

副本

平成29年(㉟)第1213号大飯原発3, 4号機運転差止仮処分命令申立事件

債権者 児玉正人

債務者 関西電力株式会社

主張書面(1)

平成30年3月19日

大阪地方裁判所第1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 中 室 祐



代

目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 第1章 | はじめに | 8 |
| 第2章 | 地震動評価手法の発展等と本件発電所の基準地震動 | 10 |
| 第1 | はじめに | 10 |
| 第2 | 本件発電所建設時の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 の策定 | 11 |
| 第3 | 地震動評価手法の発展と基準地震動の策定方法の高度化 | 12 |
| 1 | 兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の著しい発展 | 12 |
| 2 | 基準地震動の策定方法の高度化と耐震バックチェックの実施 | 14 |
| (1) | 耐震設計審査指針の改訂 | 14 |
| (2) | 耐震バックチェックの実施に伴う本件発電所の基準地震動 S_s の策定 | 17 |
| (3) | 兵庫県南部地震以降に発生した地震で得られた知見の反映 | 21 |
| 第4 | 東北地方太平洋沖地震及び福島第一原子力発電所事故を受けた「新規制基準」の施行とそれに伴う債務者の対応 | 24 |
| 1 | 「新規制基準」の施行 | 24 |
| 2 | 本件発電所の新たな基準地震動の策定 | 26 |
| 第3章 | 本件発電所の地震に対する安全確保対策の概要 | 27 |
| 第1 | はじめに | 27 |
| 第2 | 基準地震動の策定 | 28 |
| 1 | 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価 | 29 |
| (1) | 検討用地震の選定 | 29 |
| (2) | 検討用地震の地震動評価 | 29 |
| 2 | 「震源を特定せず策定する地震動」の評価 | 32 |
| 3 | 基準地震動の策定 | 32 |
| 第3 | 本件発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価 | 34 |

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 1 | 耐震安全性評価 | 34 |
| 2 | 本件発電所の耐震安全上の余裕 | 35 |
| 第4 | 原子力規制委員会による審査等 | 36 |
| 第4章 | 本件発電所の新たな基準地震動 | 38 |
| 第1 | 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価 | 38 |
| 1 | 敷地周辺の地震発生状況の調査・評価 | 41 |
| (1) | 設置許可基準規則等 | 41 |
| (2) | 債務者による調査・評価 | 41 |
| (3) | 原子力規制委員会による審査 | 42 |
| 2 | 活断層の分布状況の調査・評価 | 43 |
| (1) | 設置許可基準規則等 | 43 |
| (2) | 債務者による調査・評価 | 44 |
| ア | 震源断層と地表地震断層 | 44 |
| イ | 本件発電所の敷地周辺地域の特性 | 48 |
| ウ | 調査の具体的内容 | 52 |
| エ | 調査結果に基づく断層の位置、長さ、幅の評価 | 63 |
| (3) | 各断層の具体的な評価 | 64 |
| ア | FO-A～FO-B断層 | 64 |
| イ | 熊川断層 | 69 |
| ウ | FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動 | 70 |
| エ | 上林川断層 | 80 |
| オ | 小括 | 83 |
| (4) | 活断層の分布状況と検討用地震の候補 | 83 |
| (5) | 原子力規制委員会による審査 | 87 |
| 3 | 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価 | 88 |
| (1) | 設置許可基準規則等 | 89 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| (2) 債務者による調査・評価 | 90 |
| ア 地震動評価に影響を与える地域的な特性 | 90 |
| イ 震源特性 | 93 |
| ウ 伝播特性 | 107 |
| エ 地盤の増幅特性（サイト特性） | 108 |
| オ まとめ | 122 |
| (3) 原子力規制委員会による審査 | 122 |
| 第2 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価 | 123 |
| 1 検討用地震の選定 | 125 |
| (1) 設置許可基準規則等 | 125 |
| (2) 本件発電所における検討用地震の選定 | 125 |
| (3) 原子力規制委員会による審査 | 126 |
| 2 応答スペクトルに基づく地震動評価 | 127 |
| (1) 設置許可基準規則等 | 128 |
| (2) 本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」 | 129 |
| ア 距離減衰式の選定 | 129 |
| イ FO-A～FO-B～熊川断層の地震動の応答スペクトル | 136 |
| ウ 上林川断層の地震動評価 | 139 |
| (3) 原子力規制委員会による審査 | 147 |
| 3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 | 149 |
| (1) 設置許可基準規則等 | 152 |
| (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」 | 152 |
| ア 債務者の評価手法の概要 | 152 |
| イ レシピの信頼性 | 154 |
| ウ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定） | 154 |
| エ 地震波の伝播特性，地盤の増幅特性（サイト特性）の評価 | 174 |

| | | |
|-----|-------------------------------------|-----|
| オ | 地震動評価結果 | 175 |
| (3) | 原子力規制委員会による審査 | 178 |
| 4 | 不確かさの考慮に関する補足説明 | 179 |
| (1) | 設置許可基準規則等 | 179 |
| (2) | 本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮 | 180 |
| (3) | 原子力規制委員会による審査 | 186 |
| 第3 | 「震源を特定せず策定する地震動」の評価 | 188 |
| 1 | 設置許可基準規則等 | 188 |
| 2 | 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価 | 189 |
| (1) | 加藤ほか(2004)による応答スペクトル | 189 |
| (2) | 地震ガイドに例示されている地震についての検討 | 190 |
| 3 | 原子力規制委員会による審査 | 198 |
| 第4 | 基準地震動の策定 | 199 |
| 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 | 199 |
| 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 | 203 |
| 3 | まとめ | 204 |
| 4 | 基準地震動の年超過確率 | 206 |
| 第5章 | 本件発電所の耐震安全性 | 212 |
| 第1 | 本件発電所の耐震安全性評価 | 212 |
| 1 | 設置許可基準規則等 | 212 |
| 2 | 耐震設計における基本的な考え方 | 214 |
| 3 | 耐震重要度分類 | 216 |
| 4 | 基準地震動に対する耐震安全性評価 | 219 |
| 5 | 耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事 | 225 |
| 6 | 原子力規制委員会による審査 | 226 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 第 2 | 本件発電所の耐震安全上の余裕 | 227 |
| 1 | 基準地震動による地震力に対して有する余裕 | 227 |
| 2 | 耐震安全上の余裕の実証例等 | 238 |
| 第 6 章 | 結語 | 244 |
| 別紙 1 | 地震及び地震動に関する基本的事項について | 245 |
| 別紙 2 | F O - A 断層及び F O - B 断層の調査・評価についての拡大図 | 260 |

第1章 はじめに

1 大飯発電所3号機及び4号機（以下、「本件発電所」という）の地震に対する安全確保対策の概要については、答弁書第7章第2の3で述べたところであるが、本書面は、同対策について、本件仮処分の争点に関わる「入倉・三宅（2001）¹（乙39）の関係式（以下、「入倉・三宅式」という）」の活用方法も含めて、より詳細に説明し、本件発電所の基準地震動が保守的に策定されていること、基準地震動に基づく耐震安全性評価が余裕を持たせた保守的な評価であることを明らかにする。

具体的には、まず、第2章において、本件発電所における地震に対する安全性確保について述べる前提として、地震動評価手法が発展してきた経緯を説明する。

その上で、第3章において、本件発電所における地震に対する安全性確保について、その概要（全体像）を簡潔に説明する。

次に、第4章において、本件発電所の基準地震動の策定過程について説明する。ここでは、債務者が、新規制基準（設置許可基準規則²）の要求を踏まえ、本件発電所敷地周辺について詳細に調査の上、断層の長さ・幅等といった地震動評価に影響を及ぼす諸条件を保守的に評価・設定し、不確かさを十分に考慮して、本件発電所の基準地震動を保守的に策定していることから、本件発電所が基準地震動を超える地震動に襲われることはまず考えられないことを明らかにする。

そして、第5章において、当該基準地震動に基づいて評価した本件発電所の耐震安全性について説明する。ここでは、余裕を持たせた保守的な耐震安全性評価を行っていることから、仮に基準地震動を超える地震動に襲われることがあったとしても、ただちに本件発電所の安全性が損なわれることはないことを

¹ 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

² 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。

明らかにする。

債権者の主張に対する反論は、主張書面（２）で詳述する。

2 なお、入倉・三宅氏は、本件発電所における基準地震動の策定過程のうち、次の箇所において用いている。

すなわち、債務者は、詳細な調査結果に基づき、最新の地震動評価手法を用いて、①「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価するとともに（下記第４章第２）、②「震源を特定せず策定する地震動」も評価し（同章第３）、これらの評価結果を総合することによって、本件発電所の基準地震動を策定している（同章第４）。

このうち、上記①「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価は、（i）「応答スペクトルに基づく地震動評価」（同章第２の２）と（ii）「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（同章第２の３）に分けられるが、入倉・三宅氏は、（ii）の評価において設定する様々な震源断層パラメータの１つである「地震モーメント（ M_0 ）」（地震の規模を表す指標）を、「震源断層面積（ S ）」から導くために用いているものである。

第2章 地震動評価手法の発展等と本件発電所の基準地震動

第1 はじめに

地質学、地震学、地震工学等の分野における調査研究は従来から不断に行われており³、本件発電所の建設時においても、既に、特定の地点に到来し得る地震動の評価、すなわち基準地震動の策定に関して、一定の方法が確立されていたところである。

