙30の1、添付書類六、6-5-64頁）。

⁵⁸ 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。

⁵⁹ 補足すると、統計的グリーン関数法は、要素地震による地震動として、既往の地震観測記録を統計処理して作成した人工的な時刻歴波形を採用している。また、評価地点の地盤をモデル化することで地盤の増幅特性（サイト特性）を反映している。

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

■断層パラメータの設定のフロー



【図表 4 9 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」における

震源断層パラメータの設定の流れ】

(ア) 各パラメータの設定

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

a 震源断層面積 (S)

(a) 基本ケース

まず、保守的な条件により設定した、震源となる断層の長さ (L) 及び断層の幅 (W) から、震源断層面積 (S) を求めた ($S = L \times W$)。

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

この結果、震源断層面積は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は951km²、上林川断層は592.5km²となった（乙85、73、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等）。

（b）不確かさの考慮

さらに、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、下記（イ）c（b）で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、断層面を90°から75°に傾斜させると（上記2（2）イ（イ）cの図表42を参照）、断層の幅が広くなることから面積も広くなる。この場合の震源断層面積は、1002.85km²となった（乙30の1、添付書類六、6-5-32頁、乙85、80頁）。

b 地震モーメント（M₀）

（a）基本ケース

次に、上記aの震源断層面積から地震モーメントを求めた。

地震モーメント（M₀）とは、地震の規模を表す指標の一つで、断層運動の大きさ（エネルギー）を表す値である（単位はN・m（Nはニュートン）である）。

レシピでは、入倉・三宅（2001）⁶⁰（乙104）で提案されている、震源断層面積と地震モーメント（ M_0 ）の関係式⁶¹（ $M_0 \geq 7.5 \times 10^{25} \text{dyne-cm}$ の場合は $S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}$ 。以下、「入倉・三宅式」という）が示されている。

入倉・三宅式は、地震動の観測記録等を用いた解析により求められた震源断層面積と地震モーメントのデータを主に用いて、他のパラメータを介さず、直接、震源断層面積と地震モーメントとの関係を導くものであり、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うために、個々の活断層ごとに震源断層面の大きさ（長さ・幅）・深さ・傾斜を設定して震源断層面積を算定し、震源パラメータを設定する場合に適したものである。

債務者は、入倉・三宅式を適用することに問題がないことを確認の上⁶²、入倉・三宅式を用いて震源断層面積から地震モーメントを求めた。上記 a のとおり震源断層面積を保守的に大きく設定した結果、各断層の震源断層面積から求められる地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となり、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については $5.03 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ 、上林川断層については $1.95 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ となった（乙85、73、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-

⁶⁰ 入倉孝次郎・三宅弘恵「シナリオ地震の強震動予測」地学雑誌第110巻、849～875頁

⁶¹ 乙104号証861頁、図8の「Step3」の式（レシピでは、乙35号証4頁、(3)の式）。

⁶² レシピでは、「(3)式（引用者注：入倉・三宅式）を適用するのは、 $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (\text{N} \cdot \text{m})$ ・・・以上 $M_0 = 1.8 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m})$ ・・・以下の地震とする。一方、 $M_0 = 1.8 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m})$ を上回る地震では、・・・次式（引用者注：(4)式）を用いる」（乙35、5頁、(c)）、「利便性に配慮して機械的に値が求められるように、式の使い分けの閾値を決めているが、原理的には断層幅や平均すべり量が飽和しているかどうかでスケール則が変わるため、断層幅が飽和していない場合(1-a)式は(2)式を、飽和している場合(1-b)式は(3)式（引用者注：入倉・三宅式）あるいは(4)式を用いる方が合理的である」（乙35、5頁、(c)）とされている。このように、レシピでは、各式の適用にあたっては、断層幅の飽和の有無、地震の規模等を考慮することとされている。債務者は、検討用地震の評価にあたり、震源断層面が地震発生層の上端から下端まで一杯に広がっている、すなわち「断層幅が飽和している」ことを前提として断層幅を設定し（上記第1の3（2）ア（ウ））、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については $M_0 = 5.03 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ 、上林川断層については $M_0 = 1.95 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ と評価しているため、入倉・三宅式を適用することに問題がないことを確認している。

5-31頁、6-5-36頁等)。

(b) 不確かさの考慮

さらに、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、下記 (イ)
c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を 75° に
したケースを設定しているところ、その場合の地震モーメントは、
 $5.59 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ となった (乙85、80頁、乙30の1、添付書類六、6-5-
32頁)。

c 短周期レベル (A)

(a) 基本ケース

続いて、上記bの地震モーメントから短周期レベルを求めた。

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

レシピでは、壇ほか (2001) ⁶³で提案されている、地震モーメント
と短周期レベル (A) との関係式 ($A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$)
が示されている。

債務者は、この関係式を用いて地震モーメントから短周期レベル
を求めた。上記bの地震モーメントが保守的に大きな値となった結
果、地震モーメントから求められる各断層の短周期レベルも大きな
値となり、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については $1.96 \times 10^{19} \text{N} \cdot$
 m/s^2 、上林川断層については $1.43 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$ となった (乙85、73、

⁶³ 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

104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等)。

(b) 不確かさの考慮

さらに、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、下記 (イ) c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、この場合の短周期レベル (A) は、 $2.03 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$ となった (乙85、80頁、乙30の1、添付書類六、6-5-32頁)。

また、新潟県中越沖地震の短周期レベルが平均的な短周期レベルの1.5倍であったとの新たな知見⁶⁴については、このような現象がこれまで他の地震において一般的に見られたものではないこと、本件発電所敷地周辺では「標準的・平均的な姿」よりも大きくなる地域性が存する可能性を示すデータは特段得られていないことから、当該知見については、これを基本ケースとする必要はなく、別途不確かさとして考慮するのが適切であると判断し、いずれの断層についても、短周期の地震動レベルを1.5倍とするケースも設定することとした⁶⁵ (具体的には、基本ケースの設定値を保持したまま、短周期領域のフーリエスペクトルの比が1.5倍となるよう設定することで、短周期の地震動レベルが1.5倍となるようにしている。下記 (ウ) の図表5 1の「不確かさを考慮したケース」。) (乙30の1、添付書類六、

⁶⁴ 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。

⁶⁵ 脚注64で述べた①ないし③の知見のうち、②及び③の要因については、柏崎刈羽原子力発電所敷地の地下構造特性によるものであり、本件発電所敷地においては柏崎刈羽原子力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。

6-5-28頁)。

d アスぺリティ面積 (S_a)

(a) 基本ケース

続いて、上記 c の短周期レベルからアスぺリティ面積 (S_a) を求めた。

活断層に起因する地震に関する研究の進展により、大地震のときには、震源断層面の全ての部分が一様に同じずれ幅・向きでずれるのではなく、震源断層面上のすべり分布は不均質であり、大きくずれる部分 (アスぺリティ) もあればそうでない部分もあることが明らかにされている (乙104、852頁)。

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

もっとも、この方法では、断層が長大で面積が大きくなるほど、既往の調査・研究成果と比較してアスぺリティ面積が過大評価となる傾向にあるとされている (乙35、9～10頁、(b))。この点、アスぺリティの総面積は断層総面積の20～30%に分布するとの知見が示されているところ (乙105、「中央防災会議『東南海、南海地震等に関する専門調査会』(第26回) 中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布等の検討資料集 (抜粋)」2-14頁)、F O - A ～ F O - B ～熊川断層については、関係式による算定の結果、アスぺリティ面積比 (震源断層面積に占めるアスぺリティ面積の割合) が30%を超えた。このため、債務者は、中央防災会議での知見及びレシピに示された

Somerville et al. (1999)⁶⁶で提案されている知見により、アスペリティ面積比を22%としてアスペリティ面積を求めた。

以上の結果、各検討用地震の断層に係るアスペリティの総面積は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層で209.22km²、上林川断層で158.31km²となった(乙85、74、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等)。

(b) 不確かさの考慮

また、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、下記(イ) c (b)で述べるとおり、不確かさを考慮して、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、断層面を90°から75°に傾斜させると、断層の幅が広くなることから震源断層面積も広くなり、それに伴ってアスペリティ面積も広くなる。この場合のアスペリティの総面積は、220.63km²となった(乙85、81頁、乙30の1、添付書類六、6-5-32頁)。

e 震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$)

地震は、地下の岩盤が震源断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

⁶⁶ Somerville, P. ほか「Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion」、Seismological Research Letters、70、59-80頁

ことをいい、単位面積当たりの力として規定される数値（単位はMPa（メガパスカル））である。

レシピでは、Eshelby (1957)⁶⁷等で提案されている、震源断層面積（S）及び地震モーメント（ M_0 ）から震源断層全体の応力降下量（ $\Delta\sigma$ ）を求める方法が示されている（ $\Delta\sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$ ）⁶⁸（方法①）。

ただし、内陸の長大な横ずれ断層に係る震源断層全体の応力降下量については、Fujii&Matsu'ura (2000)⁶⁹において、収集した観測データに基づく回帰計算により $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ が提案されており、レシピでは、長大な断層についてこの知見を用いることが示されている（乙35、12頁、(d)）（方法②）。

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

（以上eについて、乙85、73、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等）

f アスペリティの応力降下量（ $\Delta\sigma_a$ ）

震源断層面上に蓄積されるひずみは、震源断層面全体に一様に蓄積

⁶⁷ Eshelby, J.D. 「The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems」, Proceedings of the Royal Society, A241, 376-396頁

⁶⁸ 本文記載の方法は、震源断層面を円形のもの（円形破壊面）と仮定し、等価半径（震源断層面積Sと等価になる円の半径）Rを求めた上で、等価半径及び地震モーメントと震源断層全体の応力降下量との関係式（乙35、12頁、(22-2)式「 $\Delta\sigma = (7/16) \cdot M_0/R^3$ 」）により求めるというものである。円の面積の公式（ $S = \pi R^2$ ）をRが左辺の式にした上で、上記(22-2)式に代入すると、本文記載の式となる。

⁶⁹ Fujii, Y. and M. Matsu'ura 「Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication」, Pure and Applied Geophysics, 157, 2283-2302頁

されているわけではなく、固着の強いアスペリティ部分では大きなひずみが蓄積される一方で、それ以外の背景領域ではあまり蓄積されない。このため、アスペリティ部分の応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) は、震源断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。

レシピでは、Madariaga (1979)⁷⁰で提案されている、震源断層面積 (S) に占めるアスペリティ面積 (S_a) の割合 (アスペリティ面積比、 S_a/S) と、上記 e の震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$) から、アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) を求める関係式が示されている ($\Delta \sigma_a = (S/S_a) \times \Delta \sigma$) (乙35、11頁、(21-1) 式)⁷¹。

債務者は、この方法により、アスペリティ面積比と震源断層全体の応力降下量から各断層のアスペリティの応力降下量を求めた (乙85、74、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等)。

なお、アスペリティが複数ある場合の各アスペリティの応力降下量は、レシピにおいて、「アスペリティが複数ある場合には、特にその震源域の詳しい情報がない限り、各アスペリティの応力降下量はアスペリティ全体の応力降下量に一致し、すべて等しいと仮定する」(乙35、12頁、(d)) とされていることを踏まえ、各アスペリティとも同じ値に設定した (例えば、乙85号証の74頁 (F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の基本ケースのパラメータ設定) において、アスペリティ

⁷⁰ Madariaga, R. 「On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity」, Journal of Geophysical Research, 84, 2243-2250頁

⁷¹ なお、アスペリティの応力降下量については、震源断層全体の応力降下量の場合 (上記 e の方法①) と同様に、アスペリティを円形のものとして仮定し、アスペリティの等価半径 r を乙35号証10頁の(13)式から求めた上で、アスペリティの等価半径 r 、震源断層面の等価半径 R 、地震モーメントと、アスペリティの応力降下量との関係式 (乙35、11頁、(21-2) 式「 $\Delta \sigma_a = (7/16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$ 」) から求める方法が提案されている。そして、この(21-2)式については、「(21-1)式と等価な式」(乙35、11頁)とされている。つまり、アスペリティの応力降下量の設定は、上記の(21-2)式による方法でも、本文記載の方法でも、同じ計算をしたことになるということである。

の応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) は、「F O - A ~ F O - B 断層」内の「大アスペリティ」、「小アスペリティ」と、「熊川断層」のアスペリティは、いずれも14.1MPaで同じ値とした)。

g 破壊伝播速度 (V_r)

(a) 基本ケース

破壊伝播速度 (V_r) は、断層の破壊開始点から始まったずれ(破壊)が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。既往の研究において、標準的には地震発生層におけるS波速度 β の0.72倍 (0.72β) とされており、本件発電所の地震動評価においても 0.72β としている(下記(ウ)の図表51の「基本ケース」。乙85、73、104頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-31頁、6-5-36頁等)。

(b) 不確かさの考慮

破壊伝播速度が大きくなると、断層の破壊が震源断層面上でより速く広がるため、より短い時間に多くの地震波が敷地に到達することとなり、敷地での地震動も一般的には大きくなる。そこで、債務者は、破壊伝播速度の不確かさも考慮することとし、既往の研究による、過去の地震における破壊伝播速度の不確かさも考慮して、 β の0.87倍 (0.87β) としたケースを設定した(下記(ウ)の図表51の「不確かさを考慮したケース」。乙85、77、105頁、乙30の1、添付書類六、6-5-34頁、6-5-37頁)。

(イ) その他のパラメータ設定

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

設定した。

a アスペリティの配置

(a) 基本ケース

アスペリティの配置については、上記 2 (2) イ (イ) b で述べたとおり、債務者は、アスペリティの位置を地震の発生前に正確に特定するのは困難であることを踏まえ、保守的な観点から、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層、上林川断層のいずれについても、アスペリティを本件発電所敷地に近い位置で、かつ断層の上端に配置することで、より大きな地震動を想定することとした（これを下記 (ウ) の図表 5 1 の「基本ケース」として設定した。乙 85、72、103 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-65 頁、6-5-69 頁。なお、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のアスペリティの配置等については上記 2 (2) イ (イ) b の図表 4 0 (基本ケース) のとおり)。

(b) 不確かさの考慮

その上で、債務者は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について、原子力規制委員会の議論も踏まえ、念のため、現実には起こるとは想定し難いようなアスペリティの配置（アスペリティを一塊に寄せ集め、正方形又は長方形にして本件発電所敷地近傍に配置するケース）も設定することとした（これを下記 (ウ) の図表 5 1 の「不確かさを考慮したケース」として設定した。乙 85、82、84 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-67 ~ 6-5-68 頁。なお、アスペリティの配置等については上記 2 (2) イ (イ) b の図表 4 1 (一塊 (正方形) にしたケース) のとおり)。

b 破壊開始点

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。

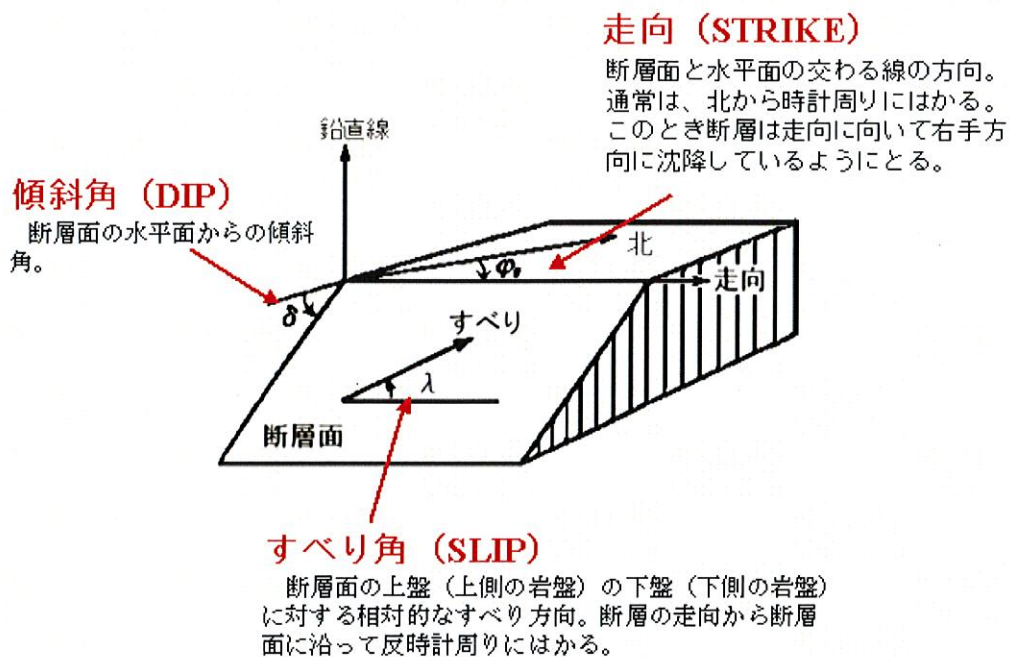
破壊開始点については、地震の発生前に位置を予測することが難しいとされており、また、地震動の評価地点（発電所敷地）から見て、遠い方から近い方に破壊が進行していく場合に評価地点での地震動が大きくなるとされている。

そこで、債務者は、破壊開始点を、断層の端やアスペリティの端といった本件発電所敷地から遠い位置に置くなど、複数の位置（F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について5箇所ないし9箇所、上林川断層について6箇所）に設定した（乙85、72、103頁等、乙30の1、添付書類六、6-5-65頁、6-5-69頁等）。

c 断層傾斜角及びすべり角

（a）基本ケース

断層傾斜角とは、震源断層面と水平面とのなす角度の小さい方をいう。また、すべり角とは、震源断層の上盤側の、下盤側に対する相対的なずれの方向をいう（断層の走向から断層面に沿って反時計回りの角度で示す）。（図表50）



【図表 5 0 断層の模式図（断層傾斜角、すべり角等）】

断層傾斜角は、上記 2 (2) イ (イ) c で述べたとおり、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層及び上林川断層は、詳細な地質調査の結果、いずれも断層傾斜角は鉛直（水平面から 90° 下向き）としており、すべり角（断層のずれの方向）は水平（F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は 0° 、上林川断層は 180° ）としている（下記 (ウ) の図表 5 1 の「基本ケース」。乙 85、73、104 頁等、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-31 頁、6-5-36 頁等）。