さらに、本件発電所の建設以降も、これらの研究分野において新たな知見が蓄積され、そのような新たな知見や技術の進歩等をもとに、震源となる活断層⁴の調査手法や地震動評価⁵の手法等がより一層高度化されるなどしている。特に、平成7年（1995年）兵庫県南部地震（内陸地殻内地震・マグニチュード7.3）

（以下、「兵庫県南部地震」という）は、原子炉施設に特段の影響を及ぼしたものではなかった⁶が、関連する調査研究の成果等を通じて、断層の活動様式、地震動に影響を与える特性、構造物の耐震性等に係る知見が得られることとなり、同地震を契機として、地震動評価手法が、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮するよう発展した。

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

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

³ 我が国では、明治24年（1891年）濃尾地震をはじめとして、100年以上の間、地震災害を記録し、被害を軽減するために研究が続けられている（乙40、「地震の揺れを科学する」ii頁）。

⁴ 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。

⁵ 地震動評価とは、震源の位置や規模等を設定して特定の地点の地震動を計算することをいう。

⁶ 兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値につき、図表35を参照。

第2 本件発電所建設時の基準地震動 S₁ 及び基準地震動 S₂ の策定

債務者は、本件発電所の建設時には、本件発電所敷地周辺について、文献調査、空中写真判読⁷、現地調査等による活断層調査を実施した上で、当時の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定）（以下、「耐震設計審査指針」という）に照らし、本件発電所の耐震設計のための基準地震動として、設計用最強地震⁸を考慮して基準地震動 S₁（最大加速度 270 ガル）を、設計用限界地震⁹を考慮して⁹基準地震動 S₂（最大加速度 405 ガル）を策定した。

そして、本件発電所の「安全上重要な設備¹⁰」が、この基準地震動 S₁ に対して損傷や塑性変形¹¹せず、基準地震動 S₂ に対して機能喪失しないよう、これら基準地震動 S₁ 及び基準地震動 S₂ をもとに、余裕を持たせた設計を行った。

なお、本件発電所の「安全上重要な設備」は、上記のような基準地震動による動的地震力¹²のみならず、昭和56年改正後の建築基準法で一般の建築物に要求される基準値の3倍（建物）あるいは3.6倍（機器・配管）の静的地震力¹² に対しても損傷や塑性変形しないよう設計を行っている。一般の建築物でも、

⁷ 脚注58を参照。

⁸ 当時の耐震設計審査指針において、「設計用最強地震」については、「歴史的資料から過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震及び近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいものを想定する」と定義されており、また、「設計用限界地震」については、「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質及び地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいものを想定する」と定義されていた。

⁹ 基準地震動 S₂ の策定にあたっては、設計用限界地震の1つとして、マグニチュード6.5・震源距離10kmの直下地震も考慮していた。これは、マグニチュード6.5より小さい規模の地震では、断層が地表に現れない可能性もあり、詳細な調査を実施してもなお把握できない活断層が存在する可能性を否定しきれないことから、活断層が見つかっていない場所でもマグニチュード6.5程度の地震は起こり得るとの発想に立つての備えとして、考慮したものである。

¹⁰ 脚注45を参照。

¹¹ 脚注137を参照。

¹² 地震力とは、地震動により構造物に作用する力のことであり、時々刻々と変化する地震動に基づき求める動的地震力と、時間とともに変化しない一定の力を仮定する静的地震力とがある。

昭和 56 年改正後の建築基準法に基づいて建てられた建築物の多くは、兵庫県南部地震に際しても倒壊等を免れたと一般に言われている¹³ところであり、本件発電所の「安全上重要な設備」は、そのように昭和 56 年改正後の建築基準法が一般の建築物に要求する基準値の 3 倍または 3.6 倍の静的地震力にも耐えられる高い耐震安全性を、建設時から備えているのである。

第 3 地震動評価手法の発展と基準地震動の策定方法の高度化

1 兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の著しい発展

(1) 本件発電所が営業運転を開始した後、平成 7 年に兵庫県南部地震が発生した。同地震では、日本で初めて震源近傍で強震動¹⁴が観測され、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」が、強震動やそれによる被害に大きく影響していることが明らかになった。これによって、将来の地震における強震動を高精度で予測するためには、地域性の存在するそれらの特性を考慮した地震動評価を行う必要があることが広く認識され、地震に関し様々な調査観測が行われた。その結果、地震学や地震工学等の新たな知見が急速に蓄積された¹⁵。

ア 具体的には、兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなく、やや離れた所に「震災の帯」と呼ばれる被害の集中域が現れたメカニズムが詳細に分析された。その結果、この現象は、震源における断層破壊の進

¹³ 「平成7年阪神・淡路大震災 建築震災調査委員会 中間報告」においても、「1971年以降の建築物の被害は小さい。特に1981年以降の建築物ではピロティー建築物等の特定の特性を有する建築物以外では大きな被害はほとんどない」とされている。また、同報告では、本件発電所の主要な建屋と同じ構造である壁式鉄筋コンクリート構造の建築物について、「壁式鉄筋コンクリート構造の被害は一般に小さく、ほとんどが無被害または軽微に属する被災程度である。これは、震度7の地域についても言え、すぐ近くの建物が被災度判定上大破や倒壊であっても、壁式鉄筋コンクリート構造にはほとんど被害が見られないといった事例は数多くある」と述べられている。

¹⁴ 地震動（地盤の揺れ）のうち、特に建造物の被害に直接関与するような強い揺れのことを強震動という。

¹⁵ 乙40号証でも、「兵庫県南部地震で学んだことを生かして、日本全国での地震動の予測地図や、大規模な平野での地下構造調査などの大きなプロジェクトが推進されてきた。一〇年前とは格段に違う強い揺れについての理解が進んできている」と述べられている（乙40, iii頁）。

行方向で地震動が大きくなる指向性と地下構造による地震波の増幅（平野と山地の境界からの地震波と平野直下の岩盤からの地震波の重なり合い等）との相乗効果によることが明らかになった（乙 40, 90～92 頁）。この経験を契機に、総理府に地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」という）が設置され¹⁶、全国の地震動の観測網が充実されるとともに、活断層調査、地下構造調査等が行われた。この地震動の観測網の充実により、大きな地震が起きると精度の良い地震動が記録され、その記録の解析により震源断層の破壊過程が断層モデルとして計算されることなどにより、「震源特性」に係る知見が蓄積された。

その結果、強震動の評価を行うためには、断層の長さや幅など、断層運動の外的な要素を表す巨視的断層パラメータと同時に、震源断層面での不均質なすべり分布、すなわちアスペリティの分布のような微視的断層パラメータがより重要になることがわかってきた。これを受けて、入倉・三宅（2001）は、強震動予測の方法論として、巨視的断層パラメータ（震源断層の位置、長さ、幅、地震モーメント等）、微視的断層パラメータ（アスペリティの位置、大きさ、アスペリティ及び背景領域（アスペリティ以外の領域）の応力降下量等）等の設定方法を提案するに至った（乙 39, 859～868 頁）。この強震動予測の方法論において、本件仮処分の争点となっている入倉・三宅式は、震源断層面積（ S ）と地震モーメント（ M_0 ）の関係を表す関係式として示されている。

イ また、都市部の関東平野、濃尾平野及び大阪平野を中心に文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」による大規模な地下構造調査が行われ（本件発電所が位置する若狭湾周辺地域を含めて同プロジェクトによる地下構造調査が行われている）、各地域の「伝播特性」や「地盤の増幅特性（サイト特性）」による影響が検討された。さらには、南海トラフ

¹⁶ その後の省庁再編により、地震本部は総理府から文部科学省に移管された。

沿いの海域についても詳細な地下構造調査が行われた。

(2) これらの知見の蓄積に伴い、地震本部が中心となって、上記の入倉・三宅(2001)の強震動予測の方法論を採り入れる形で強震動予測レシピ¹⁷(最新のものとして甲8。以下、「レシピ」という)が整備されるなど、断層モデルを用いた手法¹⁸等の地震動評価に関する研究が大きく進展し、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性(サイト特性)」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮する地震動評価手法が、実務においても一般的に用いられるようになった。

なお、地震本部が中心となって整備したレシピは、多数のパラメータが、パラメータ間の関係式を用いて設定されている、一連の地震動評価手法であり、実際の地震動を精度よく再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている。そのため、一部のパラメータのみ取り上げて論じることは適切でないが、本件仮処分の争点となっている入倉・三宅式に関して言えば、同式は、同レシピのいわゆる「(ア)の方法」において、震源断層面積(S)というパラメータから地震モーメント(M_0)というパラメータを求めるための関係式として採用されている。

2 基準地震動の策定方法の高度化と耐震バックチェックの実施

(1) 耐震設計審査指針の改訂

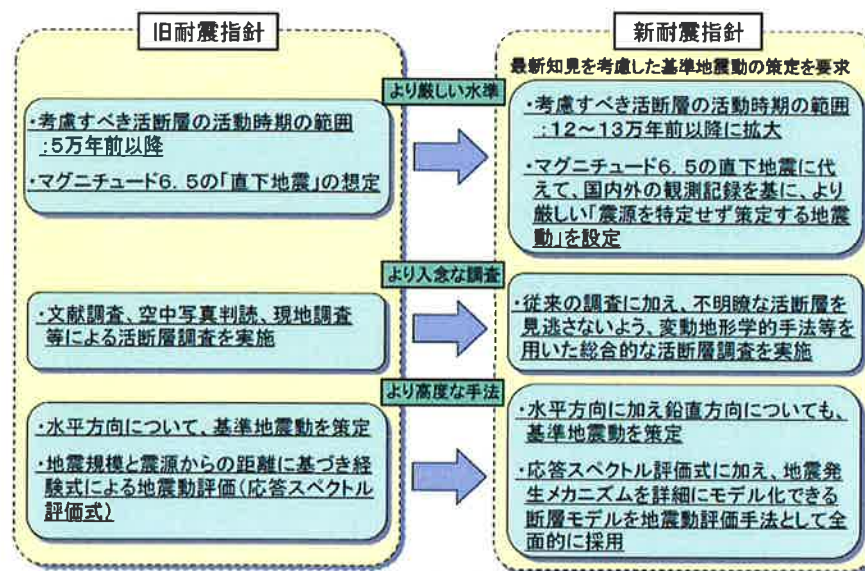
原子力発電所についても、原子力安全委員会が、平成8年度から、耐震設計審査指針に反映するべき新たな知見・技術の情報の収集と整理を実施し、平成13年には、原子力安全基準専門部会に、地質学、地震学、地震工学等