(b) 不確かさの考慮

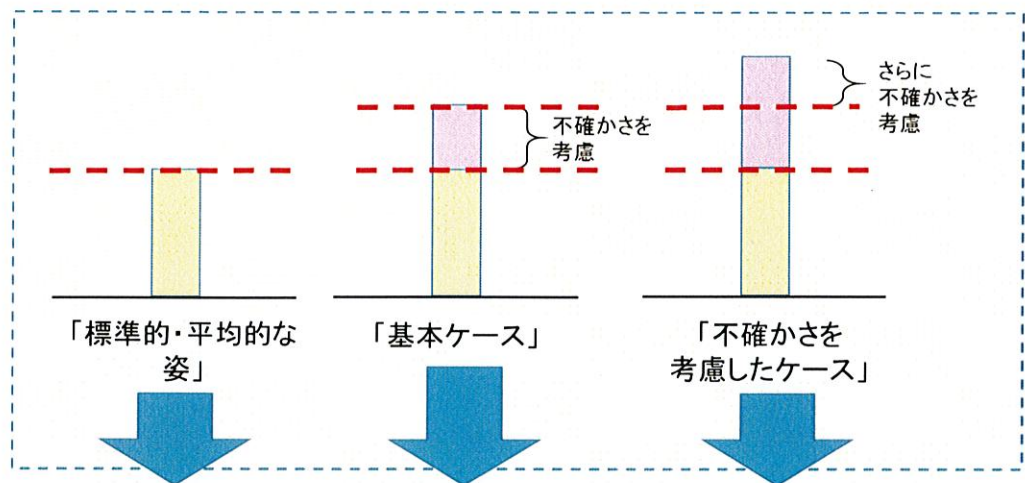
もっとも、断層傾斜角は鉛直から多少傾斜する可能性があり、また、すべり角（断層のずれの方向）についても断層面の傾きや広域応力場の向きによって水平から多少傾斜する可能性が考えられ、特に震源断層が発電所敷地に近い場合には、これらの不確かさが発電

所敷地での地震動に影響する可能性がある。

このことから、債務者は、検討用地震に係る断層のうち本件発電所敷地に近く長大なF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の断層傾斜角とすべり角について、合理的な不確かさを想定することとした。具体的には、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について、断層傾斜角を水平面から75° 下向きにしたケース（上記2（2）イ（イ）cと同様）、すべり角を30° 上向きにしたケースを設定した（下記（ウ）の図表5 1の「不確かさを考慮したケース」。乙85、75、80頁、乙30の1、添付書類六、6-5-32~6-5-33頁）。

（ウ）震源断層パラメータのまとめ

債務者は、上記（ア）及び（イ）のとおり、震源断層パラメータを設定した（乙30の1、添付書類六、6-5-27~6-5-28頁、6-5-30~6-5-37頁）。そのうち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震に係る震源断層パラメータの設定の主なものをまとめると、図表5 1のとおりとなる（乙85、68頁を参照）



断層パラメータ	標準的・平均的な姿	基本ケース	不確かさを考慮したケース
断層の長さ	35.3km(2運動を考慮)	63.4km(3運動を考慮)	
地震発生層の厚さ	14km(上端深さ: 4km、下端深さ: 18km)	15km(上端深さ: 3km、下端深さ: 18km)	
短周期の地震動レベル	レシピ平均	レシピ平均	新潟中越沖地震の知見を踏まえ、レシピ平均×1.5倍
断層傾斜角	調査結果に基づき、90°	調査結果に基づき、90°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また周辺の断層も参照して、75°
すべり角	調査結果に基づき、0°	調査結果に基づき、0°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また周辺の断層も参照して、30°
破壊伝播速度	レシピに基づき、 0.72β (β : 地震発生層のS波速度)	レシピに基づき、 0.72β	既往の知見を参考にして、 0.87β
アスペリティの配置	敷地近傍に配置 (なお、レシピでは、断層面の中央付近に配置するのが基本とされている)	敷地近傍に配置	・敷地近傍に正方形に一塊にして配置 ・敷地近傍に長方形に一塊にして配置
破壊開始点	断層面及びアスペリティの下端に複数設定(6箇所)	断層面及びアスペリティの下端に複数設定(5~9箇所)	

【図表 5 1 断層モデルを用いた手法による地震動評価における

震源断層パラメータの設定 (F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震)】

ウ 地震波の伝播特性、地盤の増幅特性（サイト特性）の評価

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

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

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

（上記第1の3（2）イ及びウ）

エ 地震動評価結果

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

震源断層パラメータについて様々な不確かさを考慮することとした結果、本件発電所敷地に近いF〇-A～F〇-B～熊川断層による地震については、図表52のとおり56ものケースを設定して保守的に評価した。また、上林川断層による地震についても、18のケースを設定して保守的に評価した。

（乙85、71、102頁、乙30の1、添付書類六、6-5-30頁）

FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価ケース

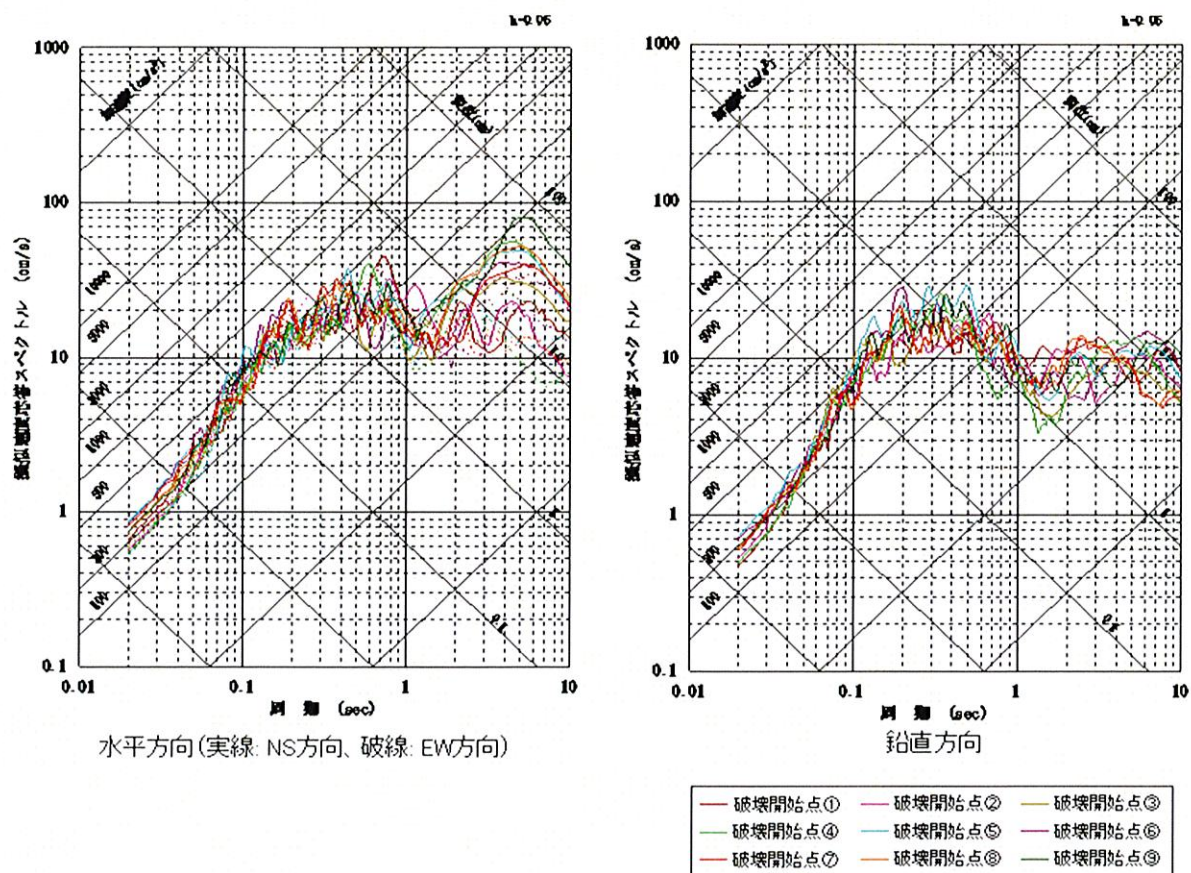
	①	②	③	④	⑤	⑥
考慮した不確かさ	短周期の 地震動レベル	断層 傾斜角	すべり角	破壊伝播速度	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レスビ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	断層ごとに 敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル を考慮したケース	レスビ平均×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	断層ごとに 敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角 を考慮したケース	レスビ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	断層ごとに 敷地近傍に配置	9箇所
すべり角 を考慮したケース	レスビ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	断層ごとに 敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 を考慮したケース	レスビ平均	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 を考慮したケース	レスビ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に 一塊(正方形)	6箇所
	レスビ平均	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

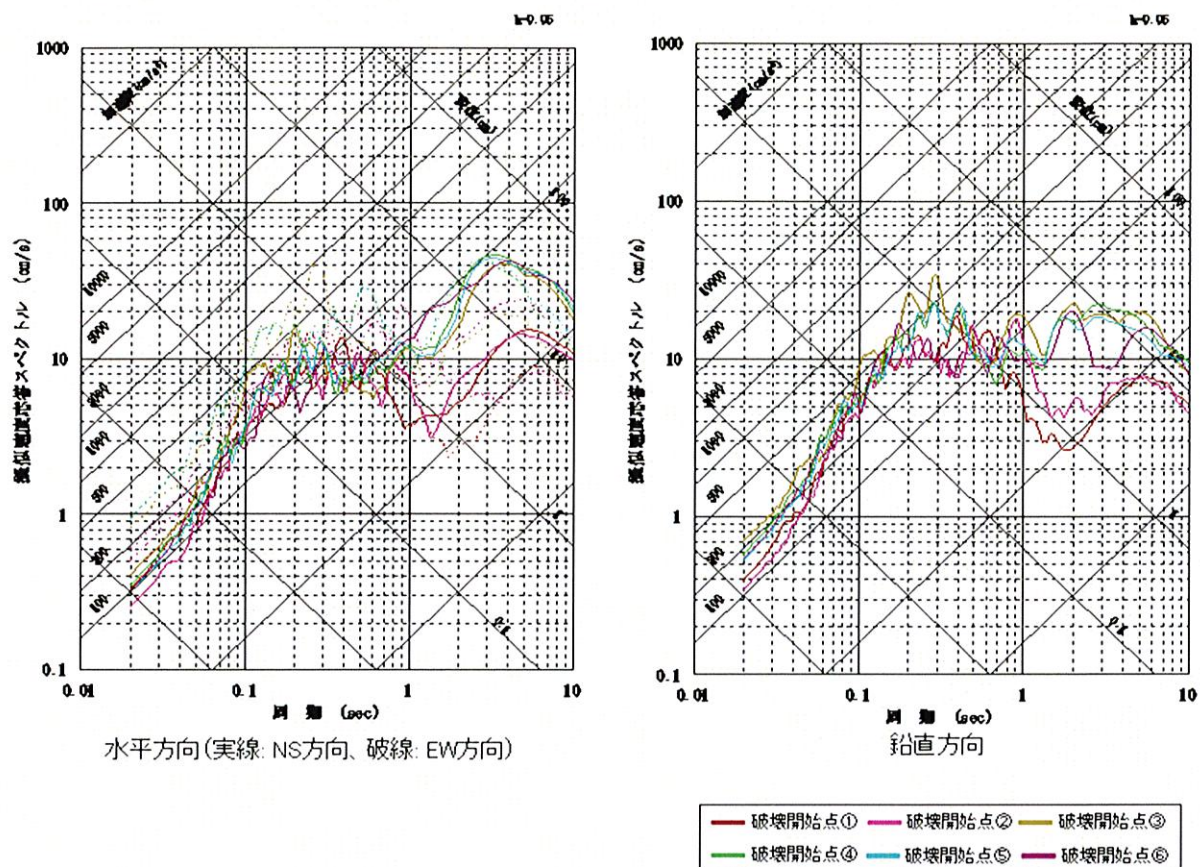
【図表 5 2 FO-A～FO-B～熊川断層による地震の地震動評価ケース】

(イ) 以上の設定をもとにした地震動評価の結果（応答スペクトル）は、図表 5 3（FO-A～FO-B～熊川断層による地震）及び図表 5 4（上林川断層による地震）のとおりである（いずれも基本ケース。また、基本ケースを含む全ケースの結果について、乙85、87、107頁、乙30の1、添付書類六、6-5-75～6-5-104頁等）。

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



【図表 5.3 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】



【図表 5-4 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】

(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（上記 2 の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び本項の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」）について、検討用地震として選定した各断層による地震に係る評価が、設置許可基準規則解釈別記 2 に適合していることを確認したとしている（乙 39、16～18 頁、乙 84、11～12 頁）。

4 不確かさの考慮に関する補足説明

上記2及び3で述べたとおり、各検討用地震に係る「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、債務者は、十分に不確かさを考慮して保守的に評価を行っている。

以下では、両評価での不確かさの考慮について、改めて補足説明する。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号⑤、乙33、136頁）。

これを受けて、地震ガイドは、不確かさの考慮について、「距離減衰式の特徴や適用性、地盤特性が考慮されている（こと）」、「アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていること」、「震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確実さ要因を偶然的な不確実さと認識論的な不確実さに分類して、分析が適切になされていること」等を確認するとしている（I 3.3.3 (1)、(2)、乙33、6～7頁）。

(2) 本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮

ア 債務者は、基準地震動の策定にあたって、地震の「標準的・平均的な姿」

の分析結果から構築された、信頼性のある関係式や手法を用いている。これらを本件発電所敷地で適用するにあたっては、詳細な調査結果により、敷地周辺の地域性を把握し、不確かさを考慮した上で、十分に保守的な条件を設定することとしている。

イ 債務者は、上記アの考え方にに基づき、応答スペクトルに基づく地震動評価において耐専式及び各種の距離減衰式を用いる際、及び、断層モデルを用いた手法による地震動評価においてレシピを参照する際には、上記（１）の設置許可基準規則等における要求事項も踏まえ、地震動評価に大きな影響を与え得るパラメータについては不確かさを考慮した上で設定し、それぞれ評価している。

ウ また、債務者は、基準地震動の策定にあたって、「基本ケース」を設定した上で、「不確かさを考慮したケース」も設定して地震動評価を行っているが、上記イで述べた不確かさは、「不確かさを考慮したケース」のみならず、「基本ケース」においても考慮されている。

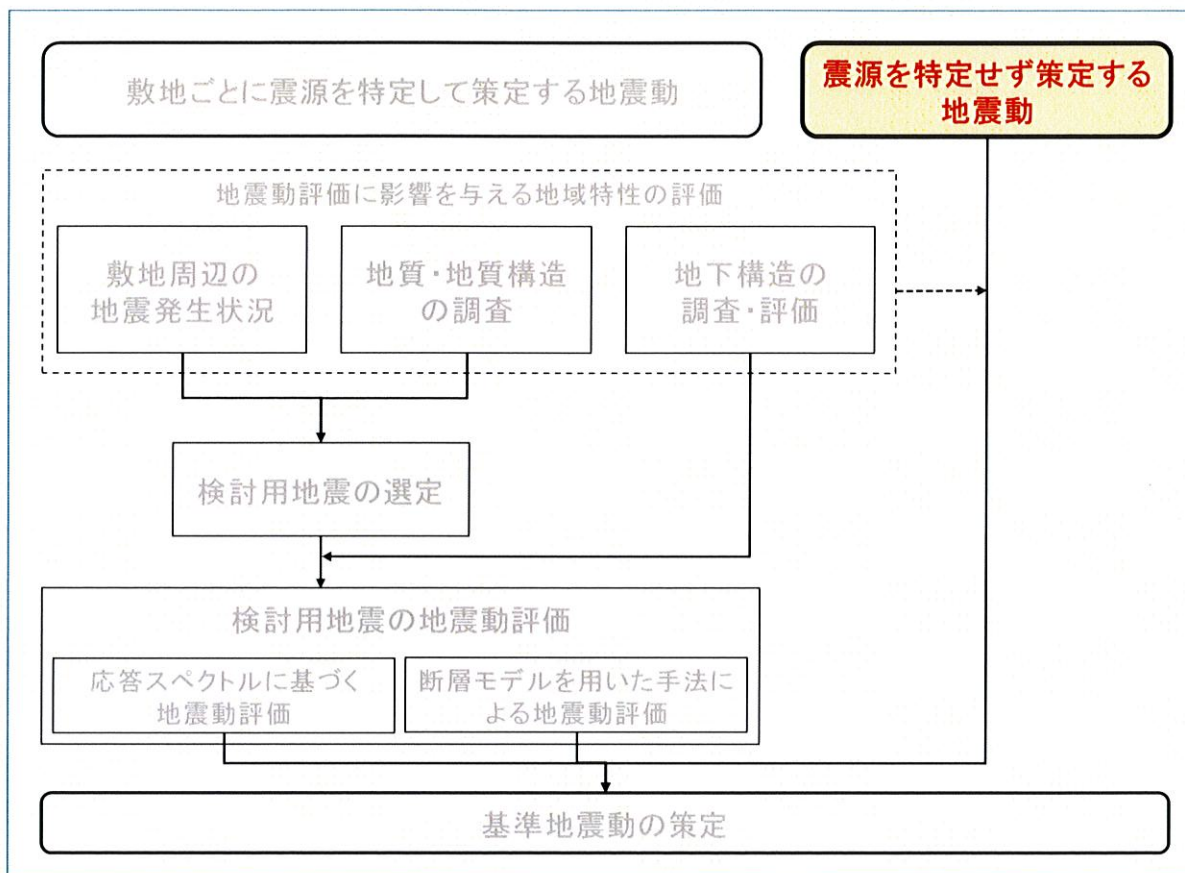
つまり、上記第２の２（２）ウ（ア）で述べたとおり、地震動評価において設定すべき各種パラメータについて、そもそも詳細な調査に基づき、不確かさを考慮して保守的な条件で「基本ケース」を設定しているところ、それらのパラメータについて、更に不確かさを考慮して設定したものを「不確かさを考慮したケース」と呼んでいるのであって、これとの区別のため、前者を便宜上「基本ケース」と呼んでいるに過ぎない。

（３）原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」（上記２の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び上記３の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」）について、不確かさを考慮して地震動評価を行っていることを確認したとしている（乙 39、16

～18 頁、乙 84、11～12 頁)。

第3 「震源を特定せず策定する地震動」の評価



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

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

1 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「震源を特定せず策定する地震動」について、「震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらをもとに、各種の不確かさを考

慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること」、また、「策定された基準地震動の妥当性については、申請時における最新の科学的・技術的知見を踏まえて個別に確認すること」等を求めている（同規則解釈別記2第4条5項3号、乙33、136～137頁）。

これを受けて、地震ガイドは、観測記録の収集に関して、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」と「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」を対象とすることとして、収集対象となる16の内陸地殻内地震（図表56）を例示している（I4.2.1、乙36、7～8頁）⁷²。

2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価

本件発電所においては、敷地近くにF〇ーA～F〇ーB～熊川断層という長い活断層が存在するものとしている（震央距離は15km、断層の長さは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、その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（上記第1の2（2）オの図表24））。したがって、その地震動の大きさから考えて、本件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。