¹⁷ 強震動予測レシピとは、強震動の予測を目的として、各種調査結果に基づき震源断層の各パラメータを設定する方法を系統的にまとめたものをいう。甲8号証は、地震本部による最新の強震動予測レシピである。

¹⁸ 下記第4章第2の3を参照。

の専門家により構成された耐震指針検討分科会を設置した。そして、同分科会での約5年間にわたる審議を経て、平成18年9月に、耐震設計審査指針が大きく改訂されるに至った。

この平成18年改訂後の耐震設計審査指針（乙13，別添1。以下、「平成18年耐震設計審査指針」という）では、従来、「基準地震動 S_1 」と「基準地震動 S_2 」の2種類の基準地震動を策定することとなっていたものが「基準地震動 S_s 」に一本化され¹⁹，基準地震動の策定にあたって震源として考慮する活断層の活動時期の範囲が拡張される²⁰とともに，基準地震動の策定方法も高度化された（図表1，乙41，「耐震設計審査指針の改訂」，乙42，「新しい耐震設計審査指針」）。



原子力委員会「平成21年版 原子力白書」より

【図表1 耐震設計審査指針改訂の要点】

¹⁹ 改訂前の耐震設計審査指針では、原子力発電所の「安全上重要な設備」が、基準地震動 S_1 に対して損傷や塑性変形しないこと、基準地震動 S_2 に対して機能喪失しないことが要求されていたのに対して、平成18年耐震設計審査指針では、「安全上重要な設備」が基準地震動 S_s に対して機能喪失しないこと、との要求に一本化された。

²⁰ 改訂前の耐震設計審査指針では、5万年前以降に活動したものなどとされていたが、これが後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものにまで拡張された。なお、活断層の調査手法に関しても、これまでの文献調査、空中写真判読、現地調査等に加えて、変動地形学（脚注56を参照）的な視点に基づく地形調査や地球物理学的調査手法等を用いた、より詳細で入念な、総合的な活断層調査を実施することが求められるところとなった。

基準地震動の策定方法の高度化について敷衍すると、「基準地震動 S s」は、震源を特定した「検討用地震²¹」を選定して策定される「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と国内外の観測記録をもとに策定される「震源を特定せず策定する地震動²²」とに基づいて策定されることとされた（図表 2，乙 41，6 頁）。

そして、前者，すなわち、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定における、「検討用地震」の地震動評価²³の手法も大幅に高度化され、震源断層の位置，長さ，幅及び傾斜角等を具体的に設定して、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施すること²⁴，「地震動評価に当たっては，地震発生様式，地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮すること」，さらには「基準地震動 S s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については，適切な手法を用いて考慮すること」が明記され（乙 13，別添 1，5 頁），地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特

²¹ 検討用地震とは、敷地周辺の地震発生状況や活断層の分布状況等を考慮し、地震発生様式による地震の分類（内陸地殻内地震，プレート間地震，海洋プレート内地震）を行った上で、敷地に大きな影響を与えると予想されるものとして選定される地震のことをいう。

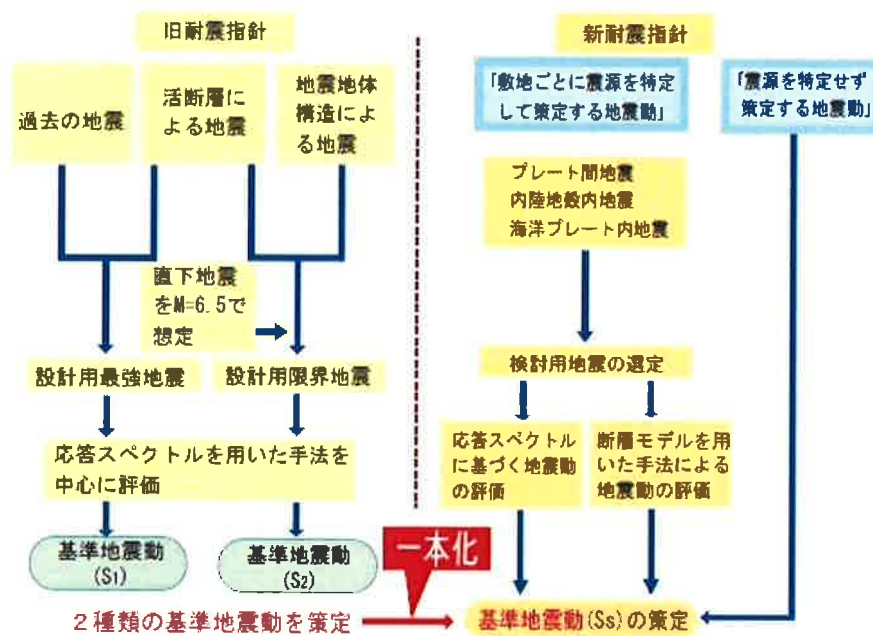
²² 活断層が見つからない場所でも地震は起こり得るとの発想に立っての備えとして、これまでは全ての原子力発電所敷地で一律にマグニチュード6.5・震源距離10kmの直下地震を想定することとされていたが、これを改め、国内外で発生した、詳細な調査を行っても活断層の存在を事前に把握できなかったと考えられる地震の震源近傍における観測記録をもとに、より厳しい「震源を特定せず策定する地震動」を設定することとされたものである。詳細については、下記第4章第3を参照。

²³ 脚注5を参照。

²⁴ 応答スペクトルに基づく地震動評価手法とは、地震が発生した時の敷地での地震動の応答スペクトルを、地震の規模（マグニチュード）と震源から敷地までの距離により経験的に求める手法をいう（下記第4章第2の2を参照）。断層モデルとは、地震時の震源における断層運動をモデル化したものをいい、断層モデルを用いた手法とは、このようなモデル化された震源の特性に加えて、震源から敷地までの地震波の伝播特性と敷地地盤の増幅特性（サイト特性）についてもそれぞれ考慮して、数値的に地震動を評価する方法をいう（下記第4章第2の3を参照）。応答スペクトルに基づく地震動評価手法は、震源を「点」として設定するものであるのに対して、断層モデルを用いた手法は、震源断層を「面」的に捉え、震源断層面の面積や傾斜角，震源断層面における破壊開始点の位置等のパラメータを詳細にモデル化して設定することにより、敷地における地震動評価を行う手法である。

性)」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮することとされた。

加えて、鉛直方向の地震動評価について、これまでは一律、水平方向の 2 分の 1 を静的な力として考慮していたが、鉛直方向についても、水平方向と同様に時々刻々の地震動として評価することとされた。



【図表 2 基準地震動策定方法の比較】

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

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

かかる指示を受けて、債務者は、本件発電所敷地及び敷地周辺の地質調査や地下構造の評価・検討等を行った上で、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院における専門家による審議結果も踏まえながら、新たに本件発電所の基準地震動 S_s を策定した（乙 43、「耐震設計審査指針の改訂に

伴う関西電力株式会社大飯発電所3，4号機耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価）」）。以下，概略を説明する。

- イ 本件発電所敷地に大きな影響を及ぼす可能性のある地震を想定するにあたって，まず，活断層評価年代の拡張に伴い，約12～13万年前以降の活動が否定できない，本件発電所敷地周辺における震源として考慮する活断層²⁵の存在の有無や，その規模等の情報の取得のため，既存文献の調査，変動地形学的調査，地表地質調査，海上音波探査，地球物理学的調査等を入念に実施し，本件発電所敷地及び敷地周辺の地質・地質構造²⁶の評価を行った。また，地震動評価において，「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を，地域性を踏まえて考慮するため，若狭湾周辺地域を含めて実施された文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」による大規模な地下構造調査や近隣での微動アレイ観測²⁷，地震波速度トモグラフィ解析²⁸等の現地調査結果，若狭湾周辺地域で発生した既往の地震（多数の小規模地震を含む）の震源データによる検討結果等から，本件発電所を含む若狭湾周辺地域の地盤の速度構造及び地震発生層の評価を行った。
- ウ 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については，検討用地震を選定して，その地震動評価を行った。

検討用地震の選定については，債務者は，敷地周辺の地震の発生様式や発生状況，敷地周辺の活断層の分布状況を踏まえ，過去の被害地震，活断層による地震等から，熊川断層くまがわによる地震，上林川断層かんばやしがわによる地震，及びFO-A～FO-B断層による地震を検討用地震として選定した。これら