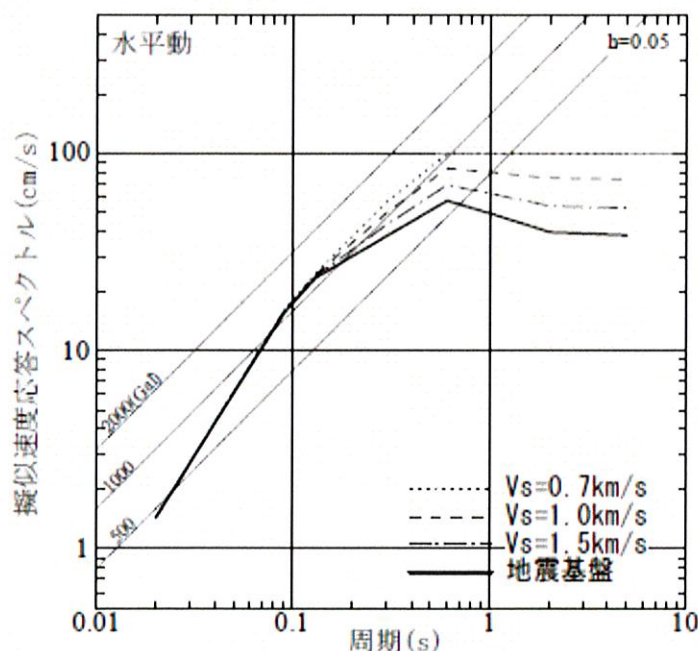
そうであるところ、債務者は、上記の要求事項を踏まえ、「震源を特定せず策定する地震動」について、以下のとおり評価を行った。

（1）加藤ほか（2004）による応答スペクトル

まず、加藤ほか（2004）（上記第2章第2の2の脚注13を参照。乙79）で

⁷² 令和3年4月に設置許可基準規則及び地震ガイドが改正された点については脚注12を参照（19頁）。

示されている応答スペクトルについて検討した。加藤ほか（2004）では、日本や米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象⁷³に、文献調査、空中写真判読によるリニアメント調査、地表踏査等の詳細な地質学的調査によってもなお、震源位置と地震規模を前もって特定できなかったと考えられる地震を選定し、選定された地震の震源近傍の観測記録等を概ね上回るような地震動の応答スペクトルが示されている（図表5.5。乙79、65頁）。



【図表5.5 加藤ほか（2004）による水平方向の地震動の応答スペクトル】

本件発電所敷地の解放基盤表面はS波速度約2.2km/sであるところ（上記第1の3（2）ウ（ア））、債務者は、図表5.5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。

⁷³ 加藤ほか（2004）は、地震カタログが整備された1885年以降に日本で観測された内陸地殻内地震、1940年以降に米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象として検討を行ったとしている。

(2) 地震ガイドに例示されている 16 地震

次に、地震ガイドに例示されている地震について検討した。

地震ガイドに例示された16地震（図表5-6。乙36、8頁の表-1、乙19、添付書類六、6-4-55頁）は、「兵庫県南部地震以降、地震・地震動観測やネットワーク技術が進歩し、国内の観測点が大幅に増加しており、震源近傍の地震動や観測点周辺の地盤等の状況・性状も分かりつつある状況を踏まえ、震源近傍で強震動の記録がとれていて、規模が大きい検討対象となる、又はなることが想定される内陸地殻内の地震をリストアップし」たものとされており（乙28、271～272頁）、原子力規制委員会及び多数の専門家による検討の結果、最新の科学的・技術的知見に照らして、「震源を特定せず策定する地震動」において考慮すべき地震の例として選定されたものである。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

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

【図表5-6 地震ガイドで例示されている16地震】

債務者は、地震ガイドに示された「事前に活断層の存在が指摘されていない地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」と「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」の区別に従い、Mw6.5⁷⁴以上の2地震（下記ア）とMw6.5未満の14地震（下記イ）とに分けて検討を行った。

⁷⁴ 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（M₀）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。

ア Mw6.5以上の2地震についての検討

地震ガイドは、Mw6.5以上の地震として、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（以下、「岩手・宮城内陸地震」という）と鳥取県西部地震を例示している。

債務者は、地震ガイドにおいて、「活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差がある」ことを考慮して個別に検討する必要があるとされている（I 4. 2. 1解説(2)、乙36、8頁）ことを踏まえ、上記2つの地震の震源域周辺と本件発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどした。

（ア）岩手・宮城内陸地震

岩手・宮城内陸地震の震源域近傍は、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域であり、地震ガイドにいう「上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震」（I 4. 2. 1解説(2)③、乙33、8頁）にあたる。

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

このように、岩手・宮城内陸地震の震源域近傍と本件発電所敷地周辺では地質学的背景が異なることから、債務者は、同地震の観測記録を収集対象外（本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価においては採用しない）とした。

（イ）鳥取県西部地震

鳥取県西部地震は、事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域で発生し、地表で地震断層が確認されたものの、確認された長さが、地

震規模に相応の長さよりも短かった地震であり、地震ガイドにいう「活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震」（I 4. 2. 1解説(2)②、乙36、8頁）に該当すると考えられる。

鳥取県西部地震の震源周辺は、活断層の分布密度が低く活動度も低い、活断層が未成熟な地域であって、過去に地震を発生させた断層の痕跡が地表面に残りにくいという、本件発電所敷地周辺では見られない特徴があった。このため、本件発電所敷地周辺において、鳥取県西部地震と同規模の地震を発生させる活断層を事前に見出せないことは考えにくいと評価できるところであった。（乙87）

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

賀祥ダムが設置されている地盤は、S波速度が1.2～1.3km/sと速く十分な硬さがあるが、本件発電所敷地の解放基盤表面は、S波速度が約2.2km/sと賀祥ダムよりも更に速く硬い地盤である。この点、上記第1の3（2）ウの冒頭箇所述べたとおり、地震波は、一般的に硬い地盤から軟らかい地盤に伝わる時に増幅して大きくなることから、仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも、地震波の増幅の程度は賀祥ダムの地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、この賀祥ダムでの観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、債務者は、保守的な観点から、地震動がより大きくなる条件とするために、賀祥ダムにおける観測記録について、地盤の特性による補正等を行わず、観測記録をそのまま用いて応答スペクトルを設定した。

（以上アについて、乙85、115頁、乙30の1、添付書類六、6-5-12～13

頁)

イ Mw6.5未満の14地震についての検討

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

北海道留萌支庁南部地震では、震源近傍の比較的軟弱な地盤の地表面上に地震計が設置されたHKD020（港町観測点）における観測記録があるが、佐藤ほか（2013）⁷⁵（乙106）では、同観測点におけるボーリング調査やP-S検層の結果をもとに、地表から解放基盤表面と評価できる硬さを有する岩盤面（基盤面）の深さ（地下41m）までの地下構造を検討・評価した上で、同観測点の基盤面（S波速度938m/s）における地震動の推定がなされていた（最大加速度は、水平方向585ガル、鉛直方向296ガル）。

評価にあたって、債務者は、佐藤ほか（2013）において、震源近傍の観測点における地下構造や地震動の推定について十分検討されていたことに鑑み、上記で推定された地震動を採用することとした。ここで、本件発電所敷地の解放基盤表面（S波速度約2.2km/s）は、HKD020（港町観測点）の基盤面（S波速度938m/s）に比べて地震波の伝播速度が速く、硬い地盤で

⁷⁵ 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

あるため、仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも、地震波の増幅の程度はHKD020（港町観測点）の地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、このHKD020（港町観測点）での観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、債務者は、より保守的に評価するため、HKD020（港町観測点）の基盤面において推定された地震動について、地盤の特性による補正等をあえて行わずに採用することとした。

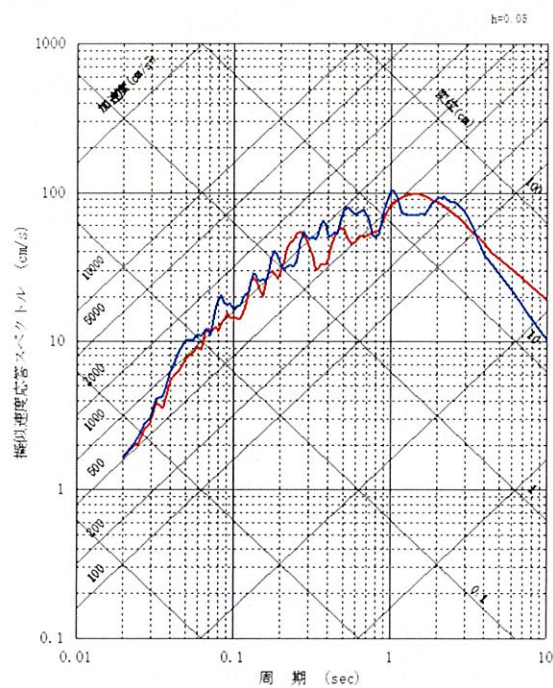
その上で、債務者は、HKD020（港町観測点）の地下構造（地震波の減衰）についての不確かさを考慮して、基盤面から地表までの間の減衰をより大きく、すなわち基盤面における地震動をより大きく評価し（最大加速度は、水平方向609ガル、鉛直方向306ガルとした）、さらに、この地震動の評価結果を保守的により大きく（最大加速度を、水平方向を609ガルから620ガルに、鉛直方向306ガルから320ガルに）して、本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」として評価し、応答スペクトルを設定した。

（以上イについて、乙85、118～120頁、乙30の1、添付書類六、6-5-13頁）

ウ 地震動評価結果

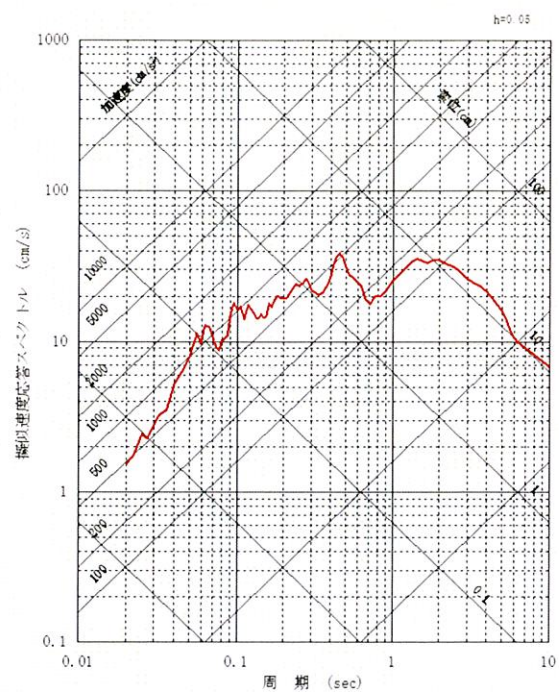
以上より、鳥取県西部地震及び北海道留萌支庁南部地震の観測記録から設定した応答スペクトルは、それぞれ図表57及び図表58のとおりである（乙85、115、120頁、乙30の1、添付書類六、6-5-106～6-5-107頁）。

上記の評価をもとに策定した基準地震動については、下記第4の2で述べる。



(水 平)

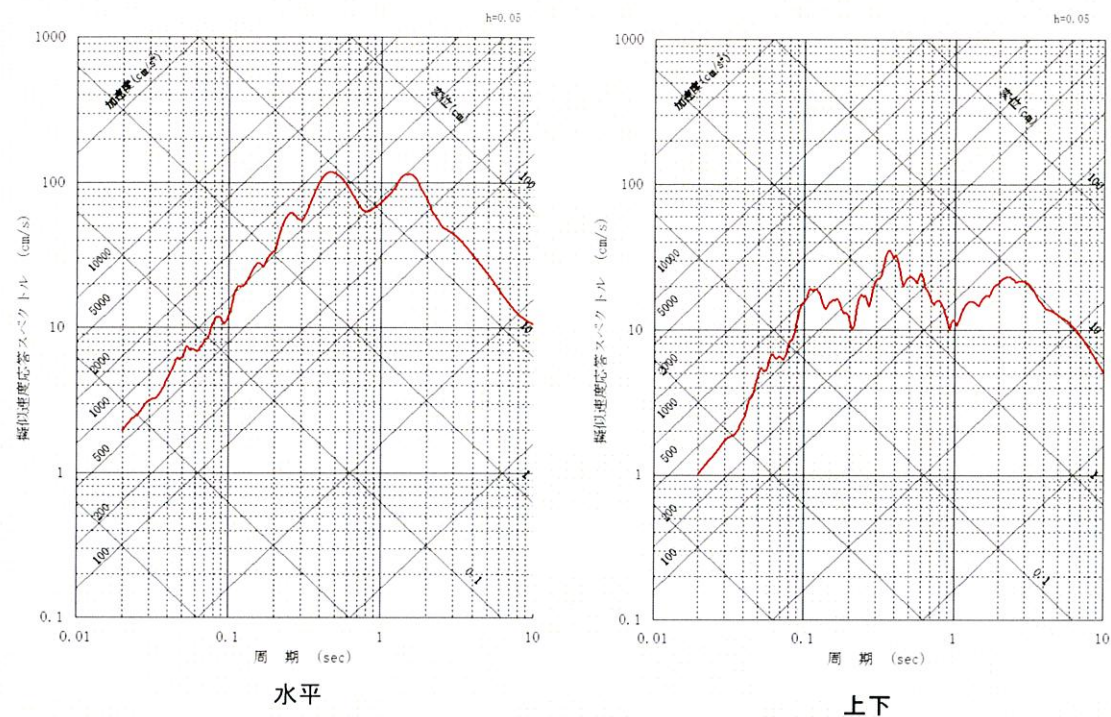
— 賀祥ダム (NS 方向)
— 賀祥ダム (EW 方向)



(上 下)

— 賀祥ダム (上下方向)

【図表 5 7 鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル】

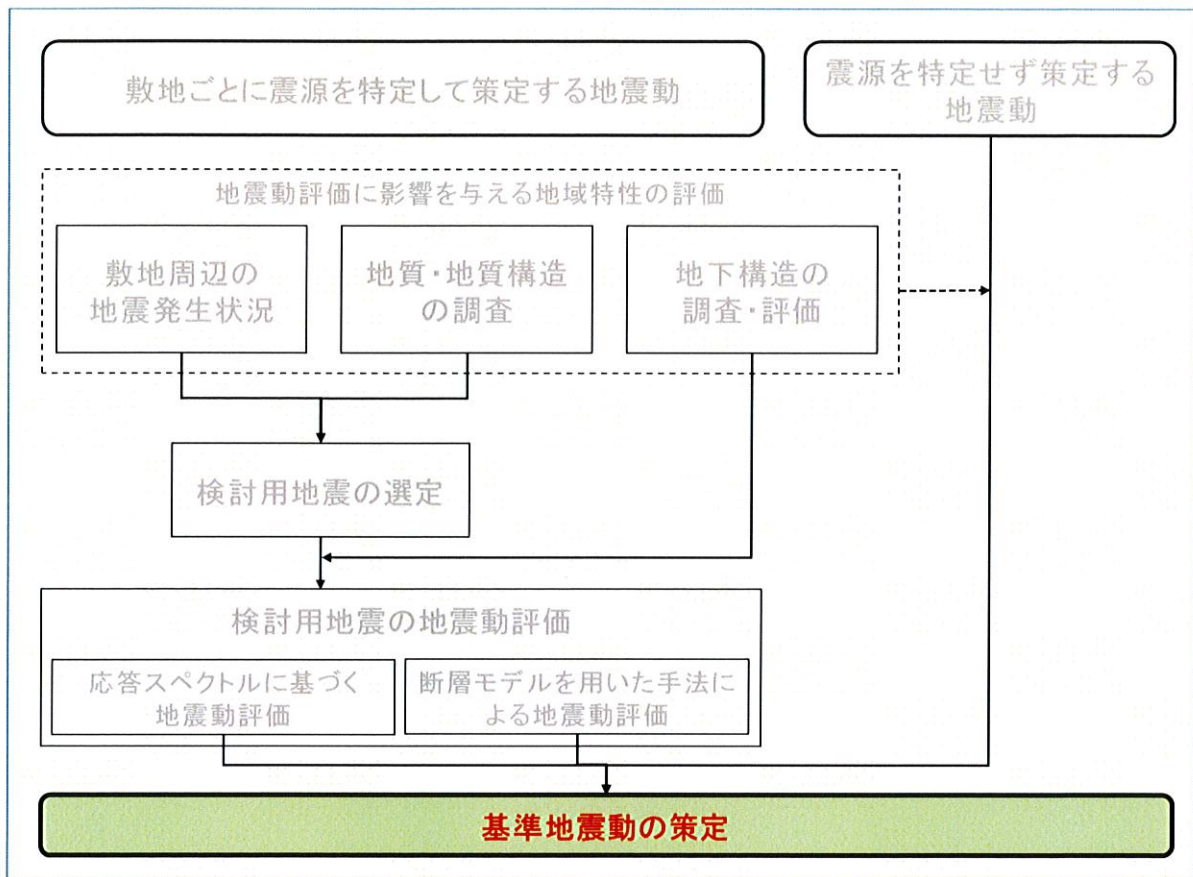


【図表 5.8 北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮した応答スペクトル】

3 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者による本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価について、過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を精査し、各種の不確かさ及び敷地の地盤物性を考慮して策定していることから、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている（乙39、18～20頁、乙84、11～12頁）。

第4 基準地震動の策定



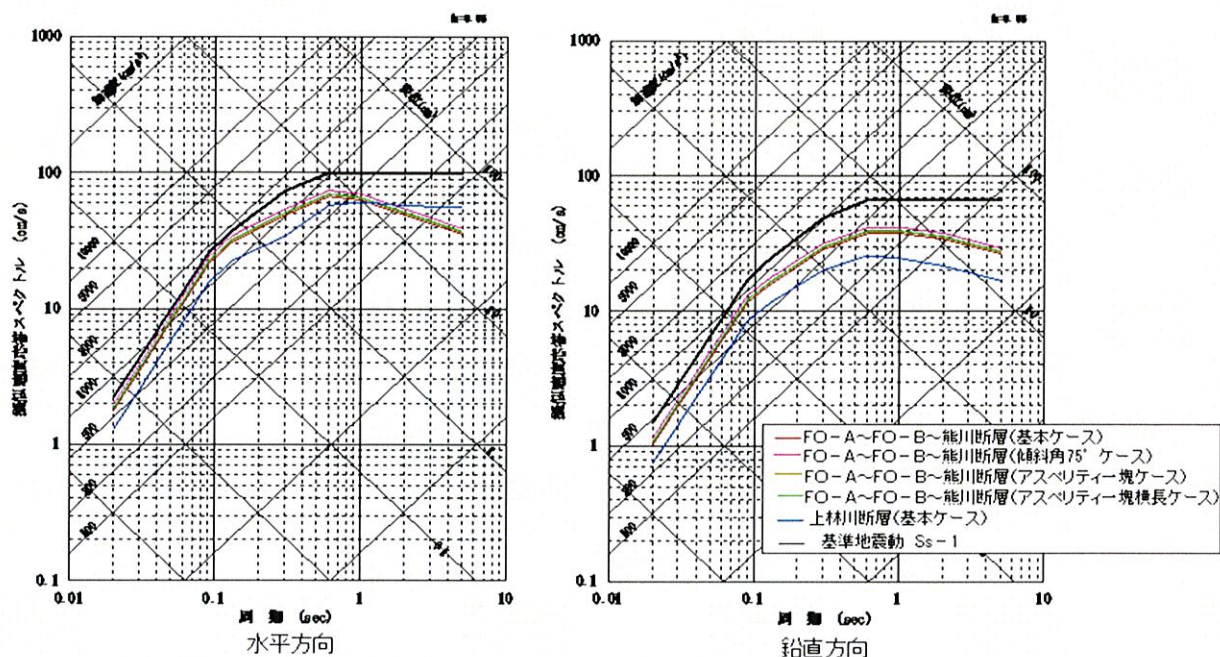
ここまで説明してきた、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」（上記第2）及び「震源を特定せず策定する地震動」（上記第3）の評価結果を踏まえて、本件発電所の基準地震動を策定した。