²⁵ 平成18年耐震設計審査指針においては，「耐震設計上考慮する活断層」との名称が用いられていた。

²⁶ 地質構造とは，プレート運動や断層活動等によって生じた地層・岩石等の変形や変位をいう。

²⁷ 下記第4章第1の3（2）エ（イ）bを参照。

²⁸ 脚注79を参照。

3つの地震はいずれも内陸地殻内地震である。

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

債務者は、応答スペクトルに基づく地震動評価手法に関して、従来用いていた方法（いわゆる「大崎の方法」）に替えて、最新の地震観測記録に基づいて開発された手法であり、水平方向及び鉛直方向の地震動が評価でき、震源距離の設定に際して後述のとおり「等価震源距離²⁹」を用いることで震源断層面の広がり等も考慮できる等の利点を有する Noda et al. (2002) の方法³⁰（以下、「耐専式」という。乙 44）を用いることを基本とした。

また、平成 18 年耐震設計審査指針で全面的に導入された、断層モデルを用いた手法については、地震本部によるレシピ（最新のものとして甲 8）等を参照した。

エ 「震源を特定せず策定する地震動」については、活断層に関する詳細な地質学的調査を行っても事前に評価することが困難と考えられる内陸地殻内地震による地震動のレベルについて、加藤ほか（2004）³¹（乙 45）にお

²⁹ 等価震源距離とは、震源断層面の各部から放出される地震波のエネルギーが、特定の1点（点震源）から放出されたものと等価となる距離をいう。下記第4章第2の2（2）ア（ア）dを参照。

³⁰ 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。

³¹ 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—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—」日本地震工学会論文集第4巻第4号、46～86頁。この検討では、国内外で発生した内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査を行っても、事前に震源位置と地震規模を特定できなかったと考えられる地震を選定し、選定された地震の震源近傍の観測記録等を概ね上回るような地震動の応答スペクトルが示されている。下記第4章第3の2（1）を参照。

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

オ 本件発電所の基準地震動 S_s は、上記の評価結果に基づいて、 S_{s-1} ～ S_{s-3} の3ケースを策定した（図表3）³²。その結果、平成18年改訂前の耐震設計審査指針に照らして策定していた本件発電所の基準地震動 S_1 は最大加速度270ガル（水平方向）、基準地震動 S_2 は最大加速度405ガル（水平方向）であったのに対し、耐震バックチェックの実施に伴い新たに策定した基準地震動 S_s の最大加速度は700ガル（ S_{s-1} ・水平方向）となった。

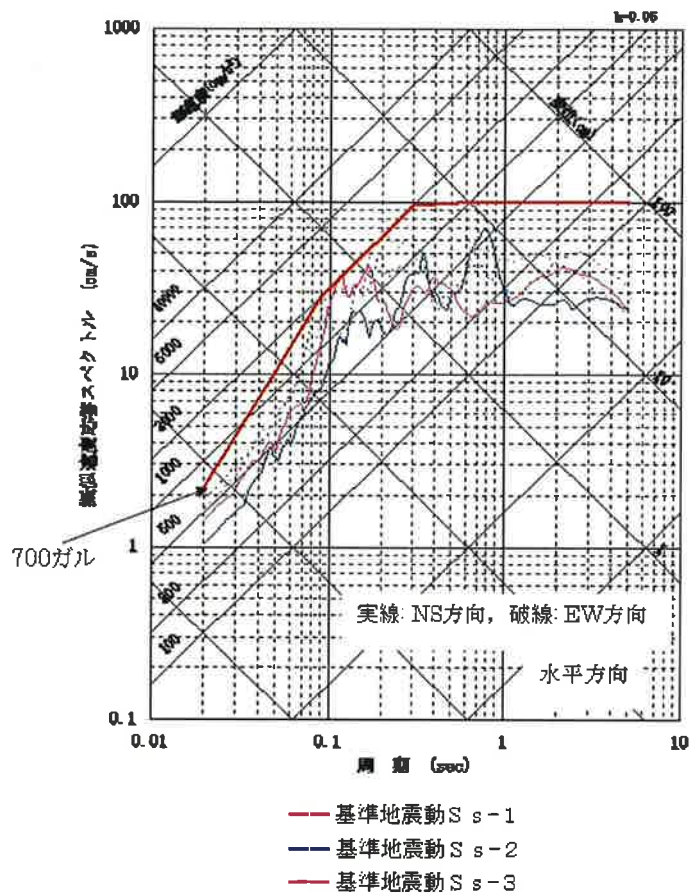
カ 以上のようにして債務者が平成18年耐震設計審査指針に照らして新たに策定した本件発電所の基準地震動 S_s については、平成22年11月29日付で原子力安全・保安院が取りまとめた評価書において妥当なものと評価され（乙43、25～26頁、41～42頁）、原子力安全委員会もこの原子力安全・保安院による評価を適切なものとした³³。

そして、債務者は、この新たに策定した基準地震動 S_s （ S_{s-1} ～ S_{s-3} ）に対して、本件発電所の「安全上重要な設備」がいずれも耐震安全性を有していることを確認済みである³⁴。

³² 基準地震動 S_{s-2} 及び S_{s-3} は、最大加速度は基準地震動 S_{s-1} の700ガルを下回るが、ある周期で S_{s-1} の応答スペクトルを上回ることから、基準地震動として採用したものである。

³³ 平成22年12月6日付「『耐震設計審査指針の改訂に伴う関西電力株式会社美浜発電所1号機、高浜発電所3、4号機、大飯発電所3、4号機耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価）』に対する見解」

³⁴ なお、債務者は、本件発電所の「安全上重要な設備」につき、単に基準地震動 S_s に対する耐震安全性を確認するにとどまらず、信頼性をより一層向上させる観点から、様々な耐震裕度向上工事を適宜実施している。



【図表3 耐震バックチェックの実施に伴い策定した本件発電所の
基準地震動 S s - 1 ~ S s - 3 の応答スペクトル（水平方向）】

(3) 兵庫県南部地震以降に発生した地震で得られた知見の反映

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

そして、兵庫県南部地震以降に発生した、平成17年8月16日の宮城県沖の地震（プレート間地震・マグニチュード7.2）（以下、「宮城県沖の地震」という）、平成19年（2007年）能登半島地震（内陸地殻内地震・マグニチュード6.9）（以下、「能登半島地震」という）、及び平成19年

(2007 年)新潟県中越沖地震(内陸地殻内地震・マグニチュード 6.8)
(以下、「新潟県中越沖地震」という)について、地震観測記録等の詳細な分析や地下構造調査等が行われ、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性(サイト特性)」について、他の地域よりも大きい地震動をもたらす地域性に係る知見等が得られた。

イ 「震源特性」については、これらの地震のいずれにおいても、敷地の地震動の強さに直接影響する短周期レベル³⁵について、その地震発生様式の地震の平均より大きいという地域的な特徴が見られた(宮城県沖の地震について乙 46, 「プレスリリース『女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価に係る報告について』」, 乙 47, 「東北電力株式会社女川原子力発電所において宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価及び同発電所の耐震安全性評価に関する検討結果について」, 能登半島地震について乙 48, 「志賀原子力発電所新耐震指針に照らした耐震安全性評価(基準地震動 S s の策定について)」31 頁, 新潟県中越沖地震について乙 49, 「柏崎刈羽原子力発電所における平成 19 年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書(概要)」, 乙 50, 「新潟県中越沖地震を踏まえ原子力発電所等の耐震安全性に反映すべき事項に関する原子力安全委員会への報告及び原子力事業者等への通知について」)。

ウ 地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性(サイト特性)」については、その地域の地下構造の特性として、能登半島地震では敷地の増幅特性等により特定周期帯(周期 0.6 秒付近)の地震動の増幅が生じたと見られること、新潟県中越沖地震では深部地盤における不整形性(深部の堆積層の厚さと傾き)や浅部地盤における褶曲構造の存在により顕著な地震動の増幅が生じたこと(乙 49, 乙 50)が、それぞれ分析され

³⁵ 下記第 4 章第 2 の 3 (2) ウ (ア) c を参照。

た。

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

例えば、宮城県沖の地震では、「震源特性」について、上記で述べたとおり、宮城県沖のプレート間地震の短周期レベルは他の地域と比べて大きいという地域的な特徴が明らかとなった。そこで、東北電力株式会社女川原子力発電所では、同地震の断層モデルを活用するなどして、その特徴性を考慮した地震動評価が行われ、同発電所の基準地震動 S_s が策定された。そして、その後発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地方太平洋沖地震」という）は極めて大規模な地震であったが、同地震の際に観測された同発電所敷地の地震動は、その基準地震動 S_s に対し、一部の周期帯でその応答スペクトルを上回ったものの全体としては「ほぼ同等」のレベルと評価されており（乙 51、「女川原子力発電所における平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析および津波の調査結果に係わる報告書（概要）」）、東北電力株式会社が行った施設の点検及び地震応答解析による詳細検討によっても同発電所の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことが確認されている。

オ なお、本件発電所に関しては、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」について、他の地域よりも大きい地震動をもたらす地域性が存する可能性を示すデータは特段得られていないところであるが、上記の地震で得られた地域的な特徴に係る知見のうち、他の地域についても当てはまる可能性が否定しきれないものについては、必要に応じてその知見を

反映している。

例えば、新潟県中越沖地震時に、柏崎刈羽原子力発電所敷地において地震動の増幅が生じた要因のうち、同地震の震源特性が同規模の内陸地殻内地震と比べて 1.5 倍程度大きめの地震動を与える地震であったことは、他の地域の内陸地殻内地震についても当てはまる可能性が否定できないことから、原子力安全・保安院の指示（乙 50）に基づき、耐震バックチェックの実施に伴う本件発電所の基準地震動 S_s の策定においても、短周期の地震動レベルを基本ケースに対して 1.5 倍したケースも考慮するなど、その知見を既に反映しているところである。