1 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

(1) 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

ア 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価結果より、まず、応答スペクトルに基づく地震動評価の結果（上記第2の2（2）イ（ウ））を踏まえて、本件発電所の基準地震動 S_{s-1} の応答スペクトルを、図表59の黒色線のとおり策定した（乙85、121頁、乙30の1、添付書類六、

6-5-109～6-5-110 頁)。最大加速度は、水平方向で 700 ガル、鉛直方向で 467 ガルである。(加速度時刻歴波形については、乙 85 号証の 126 頁、乙 30 の 1 号証の添付書類六の 6-5-123 頁を参照)



【図表 5 9 基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトル (黒色線)】

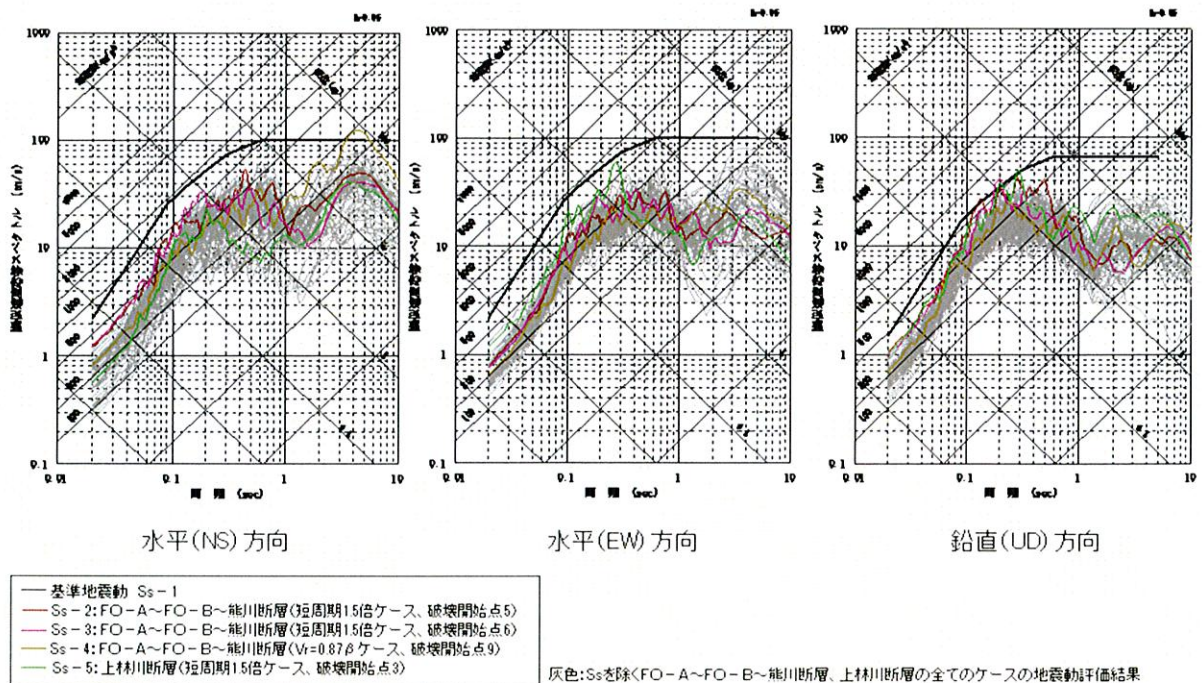
イ 左側の図が水平方向の揺れを、右側の図が鉛直方向の揺れを表しており、応答スペクトルの線が上方向に行くに従って地震動が大きくなる⁷⁶。色付きの各線が、FO-A～FO-B～熊川断層の3連動による地震及び上林川断層による地震について、上記のとおり十分に保守的な条件設定によって地震動評価を行った結果である。そして、黒色線で示される本件発電所の基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルは、これらの評価結果から余裕を持たせて設定しており、ここでも、さらに地震動が大きくなるよう保守的な評

⁷⁶ より正確に言うと、応答スペクトルでは、各々固有周期を持つ建物等の構造物が、当該基準地震動によってどの程度揺られるのかを把握するため、周期ごとの揺れ(応答)の大きさが示されており、応答スペクトルの線が上方向に行くに従って周期ごとの揺れ(応答)が大きくなる。

価を行っている。

(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）に係る断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果（上記第2の3（2）エ）のうち、基準地震動 S_s-1 の応答スペクトルを上回る4つのケースを、それぞれ基準地震動 $S_s-2 \sim S_s-5$ として策定した（図表60。乙85、122頁、乙30の1、添付書類六、6-5-113～6-5-115 頁）。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85号証の127頁、乙30の1号証の添付書類六の6-5-124～6-5-127頁を参照）

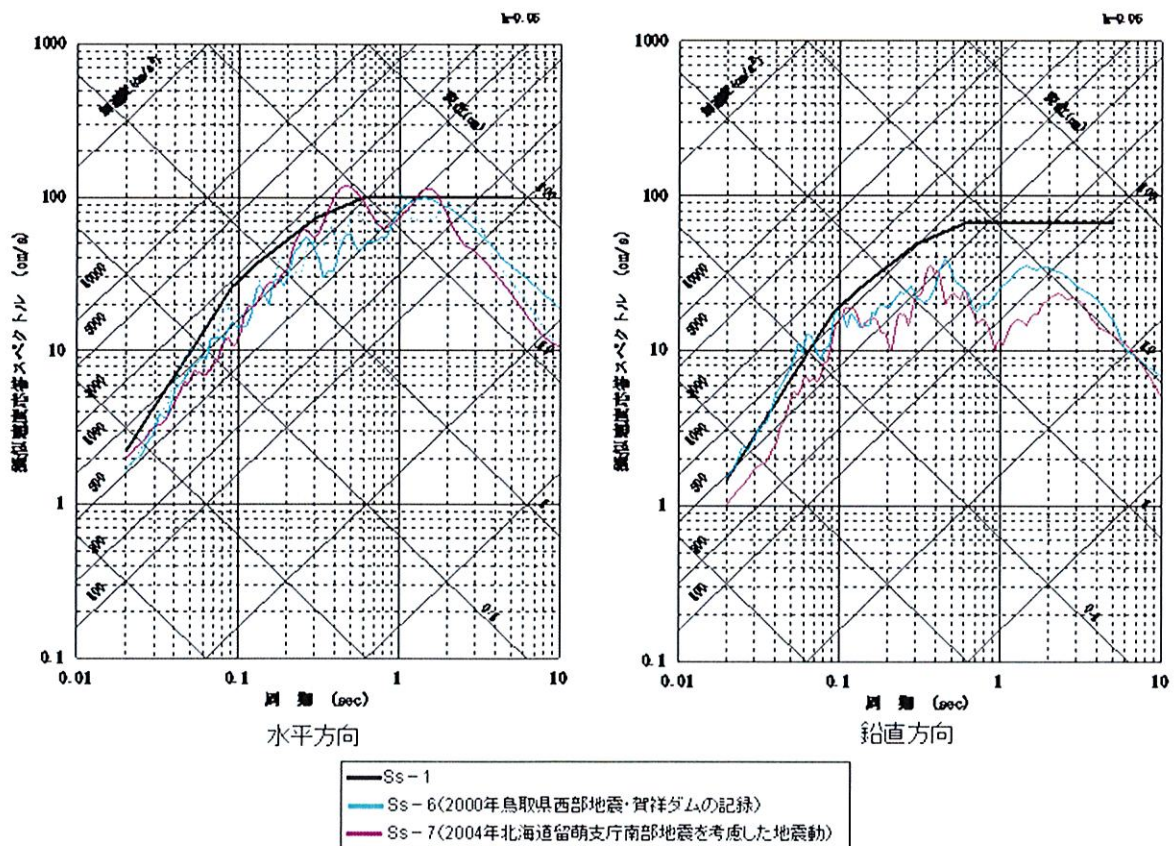


【図表60 基準地震動 $S_s-2 \sim S_s-5$ の応答スペクトル】

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

一方、同(2)で設定した、鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル及び北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮した応答スペクトルは、いずれも基準地震動Ss-1の応答スペクトルを一部周期で上回るため、これらを、それぞれ基準地震動Ss-6、Ss-7として策定した(図表61。乙85、123頁、乙30の1、添付書類六、6-5-119～6-5-121頁)。(基準地震動Ss-6及びSs-7の加速度時刻歴波形については、乙85号証の128頁、乙30の1号証の添付書類六の6-5-128～6-5-129頁を参照)



【図表61 基準地震動Ss-6、Ss-7の応答スペクトル】

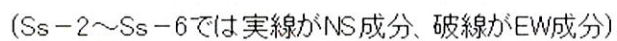
3 まとめ

以上より策定した、本件発電所の基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ の応答スペクトルは図表 6 2 のとおりである（乙 85、125 頁）。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（乙 85、128 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-42 頁）。

なお、令和3年改正設置許可基準規則解釈及び令和3年改正地震ガイド等により、原子力事業者は、改正後の令和3年改正設置許可基準規則解釈を適用しても基準地震動を変更する必要がないと考える原子力施設⁷⁷について、令和3年改正設置許可基準規則解釈の施行後3か月以内に、基準地震動の変更が不要であることを説明する文書を原子力規制委員会に提出することができるとされ、この場合、原子力規制委員会が基準地震動の変更を不要と認めた対象原子力施設については、基準地震動に関し、標準応答スペクトルによる評価を行うという方針に基づいて行った評価結果を記載した新規制基準に係る原子炉設置変更許可の申請は不要とされた（乙81の1、別紙4、41～42頁及び同81の2）。

そして、令和3年4月26日、原子力規制委員会から債務者に対し、令和3年改正設置許可基準規則等の適用による対応を求める指示（乙107）がなされ、これを受け、債務者は、地震基盤相当面における標準応答スペクトルと本件発電所の基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを比較したところ、前者が後者を下回るという結果が出たため、基準地震動の変更は不要と判断し、同年5月12日、原子力規制委員会に対し、その旨説明する文書（乙108）を提出した。同年6月16日、原子力規制委員会もかかる判断が妥当であると認め、基準地震動の変更が不要であることを確認している（乙39、20頁、乙84、12頁、乙83の1及び2）。

⁷⁷ 令和3年改正設置許可基準規則解釈の施行日である令和3年4月21日において、新規制基準（特定重大事故等対処施設又は第三直流電源の設置に係るものをのぞく。）に係る原子炉設置変更許可を受けている耐震Sクラスを有する原子力施設が対象であり、本件発電所はこれに該当する（乙84）。



153

4 基準地震動の年超過確率

これまで述べてきたとおり、債務者は、詳細な調査等に基づき、十分に不確かさを考慮した保守的な条件設定の下で地震動評価を行ったことから、策定された基準地震動は、本件発電所に到来し得る概ね最大の地震動を考慮できており、本件発電所に基準地震動を超える地震動が到来することはまず考えられない。しかるところ、債務者は、基準地震動を超える地震動が発生する可能性について、確率論的な観点から定量的に確認するため、本件発電所の基準地震動の年超過確率⁷⁸を参照した。

以下では、本件発電所の基準地震動の年超過確率について説明する。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、「それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握すること」としている（同規則解釈別記2第4条5項4号、乙33、137頁）。

また、地震ガイドは、超過確率を参照する際には、基準地震動の応答スペクトルと地震ハザード⁷⁹解析（これは「地震ハザード評価」と同義である）による一様ハザードスペクトル⁸⁰を比較するとともに、当該結果の妥当性を確認すること等として、一様ハザードスペクトルの作成について、一般社団法人日本原子力学会の「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施

⁷⁸ 年超過確率とは、ある地点において将来の一定期間中に見舞われるであろう任意の地震動強さを超過する確率について、その期間を1年とした場合の確率をいう。

⁷⁹ 地震ハザードとは、確率論的地震ハザードともいい、ある地点において将来の一定期間中に見舞われるであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する確率との関係をいう。

⁸⁰ 一様ハザードスペクトルとは、地震動の年超過確率をトリパタイト図（1枚の図で、構造物の揺れ（応答）の大きさとして、加速度、速度、変位それぞれの各周期ごとの最大値が分かるようにしたグラフ）上に示した応答スペクトルをいう。

基準：2007」（乙109。以下、「実施基準」という）を例示している（I 6.1及び6.2、乙36、9～11頁）。

（２）本件発電所の基準地震動の年超過確率

ア 債務者は、上記（１）の要求事項を踏まえ、適宜実施基準を用いて、保守的な条件設定に基づいて策定された基準地震動の大きさについて、確率論的な考え方（解析条件の不確かさや地震動のばらつきも考慮して、ある大きさの地震動がどのくらいの頻度で起こりうるかを評価するとの考え方）から一様ハザードスペクトルを作成し、基準地震動の応答スペクトルと比較することにより、基準地震動の策定とは異なる視点から評価するとの目的から、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した。

イ 具体的には、概要、以下の手順により、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した（乙94、5～28頁、乙30の1、添付書類六、6-5-15～6-5-17頁、6-5-43～6-5-44頁、6-5-130～6-5-143頁）。

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

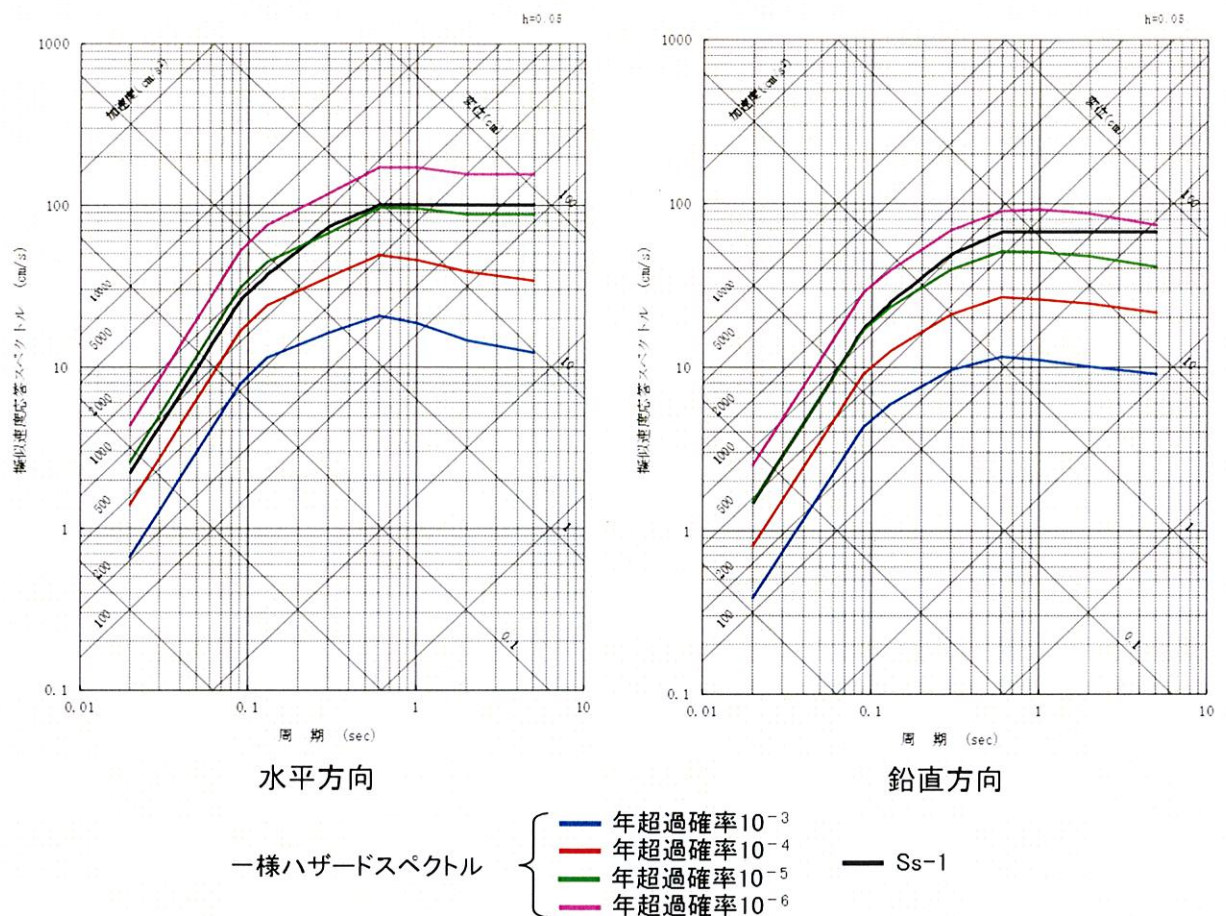
④このロジックツリーを用いて地震ハザード曲線群を算出し、その結果をもとに一様ハザードスペクトルを作成する。

⑤この一様ハザードスペクトルを基準地震動の応答スペクトルと比較することによって、基準地震動の年超過確率を確認する。

ウ そして、本件発電所の一様ハザードスペクトルと、基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを比較したところ、 $S_s - 1$ の年超過確率は、短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、長周期側で $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度となった（図表 6 3。乙 94、25 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-140～6-5-141 頁）。また、基準地震動 $S_s - 6$ 及び $S_s - 7$ の応答スペクトルと比較したところ、それらの年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度となった（乙 94、27 頁、乙 30 の 1、添付書類六、6-5-142～6-5-143 頁）。

以上により、本件発電所に基準地震動を超過する地震動が到来する可能性は極めて低く、妥当なレベルにあることを確認した⁸¹。このことから、債務者が策定した本件発電所の基準地震動は十分な大きさであるといえる。