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

1 「新規制基準」の施行

上記のとおり、耐震設計審査指針の改訂を受けた耐震バックチェックの実施に伴い、債務者は、本件発電所の基準地震動 S_s ($S_{s-1} \sim S_{s-3}$, 最大加速度は S_{s-1} (水平方向) の 700 ガル) を新たに策定し、本件発電所の「安全上重要な設備」がこの基準地震動 S_s に対して耐震安全性を有していることを確認したが、その後、平成 23 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震（プレート間地震・マグニチュード 9.0³⁶）が発生した。

東北地方太平洋沖地震は、北米プレートとその下に沈み込む太平洋プレートの境界部において、地震本部が震源として想定していた複数の領域が、短時間のうちに連動して破壊が生じたものであるとされている³⁷。この東北地方太平

³⁶ 地震の規模を表すマグニチュード (M) には、気象庁マグニチュード、モーメントマグニチュード等、いくつかの種類があり、同じ地震でも異なった値になることがある。本書面で記載しているマグニチュードの値は、特に断らない限り、気象庁マグニチュードであるが、この東北地方太平洋沖地震のマグニチュード 9.0 という値は、モーメントマグニチュードである。

³⁷ もともと地質構造的には一連のものであるプレート境界を、各領域における過去の地震発生状況等の違いから、複数の領域に分けて、その領域ごとに震源として想定していたところ、東北地方太平洋

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

この新規制基準においては、兵庫県南部地震を契機に発展してきた、地震動に影響を与える「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮する、という地震動評価の基本的な考え方は、平成18年耐震設計審査指針から変更されていない³⁸。しかしながら、複数の想定震源領域が連動した東北地方太平洋沖地震を踏まえて、プレート間地震及び海洋プレート内地震に関して「国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ・・・震源領域の設定を行うこと」と定められたり（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項2号③、乙9、129頁）、地震動評価における、地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」の考慮に関わる記載が充実したり³⁹するなど、要求水準が高度化し、より詳細な調査や確認等が求められるところとなった。

沖地震では、岩手県沖から茨城県沖にまで至る、それら複数の領域が連動して破壊が生じたものとされている。

³⁸ 新規制基準においても、「基準地震動は、『敷地ごとに震源を特定して策定する地震動』及び『震源を特定せず策定する地震動』について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定すること」（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項1号、乙9、128頁）、『敷地ごとに震源を特定して策定する地震動』は、・・・敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を複数選定し、選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定すること」（同項2号、同128頁）などとされている。

³⁹ 新規制基準では、『敷地ごとに震源を特定して策定する地震動』及び『震源を特定せず策定する地震動』の地震動評価においては、適用する評価手法に必要となる特性データに留意の上、地震波の伝播特性に係る次に示す事項を考慮すること」と定められており、その内容として、「敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、岩相・岩質の不均一性並びに地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること」等が定められている（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項4号、乙9、131頁）。

2 本件発電所の新たな基準地震動の策定

そこで、債務者は、本件発電所敷地及び敷地周辺の地下構造に係る追加調査等を実施し、その調査結果や同委員会の審査における議論も踏まえ、本件発電所の基準地震動を、より保守的で厳しいものとなるように見直し、不確かさの考慮についても新たなケースを追加するなどして、改めて本件発電所の基準地震動として $S_{s-1} \sim S_{s-19}$ （最大加速度は、水平方向が基準地震動 S_{s-4} の856ガル、鉛直方向が基準地震動 S_{s-14} の613ガル）を策定した。

この本件発電所の新たな基準地震動の策定については、次章以降で詳述する。

第3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 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）。

2 なお、上記第2章で述べたとおり、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、本件発電所の建設時から一定の方法が確立されていたところ、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。

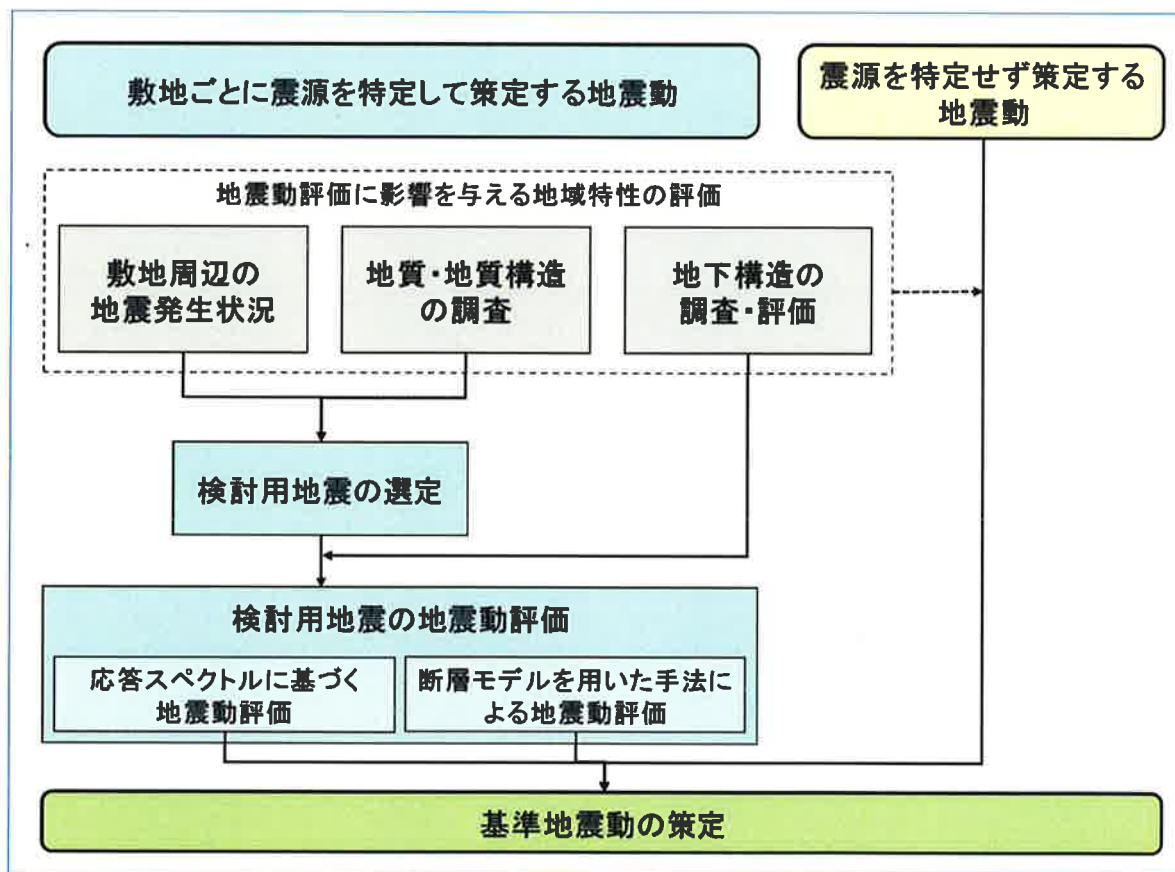
そして、福島第一原子力発電所事故を機に、国会・政府等の事故調査委員会の指摘事項、国際原子力機関（IAEA）や諸外国の規制内容等を踏まえて原子力規制委員会が策定した新規制基準では、このような知見の蓄積や手法の高度化が反映されており、債務者も、それらを踏まえて、本件発電所の地震に対する安全性を確認したものである。

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。

その手順は、概要次のとおりである（図表4）。



【図表4 基準地震動の策定手順】

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⁴⁰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9，128～131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5，添付書類六，6-5-30頁）とともに、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6-5-31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、「FO-A～FO-B～熊川断層による地震」及び「上林川断層による地震」を検討用地震として選定した⁴¹。

（以上について、下記第4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、本件発電所敷地及び敷地周

⁴⁰ 地震発生様式については、別紙1の2及び3（1）を参照。

⁴¹ 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。

辺の地下構造の調査・評価結果（下記第4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（同第2の2及び3）。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4）。（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9，128～131頁）

ア 「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」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⁴²）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。

債務者は、検討用地震のうち、上林川断層による地震については、距離減衰式として、Noda et al. (2002)の方法（耐専式。乙44）を用いた⁴³。一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震については、耐専式を適用せず、耐専式以外の各種の距離減衰式により応答スペクトルを求めた上で、下記イの「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性を検討するために用いるものとした。

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、

⁴² 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。

⁴³ 下記第4章第2の2（2）ア（ア）を参照。

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、文部科学省の地震本部によるレシピ（最新のものとして甲8）等を参照するなどして、各検討用地震につき、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。

本件仮処分において、債権者が島崎邦彦氏（以下、「島崎氏」という）の証言を引用しつつ、問題視しているのは、この「断層モデルを用いた手法による地震動評価」である。

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、それでもなお起こりうる「不確かさ」を考慮して、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。

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FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動するものとし、また、強震動を生起するアスペリティ⁴⁴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。

⁴⁴ 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。

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」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9，130～131頁）。

債務者は、加藤ほか（2004）（乙45）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10。以下、「地震ガイド」という）において、観測記録の収集対象となる内陸地殻内地震（震源と活断層を関連づけることが困難な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4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9，128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（ $S_s - 1 \sim S_s - 19$ ）を策定した（下記第4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。

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9，10～11頁，122頁，124～125頁）である「安全上重要な設備」⁴⁵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9，11頁，131～133頁）。また、重大事故等対処施設（同規則2条2項11号，乙9，5頁）についても、耐震重要施設に係る扱いに準じ⁴⁶，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。