⁸¹ この点に関して、「原子力施設の耐震設計指針における地震動評価に関する現状－IAEAおよびUS、NRCの動向－」（乙 110）によると、国際原子力機関（IAEA）では、設計用地震動の策定方法について、米国の基準や技術を参考にしつつ（乙 110、14 頁）、原子力発電所の設計用地震動として 2 段階の耐震レベルを想定しており、より厳しい「SL-2」は、国や地域にもよるものの、概ね年超過確率 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ に対応するものとなっており（同 2～3 頁）、これに照らしても、本件発電所の基準地震動は十分に保守的なものといえる。



【図表 6-3 一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-1 との比較⁸²⁾】

(3) 原子力規制委員会による審査

以上に述べた地震ハザード評価に基づく一様ハザードスペクトルの作成、基準地震動の年超過確率の参照結果に関しては、原子力規制委員会の新規制基準の適合性審査において審議され、原子力規制委員会によりその内容が確認されている（乙39、20頁、乙84、12頁）。

⁸²⁾ なお、上記第3章第1の2（2）オの脚注40で述べたとおり、高浜1、2号機の設置変更許可申請において、高浜発電所敷地周辺の活断層の分布について諸元の見直しが行われた（乙94、2～4頁）。これを受け、本件発電所の基準地震動の年超過確率も再計算が行われ（同5～28頁）、一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-1 との比較についても乙94号証25頁の表のとおり改められたが、確率論的地震ハザード評価結果（本件発電所の基準地震動の年超過確率）への影響は小さいことを確認している（同29頁）。

第4章 本件発電所の耐震安全性

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

第1 設置許可基準規則等

- 1 設置許可基準規則解釈別記2第4条2項は、設計基準対象施設⁸³について、耐震重要度に応じ、Sクラス、Bクラス又はCクラスの耐震重要度分類に分類することを求めている（乙33、130～131頁）。
- 2 そのうち、耐震重要度分類Sクラスの施設である耐震重要施設（設置許可基準規則解釈別記1第3条1項、乙33、128頁）について、同規則4条3項は、「基準地震動による地震力」に対して安全機能が損なわれるおそれがないものであることを求めている（乙33、12頁）。

この「基準地震動による地震力」とは、「耐震重要施設・・・の供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力」のことをいう（同規則4条3項、乙33、12頁）。

⁸³ 設置許可基準規則において、設計基準対象施設とは、「発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものをいう」とされている（同規則2条2項7号、乙33、4頁）。

ここで、運転時の異常な過渡変化とは、「通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心（・・・）又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう」（同規則2条2項3号、乙33、3頁）とされており、設計基準事故とは、「発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう」（同項4号、同3～4頁）とされている。

また、同規則解釈は、「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ」ことを満たすため、建物・構築物については、「常時作用している荷重（引用者注：「荷重」については下記第4の1で述べる）及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること」を求め、また、機器・配管系については、「通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと」等を求めている（同規則解釈別記2第4条6項1号、乙33、137～138頁）。

- 3 なお、設置許可基準規則及び同規則解釈は、上記のような基準地震動に対する耐震安全性評価に加えて、弾性設計用地震動及び静的地震力に対する耐震安全性評価を行うことも求めている（同規則4条1項及び2項、同規則解釈別記2第4条1項ないし3項、乙33、12頁、130～132頁）。

また、弾性設計用地震動及び静的地震力は、耐震重要施設以外の耐震安全性評価にも用いられている。具体的には、耐震重要度分類Bクラスの設計基準対象施設であって共振⁸⁴のおそれのあるものについて、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたもので評価することを求めており（同規則解釈別記2第4条3項2号、乙33、132頁）、また、耐震重要度分類Bクラス及びCクラスの設計基準対象施設についても、静的地震力に対する評価を求めている（同条3項2号及び3号、乙33、

⁸⁴ 共振とは、振動系（一体となって振動する部分の総称）の固有周期と外部からの振動の周期が一致したとき、その振動系の振幅が大きくなる現象をいう。

132頁)。

(以上第 1 について、乙111、「原子力発電所の耐震安全性」11～12頁)

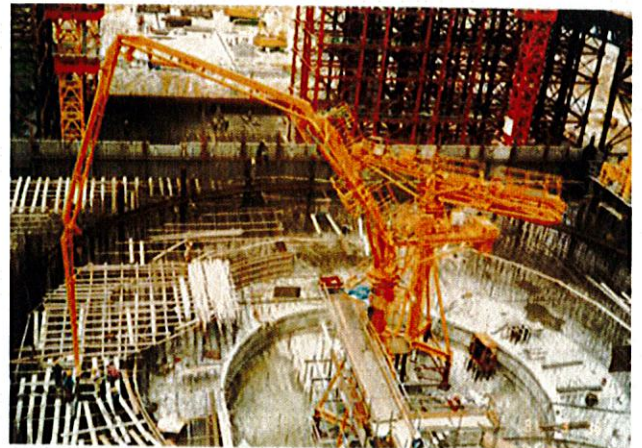
第 2 耐震設計における基本的な考え方

債務者は、本件発電所の設計における基本方針として、建物・構築物は、原則として鉄筋コンクリート造等の剛構造（地震力等の外部から作用する力を受けても変形しにくい構造）とし、重要な建物・構築物は地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に直接支持させることとして、原子炉建屋等の重要な建物・構築物については、堅固な岩盤に直接コンクリート基礎を構築した（例として高浜 3 号機。図表 6 4）。これは、表層地盤による地震動の増幅を回避し、地震時に重要な建物・構築物や機器・配管系の変形をできる限り抑え、かつ、地盤破壊や不等沈下による影響を避けるためである。

また、機器・配管系は、地震力に対して構造強度を有するように設計した。配置に自由度があるものは、できるだけ重心位置を低くして、安定性のある据付け状態となるよう配置し、大型の機器のように配置に自由度がないものは、十分な支持機能を有するように設計上配慮した。そして、地震動による揺れを小さくするために、機器については、これを支持するのに十分な基礎ボルトで構築物に取り付け、配管についても、十分なサポートにより構築物に支持させている。例えば、蒸気発生器については、複数の高さ位置に設置した、非常に大きく強固な支持構造物で支えることで、地震による変形を抑えることとしている（例として高浜 3 号機。図表 6 5）。

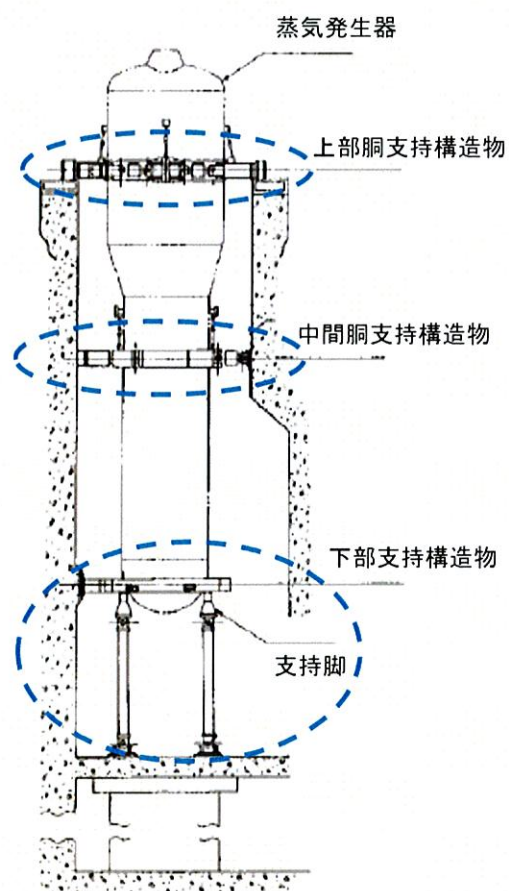


鉄筋の配置状況



基礎コンクリートの状況

【図表 6 4 高浜 3 号機 原子炉建屋 基礎工事状況】



【図表 6 5 高浜 3 号機 蒸気発生器支持構造物】

第3 耐震重要度分類

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

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

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

国際原子力機関（IAEA）が定める安全基準類のうち原子力安全の要件を規定しているIAEA安全基準「原子力発電所の安全：設計」は、福島第一原子力発電所事故から得られた教訓・知見をもとに、従前のものからの見直しが行われ、2016年2月に改訂版が発行されているところ（乙112、「IAEA安全基準「原子力発電所の安全：設計」について」本文、別紙2、1/3頁）、この見直し後の安全基準においても、①全ての安全上重要な機器等は特定され、それらの機能と安全上の重要度に基づいて分類されなければならないこと（同2/3頁、要件22）、②安全上重要な機器等は、危険要因の影響に耐えるように設計され配置されなければならないこと（同頁、5.15A）等が求められている。すなわち、より重要な対象により厳しい基準を適用し、より厳密にこれを確認することで、より高い安全性を確保できるという一般的な経験則が、重要度に応じた分類を行う際の根底にある科学的理念となっており、この理念は、福島第一原子力発

電所事故の教訓・知見を踏まえてもなお変わらないものである。

3 各クラスの分類は、図表 6 6 のとおりであるが、これを敷衍すると以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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

【図表 6 6 耐震重要度分類】

第4 基準地震動に対する耐震安全性評価

債務者は、上記のとおり耐震重要度分類Sクラスに分類したもの（耐震重要施設）について、基準地震動に対する耐震安全性評価を行い、基準地震動による地震力が各設備に作用した際の評価値（建物・構築物の耐震壁のせん断ひずみや機器・配管系に生じる応力の値等）を算出して、これが評価基準値⁸⁵を下回ることを確認した。

1 耐震安全性評価における解析

債務者は、本件発電所の耐震重要施設について、基準地震動S s - 1 ~ S s - 7 に対する耐震安全性評価を行った。この評価においては、地震応答解析及び応力解析を行い、その結果得られた評価値が、基準・規格等に基づいて定められている評価基準値を超えないことを確認している⁸⁶。

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

ここで、荷重とは、物体の自重、内圧、地震力⁸⁷のように、物体に対して外部から作用する力をいう。一方、物体の内部では、このような荷重と釣り合いを

⁸⁵ 評価基準値に相当する用語として「許容値」、「許容限界」、「許容応力」といった用語も用いられるが、本書面においては、引用部分を除き、全て「評価基準値」という。

⁸⁶ なお、耐震重要施設以外の設備でも、その設備が損傷すると耐震重要施設の機能に影響を及ぼすと考えられるものがあり、債務者は、各設備の位置関係・構造等を踏まえ、そのような影響を及ぼす設備については全て、基準地震動による評価を行っている。

例えば、設置許可基準規則解釈では、「耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること」（同規則解釈別記2第4条6項2号、乙33、139頁）とされている。また、設置許可基準規則では、「安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない」（同規則9条1項、乙33、20頁）とされている。

上記の要求事項を踏まえ、債務者は、ある設備が地震によって損傷して設備に内包している水等が流出し、その水等が耐震重要施設にかかるなどして機能に影響を及ぼすと考えられる場合において、当該設備が基準地震動による地震力によって損傷し、水等が流出することがない（溢水源とならない）ことを確認している（乙84、82～83頁）。

⁸⁷ 地震時には、物体が揺すられることにより加速度（ α ）が生じ、物体の質量（M）に比例した地震力（ $F = M \times \alpha$ ）が荷重として作用する。

保とうとする力が発生するところ、この物体内部で発生する力を応力という⁸⁸。

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

このような解析を各耐震重要施設について行い、評価値（建物・構築物の耐震壁のせん断ひずみや機器・配管系に生じる応力値等）が評価基準値を超えないことをもって、耐震重要施設の耐震安全性を確認している。

（以上について、乙112、13～14頁）

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

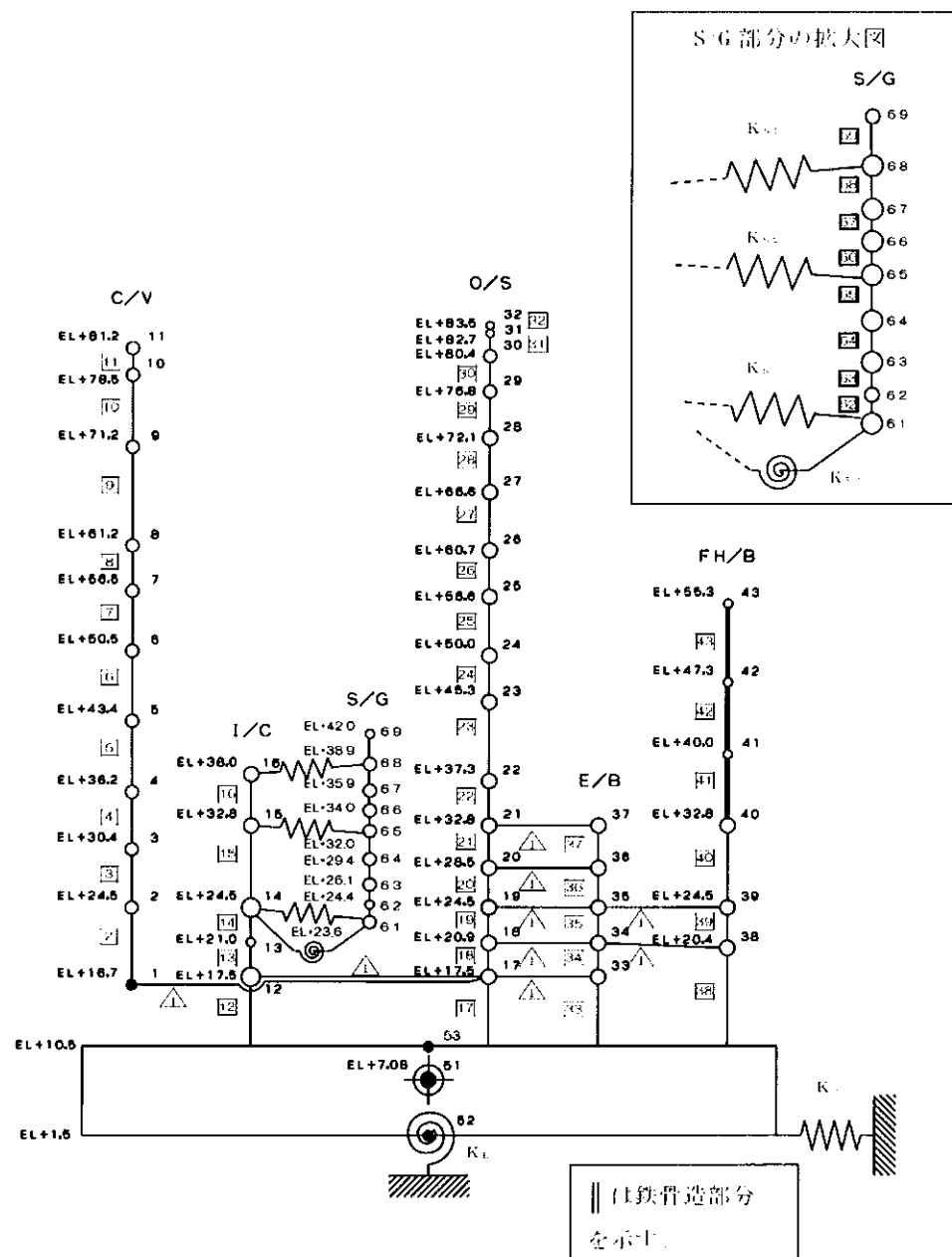
2 建物・構築物の解析

（1）建物・構築物については、日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」（乙113。以下、「JEAG4601-1987」という）⁸⁹に定める手法を用いて解析を行う（乙113、265頁、287～290頁、367～368頁）。

具体的には、構成部位ごとに質量・剛性・減衰を考慮して、水平2方向及び鉛直方向の方向ごとに適切な解析モデル（質点系モデル。図表67は原子炉建屋の例）を構築し、各モデルの方向に対応する基準地震動を入力するなどして解析を行い、算出された評価値が評価基準値を超えないことを確認する。

⁸⁸ なお、荷重は、作用する力の総量として示される（単位はkN（キロニュートン）である）のに対し、応力は、単位面積当たりの量として示される（単位はMPa（メガパスカル）である）。

⁸⁹ このJEAG4601-1987等は、工事計画認可に係る耐震設計に関わる審査において実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及び同規則解釈への適合性を確認するために参照される、原子力規制委員会の「耐震設計に係る工認審査ガイド」（乙114）において、適用可能な規格として示されている（乙114、2～3頁、1.3の⑥～⑧）。



【図表 6-7 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）】

(2) 債務者は、本件発電所の原子炉建屋及び原子炉補助建屋について、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ による解析を行った。その結果得られた各建屋の耐震壁（鉄筋コンクリート造）の評価値（せん断ひずみの最大値）を示したも

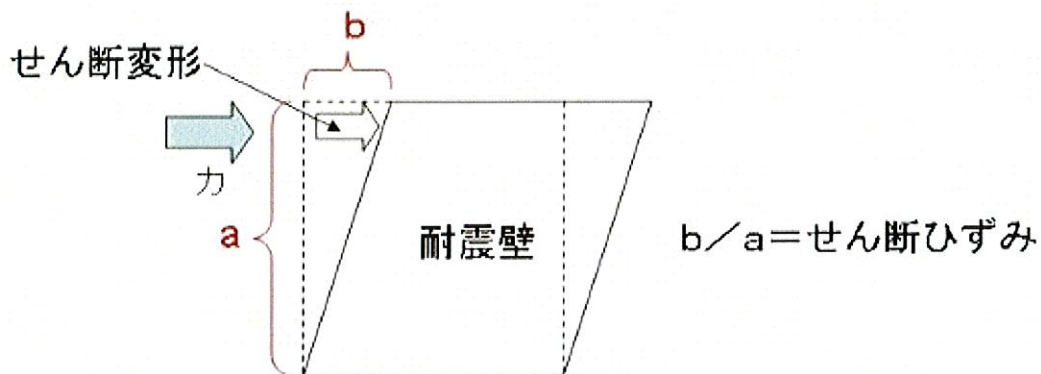
のが図表 6 8（代表して高浜 3、4 号機における結果を記載する）である。

ここで、せん断ひずみとは、外力を受けて物体内部で生じる、ずれを生じさせる力（せん断力）によって変形（せん断変形）する際の変形の割合をいい、耐震壁の地震時に生じるせん断変形（長さ）を耐震壁の高さで除すことで求められる（図表 6 9、「 $b/a = \text{せん断ひずみ}$ 」）。例えば、高さ 10m の耐震壁でせん断変形が 1cm であれば、せん断ひずみは 1×10^{-3} となる。

高浜 3、4 号機において各建屋のせん断ひずみの最大値（評価値）は、図表 6 8 に示すとおり、いずれも JEAG4601-1987 に定める評価基準値 2.0×10^{-3} を下回っており、各建屋が基準地震動に対して耐震安全性を有することが確認されている。

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
高浜 3 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.05×10^{-3}	2.0×10^{-3}
	補助一般建屋		0.309×10^{-3}	
	中間建屋		0.482×10^{-3}	
	ディーゼル建屋		0.536×10^{-3}	
	燃料取替用水タンク建屋		0.0924×10^{-3}	
高浜 4 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.05×10^{-3}	
	補助一般建屋		0.309×10^{-3}	
	中間建屋		0.482×10^{-3}	
	ディーゼル建屋		0.536×10^{-3}	
	燃料取替用水タンク建屋		0.0924×10^{-3}	

【図表 6 8 高浜 3、4 号機における
原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震安全性評価結果】



【図表 6 9 せん断変形とせん断ひずみ】

3 機器・配管系の解析

- (1) 機器・配管系については、各機器等の振動性状に応じて一次元又は三次元の解析モデルを構築し⁹⁰、この解析モデルに水平2方向及び鉛直方向の方向ごとに基準地震動を入力するなどして解析を行い、算出された評価値が評価基準値を超えないことを確認する、構造強度評価を行う。このような評価手法は、JEAG4601-1987等に沿うものである。

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

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

⁹⁰ 例えば、その構造上、左右方向等の一定の方向に揺れやすいことが明らかな機器については、地震動によるその一定の方向の振動を表現できればよいことから、その方向に対応する一次元の解析モデルを構築する。他方、配管のように、建屋内に三次元的に敷設され、その形状が対称ではない設備については、揺れやすい方向が必ずしも明らかではないため、これを適切に模擬するために三次元の解析モデルを構築する。

その結果、発生応力値等の評価値は、いずれも評価基準値を下回っており、本件発電所の安全上重要な機器・配管系が、基準地震動に対して機能が損なわれない（耐震安全性を有する）ことを確認した⁹¹。

その代表的な評価結果を示したものが図表 7 0（代表して高浜 3、4 号機における結果を記載する）である。

区分	評価対象設備	評価項目	高浜 3 号機		高浜 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 0 高浜 3、4 号機における代表的な機器・配管系の耐震安全性評価結果】

4 小括

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

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

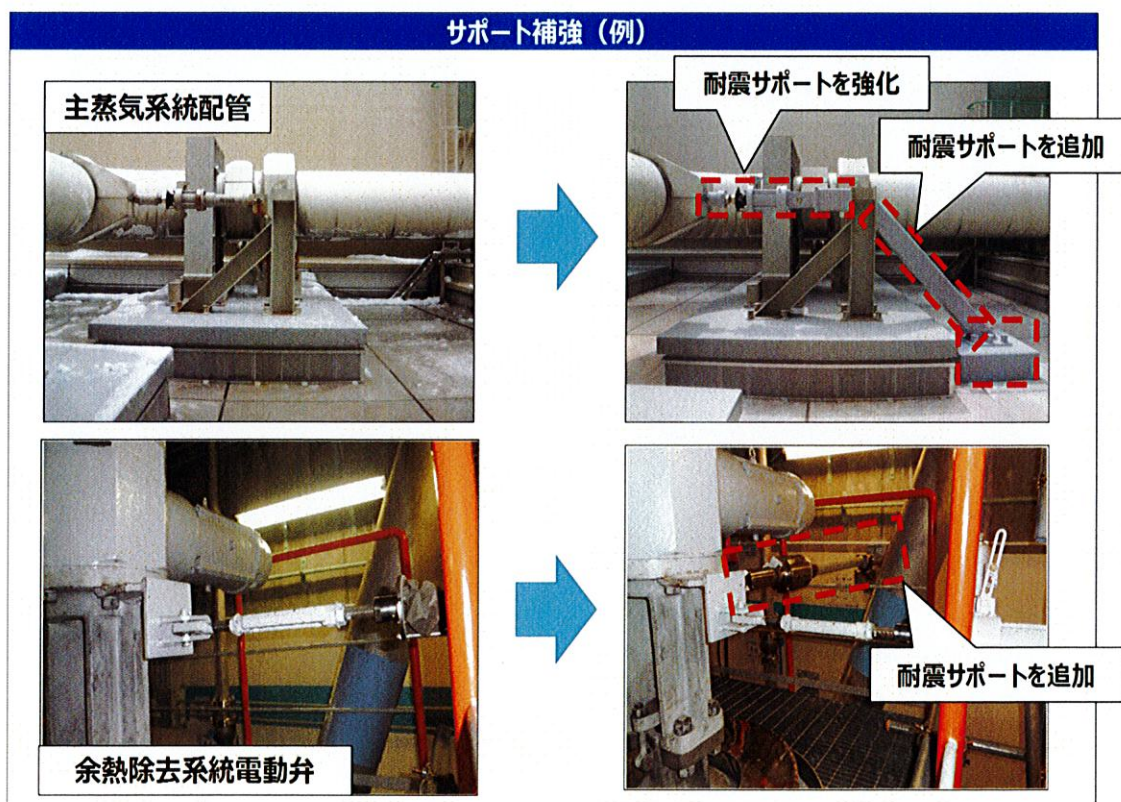
⁹¹ 動的機能維持評価の対象設備のうち、制御棒については、地震時においても原子炉内へ評価基準値以内の時間で挿入されることを確認した。

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

第5 耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事

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

今般、新規制基準施行に伴い、債務者は、本件発電所の新たな基準地震動（最大加速度700ガル）を策定したが、その策定に伴って耐震補強が必要となるもの等について、本件発電所の配管サポート類等の補強工事を実施しており、令和4年1月までに全ての工事が完了している（代表して高浜3、4号機における補強工事の例を記載する。図表71）。



【図表71 耐震補強工事の例】

なお、債務者は、耐震バックチェックの実施に際して本件発電所の基準地震動 S_s （最大加速度550ガル）を策定したときにも、平成19年から21年にかけて、本件発電所の配管サポート類など約880箇所について補強工事を実施している。

第6 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、本件発電所の耐震設計方針に関して、耐震重要度分類の方針（乙39、21～22頁、乙84、13～14頁）や地震応答解析による地震力の算定方針（乙39、23～24頁、乙84、15～16頁）等が設置許可基準規則解釈別記2等に適合していることを確認し、また、詳細な耐震設計に関しては、工事計画認可申請に対する審査の結果、高浜3号機については平成27年8月4日、高浜4号機については同年10月9日、高浜1、2号機については平成28年6月10日に、工事計画をそれぞれ認可している（乙68の1及び2、乙69の1及び2、乙74の1及び2、乙75の1及び2）。

第7 本件発電所の耐震安全上の余裕

本件発電所では最新の科学的・専門技術的知見をもとに様々な保守性を考慮して十分な大きさの基準地震動を策定しており、これを超える地震動が到来することはまず考えられないが（第3章）、仮に、万が一、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、本章の冒頭箇所で述べたとおり、本件発電所の耐震安全性評価に含まれる余裕（下記1）により、直ちに本件発電所の安全性が損なわれることはない。そして、このような余裕の存在は、実験によって実証されるなどしている（下記2）。

1 基準地震動による地震力に対して有する余裕

債務者は、本件発電所の各耐震重要施設について、耐震安全性評価を行い、これによって得られた評価値が評価基準値を下回ることを確認したものである

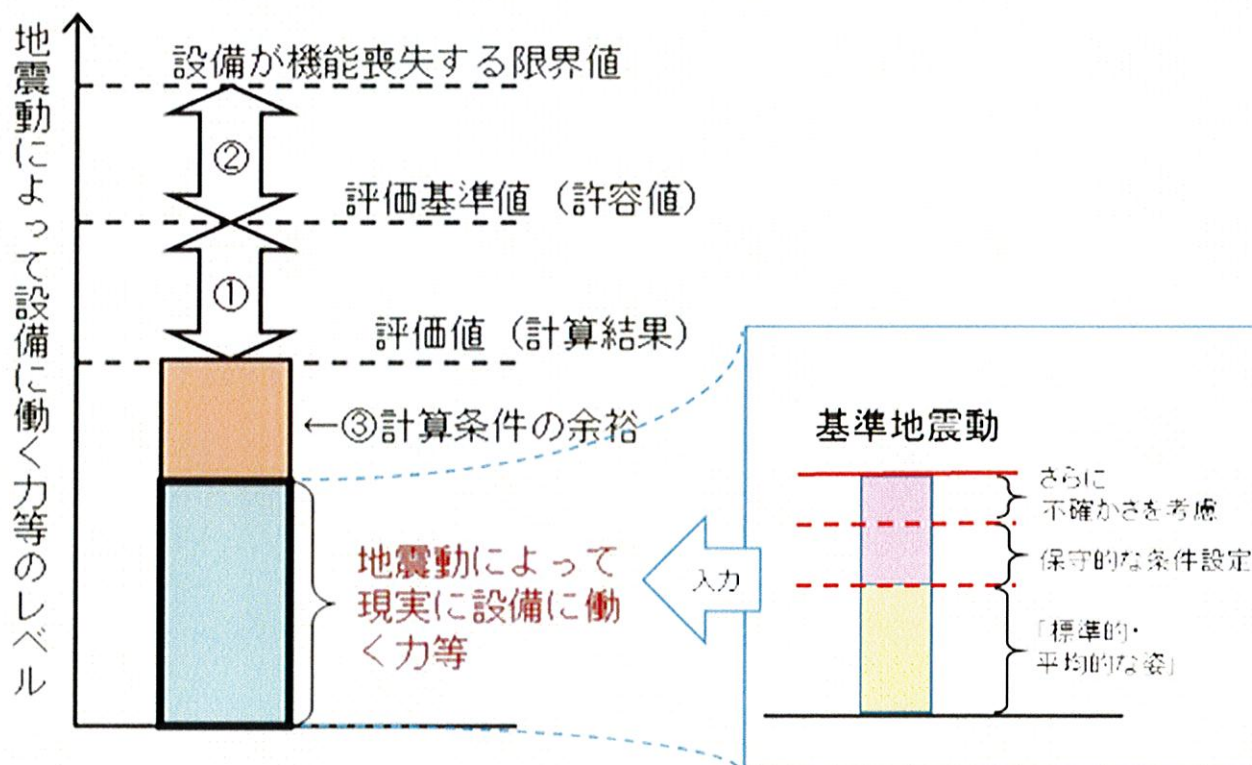
ところ、この耐震安全性評価においては、耐震安全上の余裕として3つの余裕が存在する。

すなわち、評価値の評価基準値に対する余裕（①の余裕）に加えて、評価基準値自体が、実際に機器等が機能喪失する限界値に対して余裕を持った値に設定されており（②の余裕）、また、評価値を計算する過程においても、計算結果が保守的なものとなるよう、計算条件の設定等で余裕を持たせている（③の余裕）（図表72）。

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

（乙115、「陳述書」本文第1、添付資料1頁）

以下、上記②及び③の余裕について述べる。



【図表72 耐震安全上の様々な余裕のイメージ】

(1) 評価基準値自体の持つ余裕（上記②の余裕）

本件発電所の耐震安全性評価では、評価基準値自体が、実際に機器等が機能喪失する限界値に対して余裕を持った値に設定されている。以下、説明する。（乙115、本文第2の1、添付資料2頁）

ア 債務者は、本件発電所の耐震安全性評価に用いている評価基準値を、日本電気協会が策定した民間規格である JEAG4601-1987（乙113）及び JEAG4601・補-1984（乙116。以下、「JEAG4601-1984」という）に基づいて設定している。

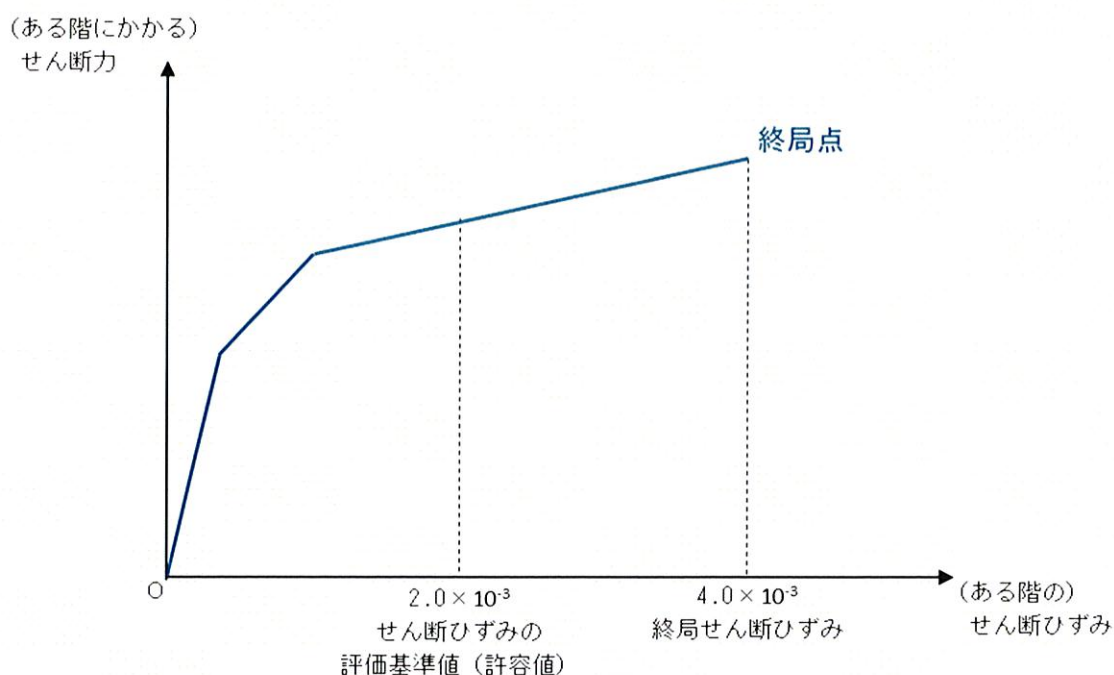
イ まず、建物・構築物の評価基準値は、JEAG4601-1987に定められているところ、同指針には、Asクラス（新規制基準における耐震重要度分類Sクラスに相当）の施設に係る耐震設計の基本方針として、「基準地震動S₂（引用者注：新規制基準における基準地震動に相当）に基づいた動的解析（同：地震応答解析のこと）から求められる地震力に対して、その安全機能が保持できるように設計する」と定められている（乙113、265頁）。そして、評価基準値については、地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対し、「建物・構築物が構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力⁹²に対して安全余裕をもたせることとする」とされている（同275頁）。

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

⁹² 終局耐力とは、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力をいう（乙113、275頁）。

7 3、同392頁)⁹³。

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



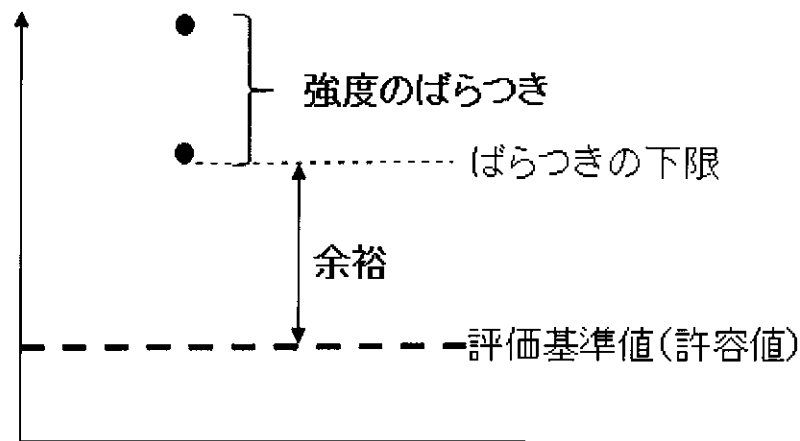
【図表 7 3 せん断ひずみの評価基準値（許容値）と終局せん断ひずみ】

ウ また、機器・配管系の評価基準値は、JEAG4601-1987に原則的事項が記載され、その詳細はJEAG4601-1984に定められているが、機器・配管系に使用される材料の材質のばらつきについては、その材料の破壊実験結果をもとに、

⁹³ 建物の、ある階の鉄筋コンクリート耐震壁に水平方向の力（地震力）が加わると、耐震壁にはせん断力がかかり、せん断変形する（上記第4の2（2）の図表6 9参照）。

図表 7 3は、耐震壁にかかるせん断力を次第に増やしていったときのせん断ひずみの増加を概念的に示したものである。せん断ひずみが大きくなるに従って鉄筋コンクリートの力学的な性質は変わるので、（一本の直線ではなく）同図のように折れ線で表現される。せん断ひずみが終局点を超えて進行するとコンクリートに大きなひび割れが生じて耐震壁の性能が大幅に低下することから、せん断ひずみが終局点を越えないようにする必要がある。この終局点におけるひずみを終局せん断ひずみといい、その値はJEAG4601-1987に示されている（乙113、392頁）。

実験値のばらつきや実験値の下限値を考慮して、これに余裕を見込んだ保守的な値が評価基準値として設定されている（図表7-4）。



【図表7-4 評価基準値（許容値）の設定における考慮】

なお、債務者は、本件発電所の機器等に用いられる材料について、材料メーカーが発行する材料証明書により、適切に製造された材料であることや、その材料の品質が規格等により定められた範囲内であることを確認することによって、図表7-4の「ばらつきの下限」を上回るものであることを確認している。