⁴⁵ 債務者が用いている「安全上重要な設備」という用語は，新規制基準を構成する法令等に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5章第1の3で述べる。

⁴⁶ 設置許可基準規則39条（乙9，82～83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（同条1項1号及び3号，乙9，82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合計約1200箇所にあつた耐震補強工事を実施した。

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）とすることができる（①の余裕）。

また，耐震安全上の余裕として，このような①の余裕に加えて，②評価基準値（許容値）自体が，実際に機器等が機能喪失する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に存在することについては，実証試験の結果や，新潟県中越沖地震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5章で述べる）

第4 原子力規制委員会による審査等

上記のとおり、債務者は、新規制基準の施行に伴い、新たな基準地震動を策定し、全ての耐震重要施設について、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た。

また、本件発電所の新規制基準への適合性に関しては、以下のとおり原子力規制委員会による評価・審査を経ている。

- 1 債務者は、平成25年7月、新規制基準の施行を受けて、原子力規制委員会に対し、本件発電所に係る原子炉設置変更許可等の申請を行い、以降、同委員会の審査会合において、新規制基準への適合性について審査が行われた。
- 2 この審査において、本件発電所の基準地震動に関し、債務者が原子力規制委員会の委員等から受けたコメントに対する回答を行ったところ、平成26年10月29日の第153回審査会合において、石渡明委員から、「今日は大飯発電所の地震動評価ということでやってきたわけですが、今回のコメントの回答につきましては、一応、必要な検討がなされて回答はされているというふうに思います」との発言があり（乙52、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第153回」23頁）、本件発電所の基準地震動が審査会合において概ね了承された。
- 3 その後、原子力規制委員会は、島崎氏からの指摘を受けて本件発電所の基準地震動を再検討した結果、平成28年7月27日の原子力規制委員会第23回会議において、島崎氏の見解にはそもそも根拠がなく、本件発電所の基準地震動の策定方法は合理的であることから、審査会合において了承された本件発電所の基準地震動を見直す必要はないと判断した（乙53、「平成28年度原子力規制委員会第23回会議議事録」20頁）。
- 4 このような経過を経て、原子力規制委員会は、本件発電所の発電用原子炉設置変更許可申請に対する審査書において、本件発電所の新たな基準地震動について新規制基準への適合性を認める旨を明記し、本件発電所に係る原子炉設置

変更許可を行うに至った（乙38の1及び2）。

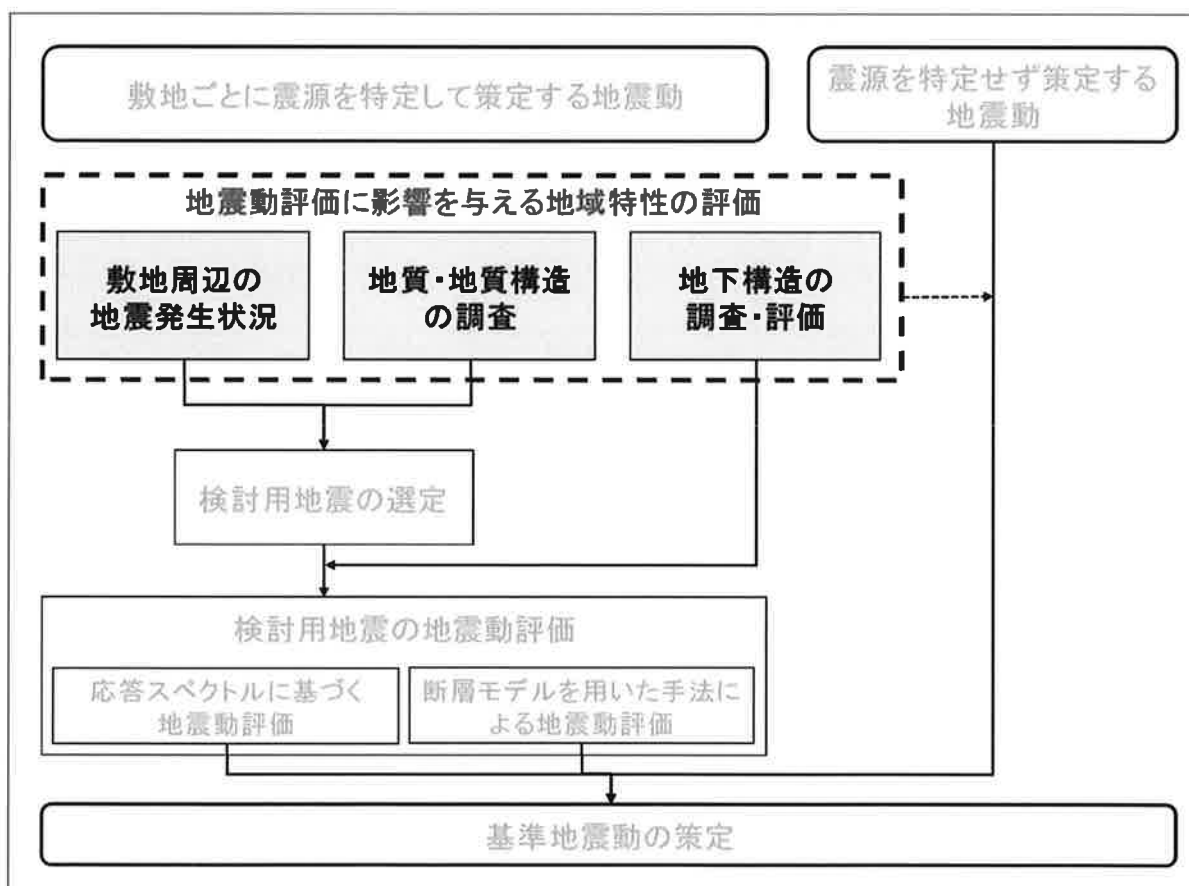
また、新たな基準地震動に対する耐震安全性についても、本件発電所の耐震設計方針に関し、原子力規制委員会により、新規制基準への適合性が認められ（乙38の1及び2）、詳細な耐震設計に関しては、工事計画認可申請に対する審査を経て、平成29年8月25日に工事計画の認可を受けたものである（乙54の1、「大飯発電所第3号機の工事の計画の認可について」、乙54の2、「大飯発電所第4号機の工事の計画の認可について」）。

第4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、前章第2で述べたとおりである。

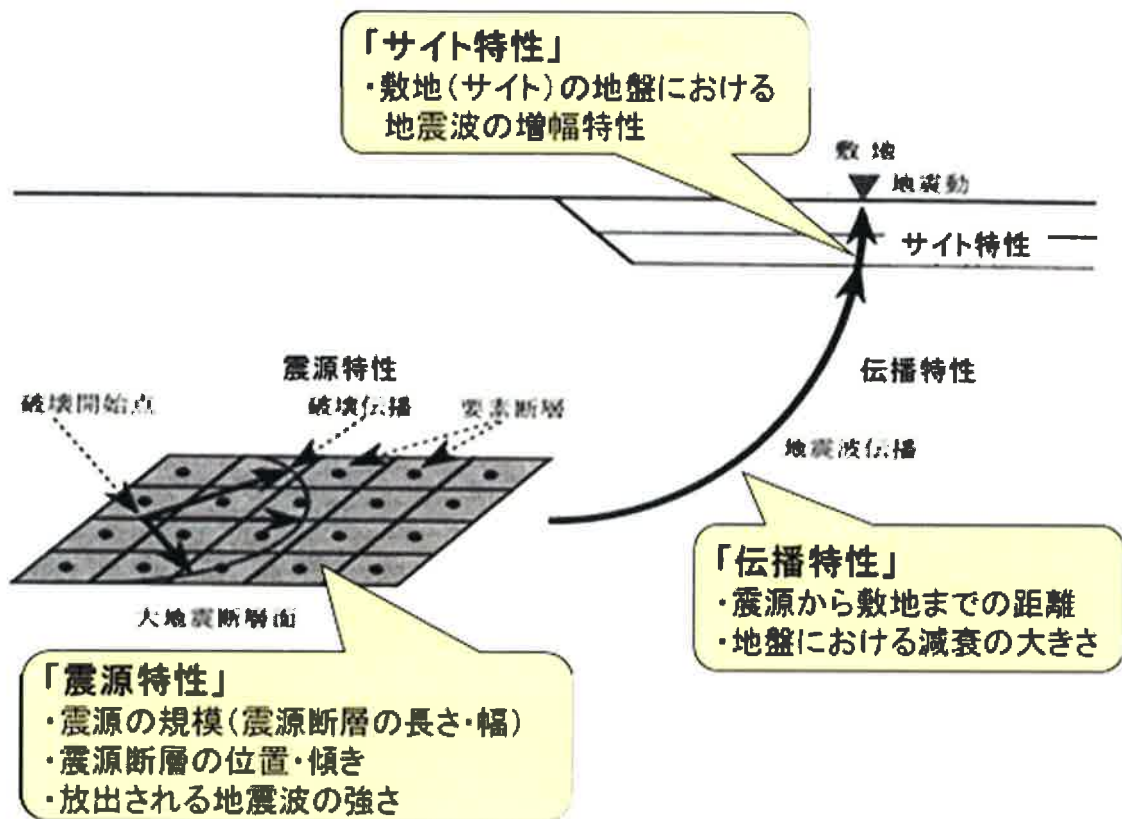
本章では、地震に対する安全性の確認の手順に沿って、地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価（下記第1）、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（下記第2）、「震源を特定せず策定する地震動」の評価（下記第3）について説明した上で、それらを基に策定された基準地震動について説明する（下記第4）。