（以上ウについて、乙115、本文第2の1、添付資料2頁）

（2）評価値の計算条件における余裕（上記③の余裕）

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

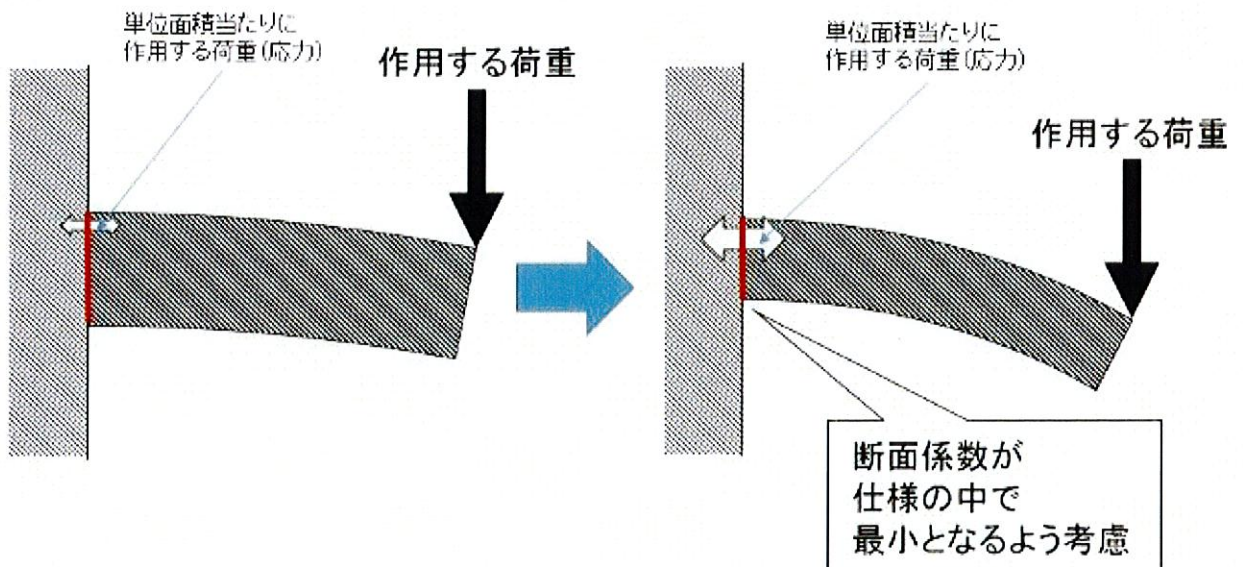
このような考慮の具体例を、解析モデルを構築する段階（下記ア）と、地

震応答解析及び応力解析を行う段階（下記イ）とに分けて説明する。

（乙115、本文第2の2、添付資料3～4頁）

ア 解析モデルを構築する段階での考慮

（ア）債務者は、原子炉容器等の重要な機器等をモデル化する際に、公称値（材料の製品としての名目上の値）⁹⁴を用いず、製造上定められた仕様の中で最小となるような寸法を設定することで、応力解析で求める応力（単位面積あたりに作用する荷重）が大きくなるようにしている。すなわち、応力解析では、機器等に作用する荷重を断面係数（荷重を受ける断面の形状と面積により定まる値）で除して応力を求めるため、断面係数の値を小さく見積もることで応力は大きくなり、機器等にとって厳しい条件になる（図表7-5。乙116、本文第2の2(1)、添付資料3頁）。



【図表7-5 評価値の計算過程における機器等のモデル化に際しての考慮】

⁹⁴ 例えば、厚さ10mmの鋼板の場合、10mmが公称値であり、実際の製品にはその公差の範囲内での誤差が許容される。

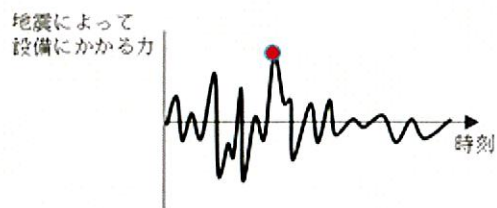
(イ) また、タンク等の機器の解析モデルを構築する際に、その重量について、最大重量（満水時重量）を用いることで重心を高くし、機器に作用する応力を大きく見積もることも行っている。

イ 地震応答解析及び応力解析を行う段階での考慮

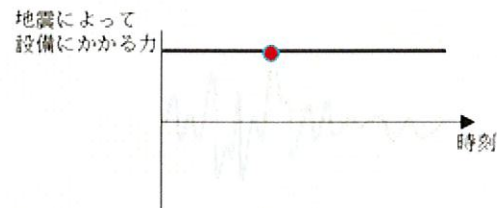
(ア) 債務者は、応力解析において、実際の地震動による地震力と異なり、地震の揺れによって瞬間的に作用する最大の力（により設備に発生する応力）が、機器・配管系にとって厳しい方向に一定してかかり続けるとあえて仮定して評価を行っている。

すなわち、実際の地震の揺れによる力は、特定の方向にかかり続けるものではなく、時々刻々、別の方向に力がかかるようになるが、あえて、その地震の揺れによる最大の力が、機器・配管系にとって厳しい方向に一定してかかり続けると仮定して評価を行っているものであり、このような仮定は、評価値の計算において、保守的な取扱いとして余裕を生じさせることになる。（図表 7 6）

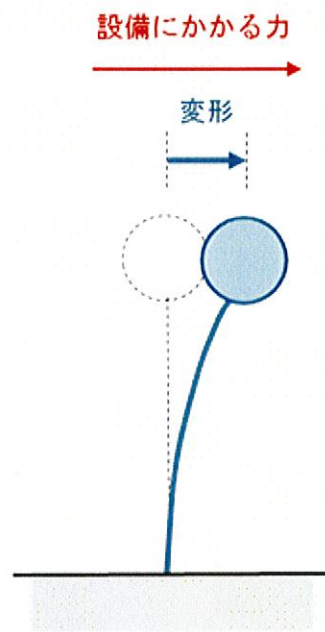
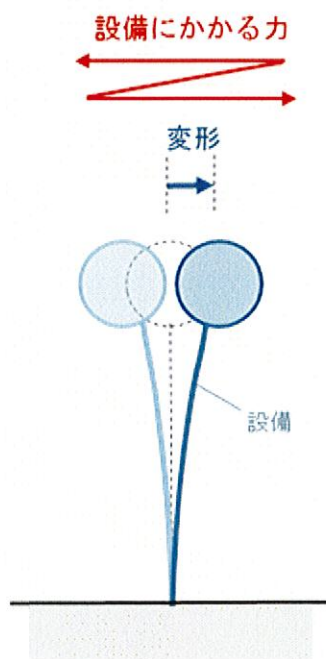
（以上（ア）について、乙115、本文第2の2(3)）



実際の現象：
最大の力がかかるのは一瞬



耐震安全性評価での想定：
最大の力がかかり続けると仮定

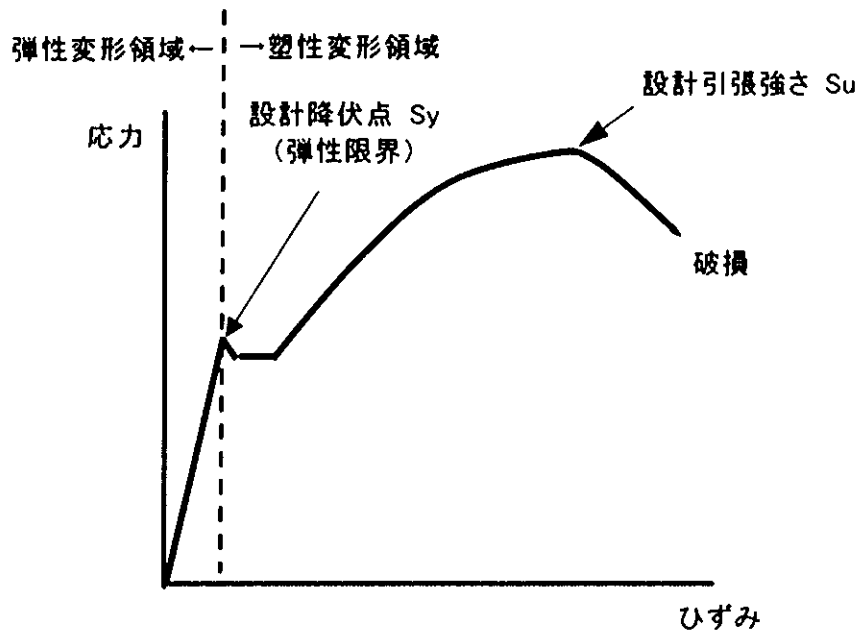


【図表 7 6 機器・配管系の評価における力の想定】

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

機器・配管系に外部から力（荷重）を加えると、これらを構成する材

料は変形（弾性変形⁹⁵）し、降伏点（弾性限界）を越えると、その変形は、弾性変形から塑性変形⁹⁶に変わる（なお、機器・配管系は、塑性変形を始めても直ちに安全機能を失うわけではなく、さらに一定の荷重を加えて塑性変形が進むことではじめて機能を失うに至る）（図表 7 7）⁹⁷。



【図表 7 7 機器・配管系に関する応力ひずみ線図の一例】

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

⁹⁵ 物体に加わって変形を生じさせる外力が取り除かれると元に戻る変形のことを弾性変形という。

⁹⁶ 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。

⁹⁷ 原子力発電所の機器・配管系の設計における材料の応力とひずみとの関係を図示した一例が図表 7 7 である。機器・配管系に外部から荷重を加えていくと、降伏点（弾性限界、「設計降伏点 S_y 」）を超えて塑性変形領域に入り、そこからさらに荷重を加えていくと応力が最大値に達し、最終的には破損する。この応力の最大値を、引張強さ（「設計引張強さ S_u 」）という。

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

ルギーの一部が熱エネルギー等として消費される結果、振動エネルギーの総量が減少し（吸収され）⁹⁸、機器・配管系の揺れが抑制される効果が生じるというものである。この効果は、建設省の「D s 及びF e s を算出する方法を定める件」（昭和55年建設省告示第1792号）において採用され、建築物では活用可能な知見として考慮されている。

エネルギー吸収効果の程度は、塑性エネルギー吸収係数⁹⁹として表されるところ、例えば、配管等を支える支持構造物で用いられる一般鋼材については、塑性エネルギー吸収係数は約2と評価される¹⁰⁰。これは、塑性エネルギー吸収係数を考慮した場合には、考慮しない場合に比べて、応力は約2分の1と評価できることを示している。

この点、「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」（乙117）においても、この効果が見込めることが紹介されている（乙117、393頁）ところ、債務者は、本件発電所の機器・配管系の解析に際して、この効果を織り込んでいない。このような保守的な取扱いは、計算される評価値に余裕を生じさせることになる。

（以上（イ）について、乙115、本文第2の2(3)）

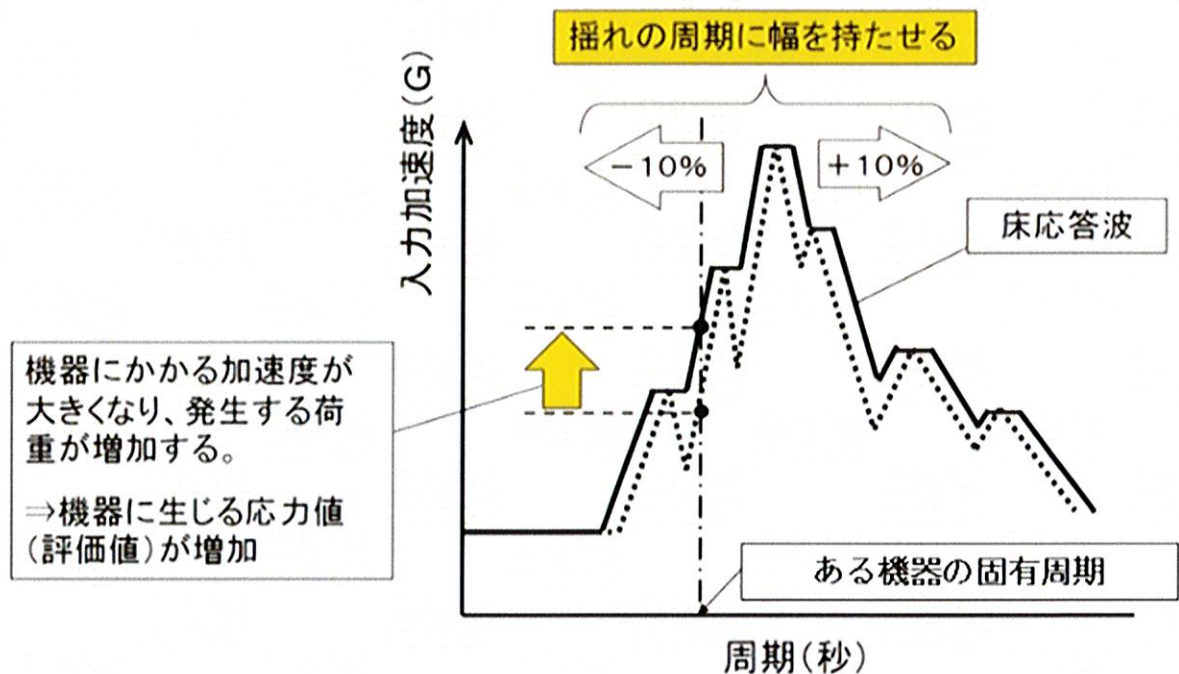
（ウ）さらに、債務者は、各階床に設置されている機器・配管系に生じる揺れ（床応答波）のスペクトル（床応答スペクトル）について、材質のばらつきを考慮し、全体的に拡張して大きくすることで、機器等にかかる

⁹⁸ 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）形で吸収されるからである。

⁹⁹ 建設省告示においては、建築物の塑性変形能力等に応じ、塑性エネルギー吸収係数の逆数に相当する構造特性係数（Ds）が定められている。

¹⁰⁰ 塑性エネルギー吸収係数の評価方法は複数存在するが、ここではNewmarkが提案したエネルギー等価式により算出している。また、地震のように揺れが行ったり来たりすることで生じる塑性変形による破損形態は疲労破損であるとの知見があるが、そのような疲労破損は生じない程度の変形量での評価である。

荷重を保守的に見積もるようにしている（図表 7 8。乙115、本文第2の2(2)、添付資料4頁）。



【図表 7 8 評価値の計算過程における床応答スペクトルの拡幅による考慮】

(3) 小括

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

このような余裕は、本件発電所に限らず、原子力施設の耐震設計体系において一般的に認められており、原子力安全・保安院が平成24年2月に作成した「関西電力（株）大飯発電所3号機及び4号機の安全性に関する総合的評価（一次評価）に関する審査書」（乙118）においても、「設備等の応答評

価（引用者注：地震応答解析及び応力解析）の段階では、入力する地震動に対して応答を大きく算出するような評価方法、評価条件が採用されていることに、また、許容限界（同：評価基準値）の設定の段階では、実際に機能喪失する限界に対して相当の裕度をもった限界が設定されていることに、保守性が存在する」（乙118、27頁）と明示されている。

2 耐震安全上の余裕の実証例等

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

（1）多度津工学試験センターでの原子力発電施設耐震信頼性実証試験

原子力発電技術機構の多度津工学試験センターにおいて1982年度から2004年度まで実施された実証試験（「原子力発電施設耐震信頼性実証試験」）により、「安全上重要な設備」の耐震安全性評価における余裕の存在が実証されている（乙111、20頁、乙119、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要」、乙120、「原子力発電施設信頼性実証試験の現状 昭和59年（抜粋）」2頁）。

ア 実証試験の概要

（ア）この実証試験では、耐震設計上の余裕の確認、巨大地震の際に所要の機能が発揮できることの実証、耐震設計手法の妥当性の確認のため、大

型高性能振動台¹⁰¹（以下、「振動台」という）に原子力発電所の実機に近い縮尺模型試験体を設置して、強度実証試験¹⁰²、設計手法確認試験¹⁰³、限界加振試験¹⁰⁴等が行われた（乙119、1～4頁）。

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

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

イ 実証試験の方法

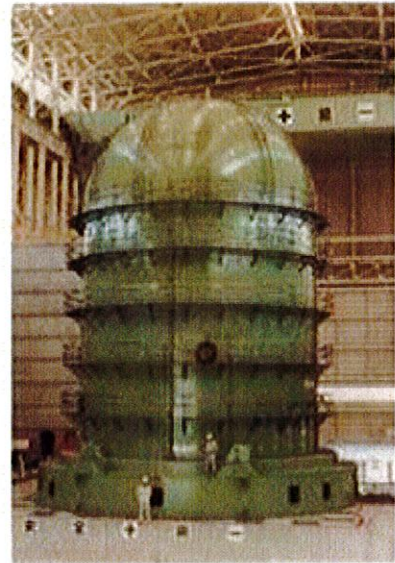
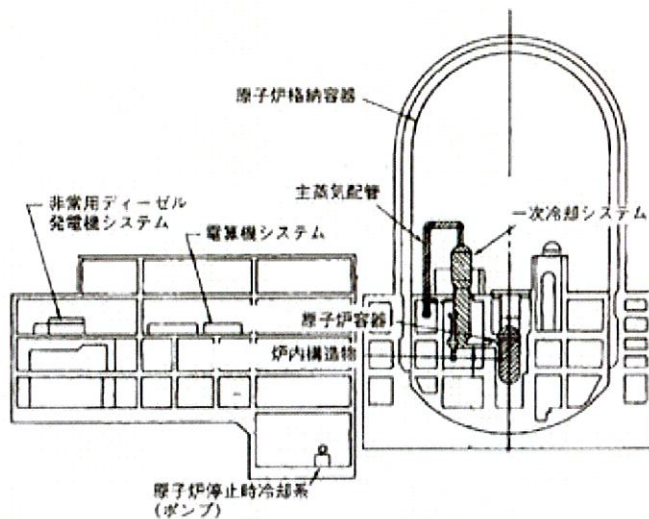
試験対象設備には、110万kW級の加圧水型原子炉（PWR）及び沸騰水型原子炉（BWR）における原子炉格納容器、一次冷却設備（蒸気発生器等）、原子炉容器、炉内構造物（燃料集合体等）、非常用ディーゼル発電機等が選定された（図表7-9を参照。乙119、5～6頁）。

¹⁰¹ この振動台は、最大積載質量1,000トン、振動台（テーブル）寸法縦15m×横15mであり、水平加振機7基と垂直加振機12基によって水平・鉛直の2方向を同時に加振できる（乙118、9～10頁）。

¹⁰² 実証試験用試験体を対象として、基準地震動 S_1 、 S_2 に対する強度、機能の健全性を確認する試験。

¹⁰³ 耐震設計手法や地震応答解析手法の妥当性を確認するための試験。

¹⁰⁴ 実証試験用試験体を対象として、基準地震動 S_1 、 S_2 を超える地震力で加振し、耐震裕度を確認する試験。



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

【図表 7 9 PWR の試験対象設備の位置及び試験体の例】

また、試験用の揺れ（入力波）については、試験体に最も大きい応答を与え、より厳しい試験が期待できる地震波が選定された。例えば、加圧水型原子炉（PWR）の原子炉格納容器については、当時運転中の全原子力発電所の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 を踏まえて設定された地震動による原子炉格納容器基礎における応答波とされた（乙119、25頁、27頁）。

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

ウ 実証試験の結果

加圧水型（PWR）原子力発電所の設備に関する強度実証試験及び限界加振試験の主なものの結果は図表80のとおりである。

試験の結果、いずれの機器も地震時に強度及び機能が維持されていること、基準地震動 S_2 を超える地震動に対しても十分な余裕を持っていること、原子力発電所の設計手法の妥当性が確認できたとされている（乙119、157頁）。

対象設備	強度実証試験（注2）	限界加振試験（注2）
原子炉格納容器（鋼製） ＜1/3.7、350t、約3、800t＞（注1）	591ガル	887ガル [1.5倍]（注3）
炉内構造物 ＜1/1、555t、約500t＞	729ガル	1、094ガル [1.5倍]
1次冷却システム ＜1/2.5、525t、約1、000t＞	1、433ガル	2、866ガル [2.0倍]
原子炉容器 ＜1/1.5、700t、約850t＞	714ガル	961ガル [1.3倍]
非常用ディーゼル発電機システム ※クランク軸等の部分試験を実施	1、360ガル	1、770ガル [1.3倍]
電算機システム ＜1/1、81t、約300t＞	526ガル	2、262ガル [4.3倍]
原子炉停止時冷却系 ＜1/1、294t、約300t＞	1、800ガル	2、700ガル [1.5倍]
主蒸気系 ＜1/2.5、190t、約200t＞	1、940ガル	4、850ガル [2.5倍]
プレストレス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80 PWR試験対象設備に関する試験結果】