第1 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価



原子力発電所敷地に到来し得る地震動の評価を適切に行うにあたっては、当該地点の地域的な特性を踏まえることが基礎となる。

具体的には、地震動は、①震源の規模、震源断層の位置・傾き、地震波の強さ等の、震源に関する特徴（震源特性）、②地震波の地中での伝わり方に関する特徴（伝播特性）、③地盤の硬さ等の、地震波の増幅に関する特徴（地盤の増幅特性（サイト特性））という地域によって異なる特性の影響を受けるため、地震動の評価にあたっては、①ないし③の特性を十分に考慮することが重要となる（図表5。乙55、「強震動の基礎 ウェブテキスト2000版」、乙56、「陳述書」11～13頁）。



【図表5 地震動評価において考慮する特性】

また、「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、検討用地震の候補を抽出した（下記

1 及び 2)。

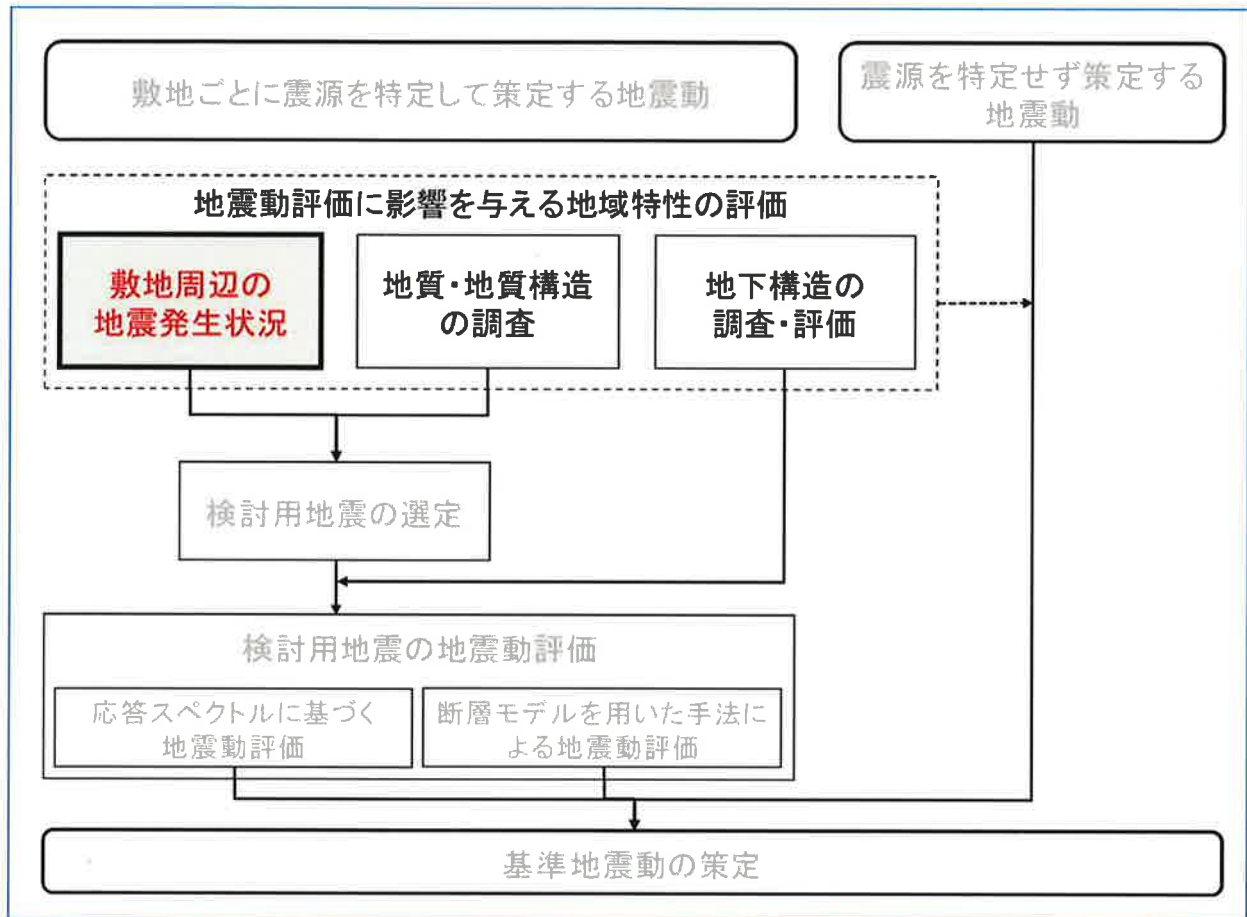
このほか、債務者は、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、本件発電所敷地周辺の地域性を把握するための詳細な調査・評価を行った（下記 3）。

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、上記基準地震動の策定手順の図における「地質・地質構造の調査」は、下記 2（活断層の分布状況の調査・評価）及び下記 3（地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価）のうち断層の位置・長さ（3（2）イ（ア））等に概ね対応する。

また、同図における「地下構造の調査・評価」は、下記 3 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9，129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、地震規模等について取りまとめた資料である、日本被害地震総覧⁴⁷、気象庁地震カタログ⁴⁸、宇津カタログ（1982）⁴⁹等の文献から、本件発電所か

⁴⁷ 宇佐美龍夫ほか「日本被害地震総覧599-2012」東京大学出版会

⁴⁸ 気象庁「地震年報2011年版」

⁴⁹ 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集報Vol. 57, 401～463頁

らの震央距離⁵⁰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したと考えられる（敷地において震度V⁵¹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6。乙5，添付書類六，6-5-30頁）。

（以上について、乙5，添付書類六，6-5-1～6-5-2頁，6-5-5頁，6-5-26～6-5-30頁，6-5-33頁，6-5-54頁，6-5-56頁，乙57，「大飯発電所 地震動評価について」2～5頁）

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

【図表6 敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の被害地震】

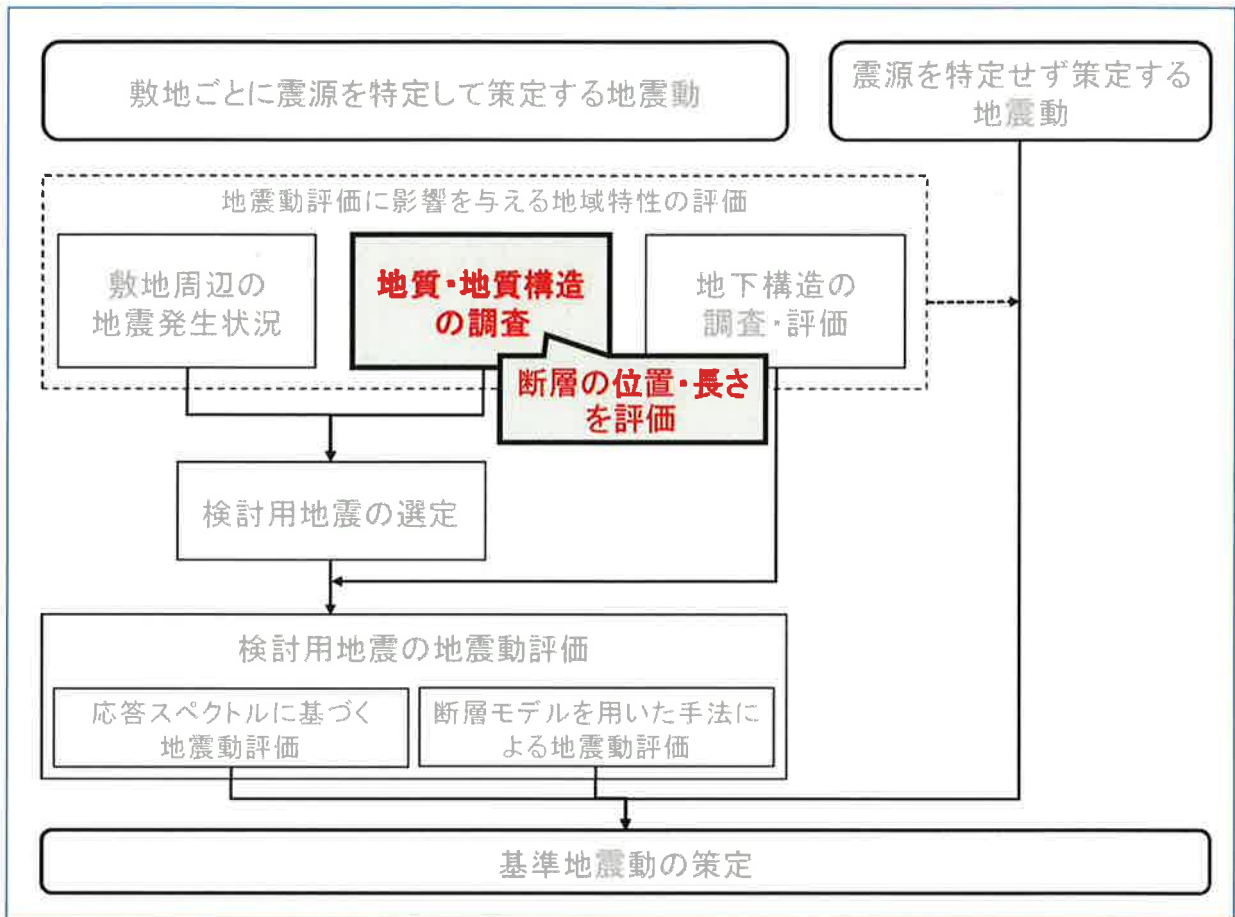
(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が実施し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38の2，15～16頁）。