なお、図表80の「限界加振試験」の欄において「機能喪失」と記載していないものについては、試験体が機能喪失した際の最大加速度ではなく、振動台が加振性能限界に達した際の最大加速度であり、当該試験体がそれ以上の耐震安全上の余裕を有していることを示している。これは、できるだけ実機に近い大規模な試験体での試験が指向されたため、振動台の加振性能限界から、強度実証試験の揺れ（入力波）の最大4倍程度までの加振が

限度となったが、この程度の揺れでは試験体が機能喪失しなかったのである。

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

エ 小括

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

この点、原子力安全基盤機構の報告書（乙119）においても、「大型高性能振動台を用いて・・・実施した原子力発電施設耐震信頼性実証試験は、実機に近い縮尺模型試験体を用いて設備の耐震安全性及び耐震裕度を確認した試験として有意義である」（乙119、まえがき）とされている。

（２）新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の原子炉機器の健全性

ア 有限責任中間法人日本原子力技術協会による原子炉機器の健全性評価

（ア）平成19年7月、新潟県中越沖で地震が発生し、北陸地方を中心に、東北地方から近畿・中国地方にかけての広い範囲で地震動が観測された。震

源距離約23kmに位置する柏崎刈羽原子力発電所（同地震の際、運転開始後約10～22年を経ていた）は、この地震発生により、当時の基準地震動を超える大きな地震動を受けた¹⁰⁵にもかかわらず、安全上の重要機器に外観上の大きな損傷は認められなかった。

しかし、設計基準を超える地震荷重を受けた重要機器の健全性を確認し、対策を着実に実施するとともに、災害から得られた教訓を関係者が広く共有するため、平成19年9月、構造強度・検査・耐震等を専門的分野とする学識経験者及び電力・メーカー等の関係者によって、有限責任中間法人日本原子力技術協会（現一般社団法人原子力安全推進協会。以下、「日本原子力技術協会」という）に「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会」が発足し、地震荷重を受けた機器の健全性評価について、解析的評価と点検結果との両面から検討が行われた。

この検討のうち、平成20年度の検討成果を中間的な報告として取りまとめたのが「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成20年度中間報告」（乙121）である。

（イ）この報告書では、東京電力が実施した地震応答解析に関して、解析の有する保守性の評価結果とともに、「新潟県中越沖地震により、柏崎刈羽原子力発電所は設計用地震動を超える地震動を受けたにも関わらず、重要設備に有意な損傷は認められなかった。この結果は、原子力発電設備の耐震設計の有する裕度が大きいことを示すものである」と述べられている（乙121、7-1頁）。

イ 国際原子力機関（I A E A）の調査報告書

¹⁰⁵ 例えば、柏崎刈羽原子力発電所1号機では、設計時の基準地震動S₂による原子炉建屋基礎版上の最大応答加速度が273ガル（東西方向）であったのに対し、実際に観測された最大応答加速度は680ガル（東西方向）であった。

柏崎刈羽原子力発電所については、国際原子力機関（I A E A）の調査報告書においても、同発電所の安全上重要な施設に被害が見られなかったことに関し、「安全に関連する構造、システム及び機器は大地震であったにも関わらず、予想より非常に良い状態であり、目に見える損害はなかった。この理由として、設計プロセスの様々な段階で設計余裕が加えられていることに起因していると考えられる」との見解が示されている。（乙122、「原子力安全白書（平成19・20年版）（抜粋）」13頁）

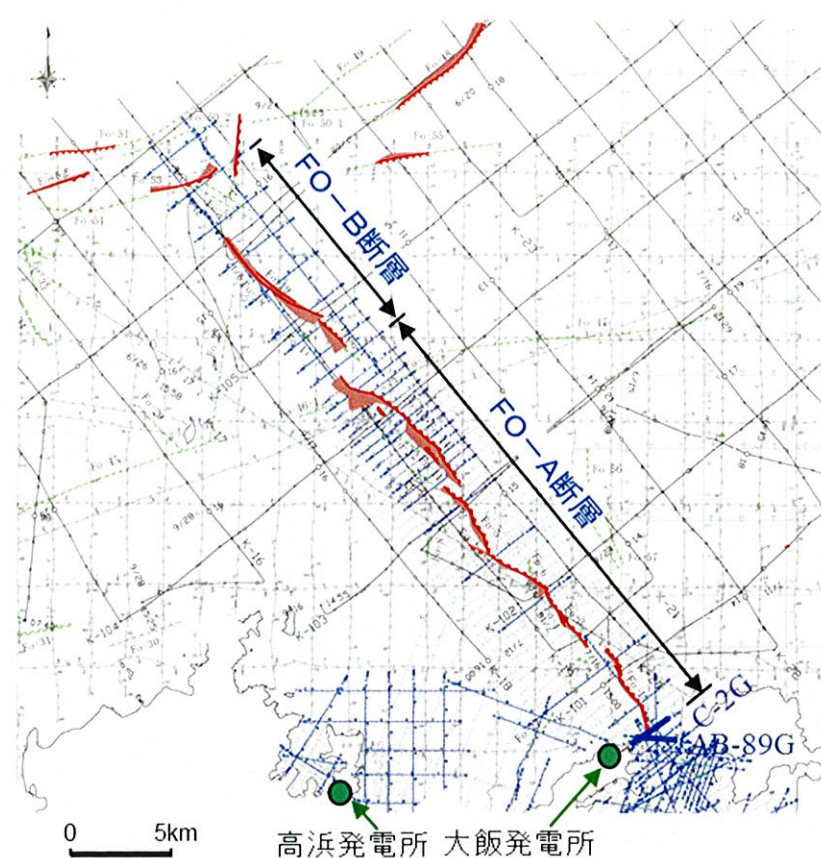
（３）まとめ

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

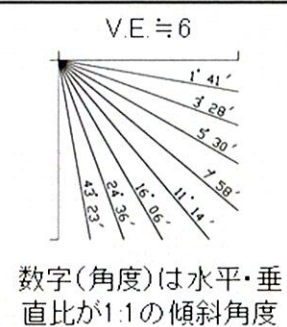
第5章 結語

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

以 上



—— : 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
—— : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲

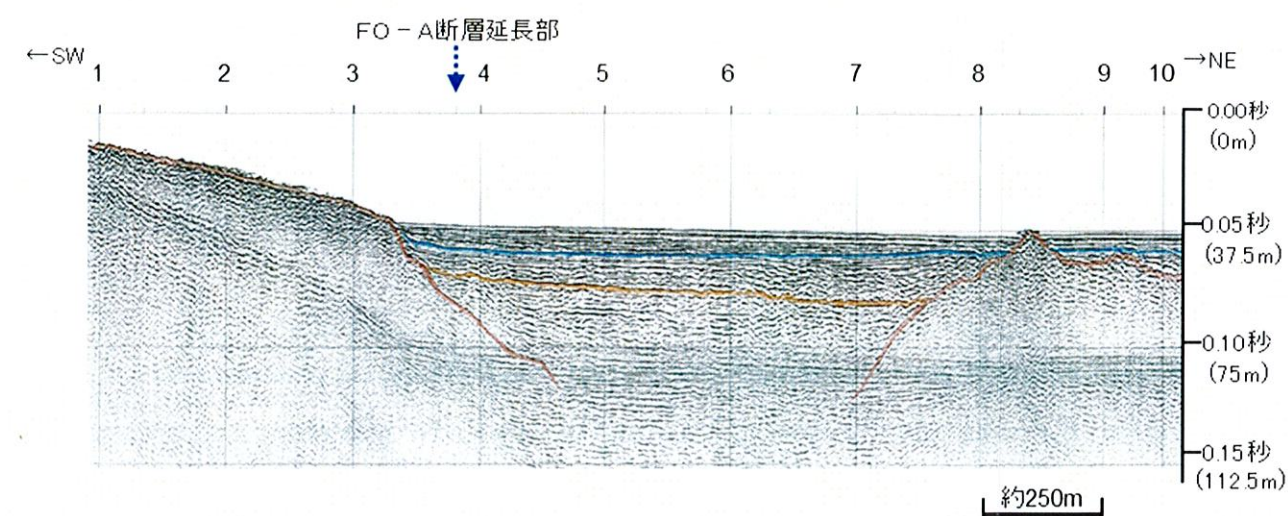


凡 例

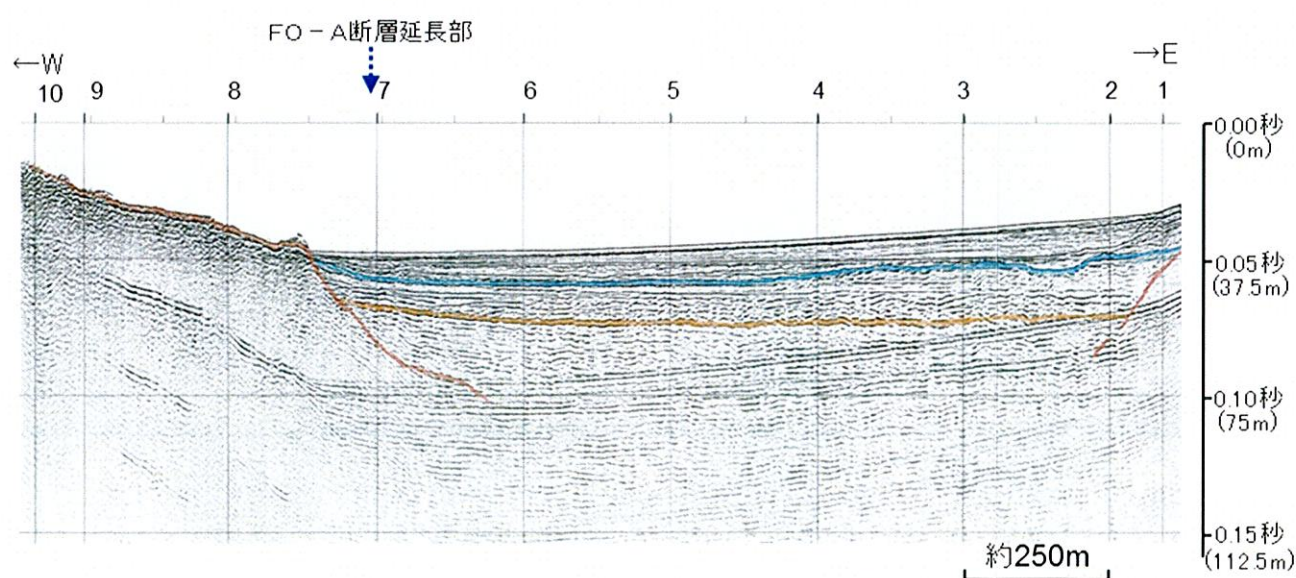
—— B層上面
—— C層上面
—— R層上面

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

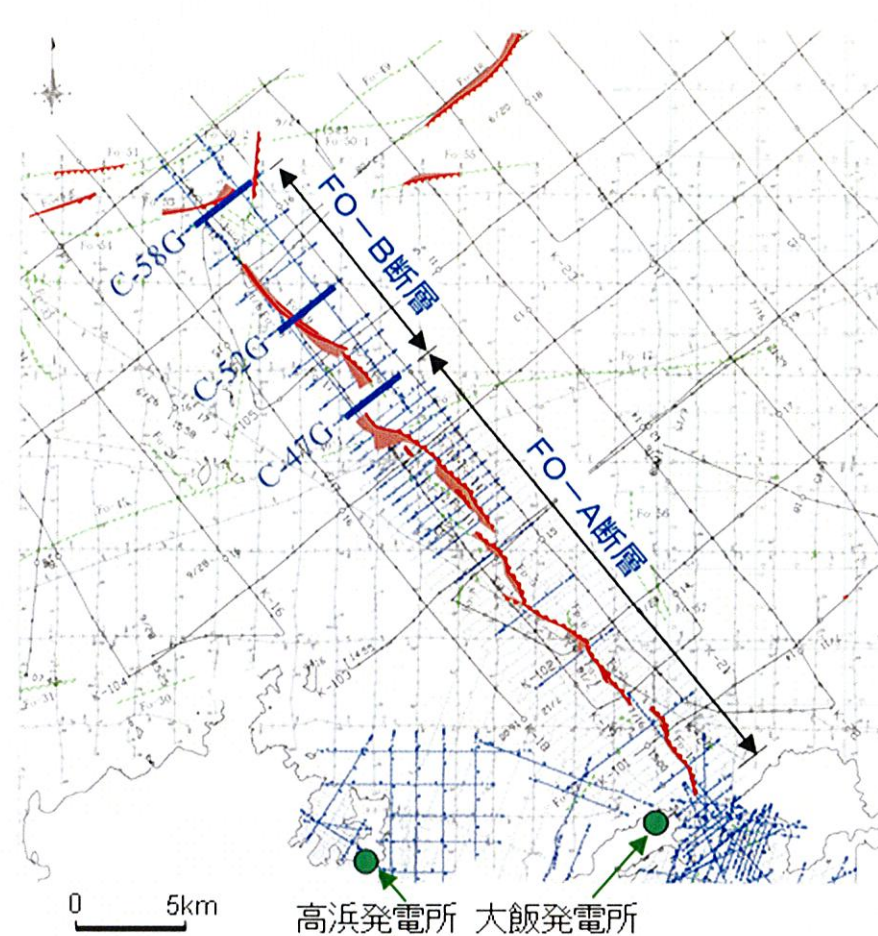
【C-2G (再処理後) Mig】



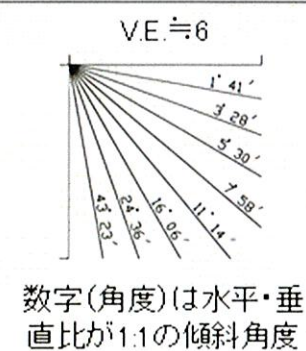
【AB-89G (再処理後) Mig】



【別紙図表1 FO-A断層に関する調査結果 (乙90号証174頁の図)】



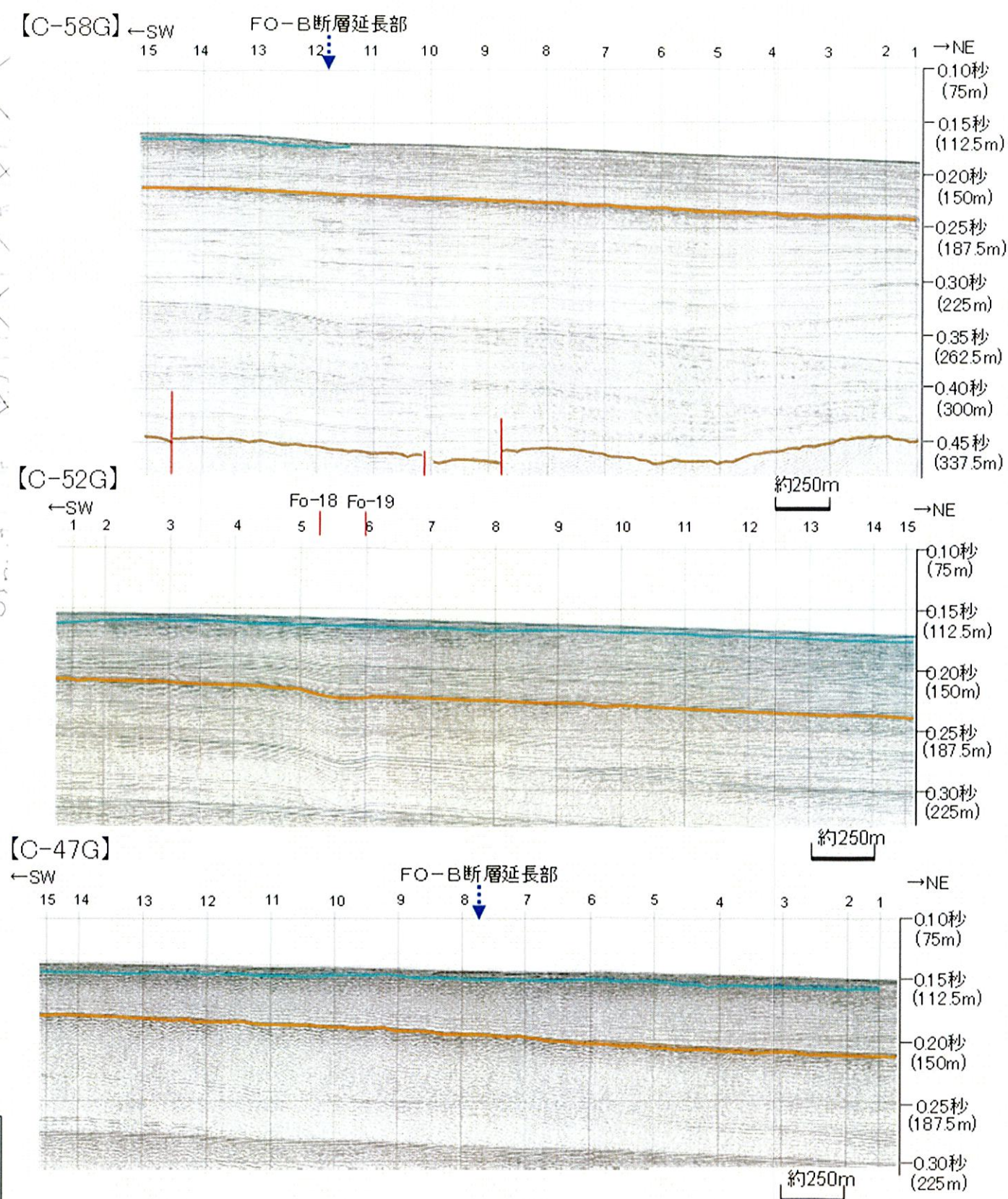
: 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
 : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲



凡 例

B層上面
 C層上面
 R層上面

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



【別紙図表2 FO-B断層に関する調査結果 (乙90号証178頁の図)】

- ・各断層の北端部、南端部では、後期更新世以降の地層に変位・変形が認められない。
- ・F O - A断層とF O - B断層の間の測線C-47Gには、堆積層の鉛直変位量が認められない。

後期更新世以降の活動あり

- ・FO-A断層: 約24km
- ・FO-B断層: 約11km
- ・両断層の連動を考慮

【別紙図表3 F O - A断層、F O - B断層の評価（乙90号証179頁の図）】