⁵⁰ 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。

⁵¹ 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。

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（下記（2）ウ、エ及び（3））。

（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9、122～123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9，129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9，131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9，130頁）。

（2）債務者による調査・評価

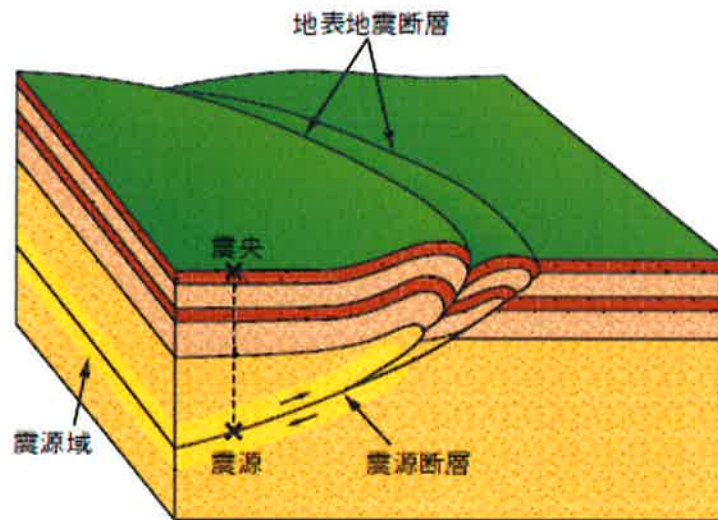
ア 震源断層と地表地震断層

（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3章第2の1（1）の脚注41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。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7）。

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1の脚注4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（約12～13万年前以降）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7 震源断層と地表地震断層】

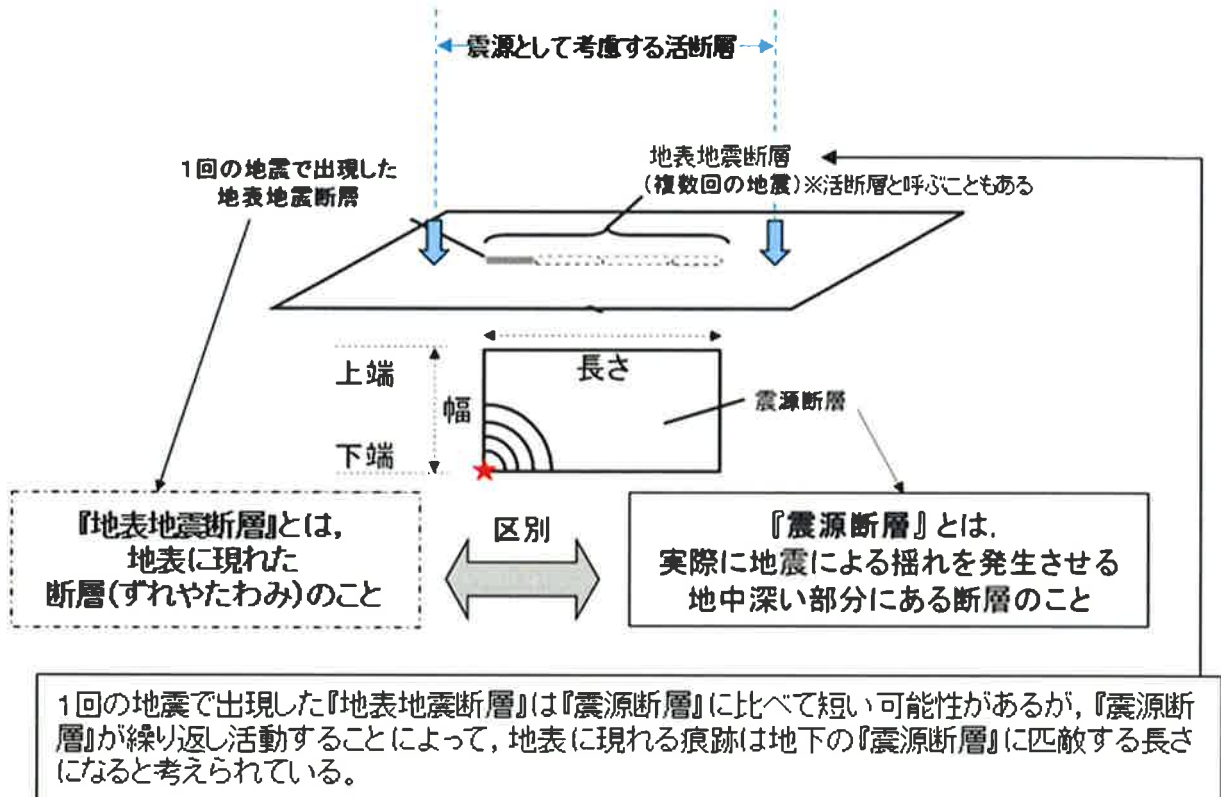
（イ）上記のとおり，震源断層は地下の深い部分にあるため，その位置や長さを直接調査することはできない。

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8）。

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8 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）⁵²（乙58，「陳述書」添付資料2）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

⁵² 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

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⁵³。

(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

⁵³ 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58，添付資料2，4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，リーデルせん断（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59，「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。

（以上アについて，乙58，10～13頁）

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）この点，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（乙58，14頁）。両地域の地域性に関して，岡田（2002）⁵⁴（乙58，添付資料3）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58，添付資料3，30頁右段，10），1～6行目）している⁵⁵と指摘している。また，

⁵⁴ 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

⁵⁵ 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

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FO-A～FO-B断層（下記（3）ア）の場合、図表21から読み取ることができる。すなわち、後期更新世以降（約12～13万年前以降）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58、14～16頁、乙60、「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」）

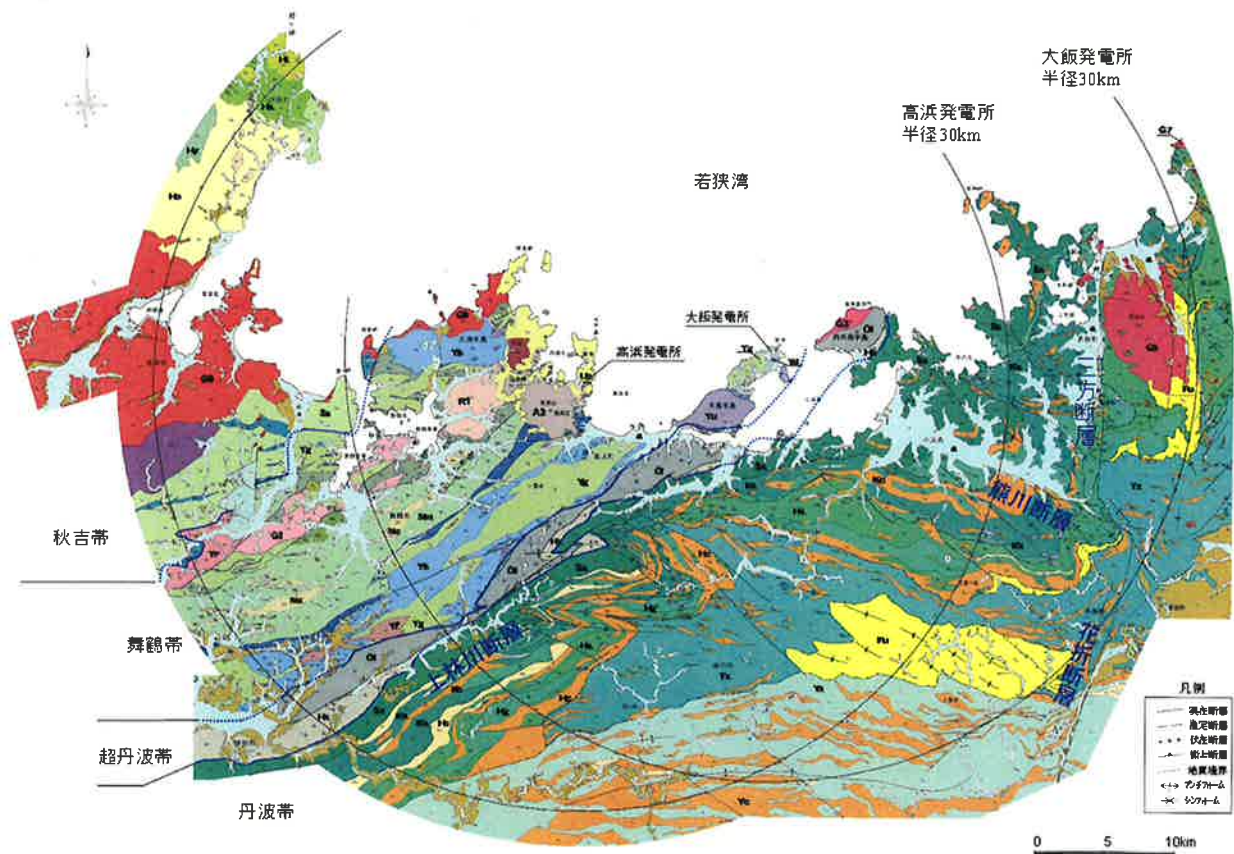
（ウ）ところで、地下深くに位置する震源断層がずれても、地表付近の地層が軟らかければ、地下で生じたずれは、その地層で複数の小さいずれに

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）は大きくなり、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58、添付資料3、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としている（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。

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9）。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。

（以上について、乙58, 17頁）



【図表9 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8内、下向き太い水色の矢印が指している箇所)を特定し、そこまで

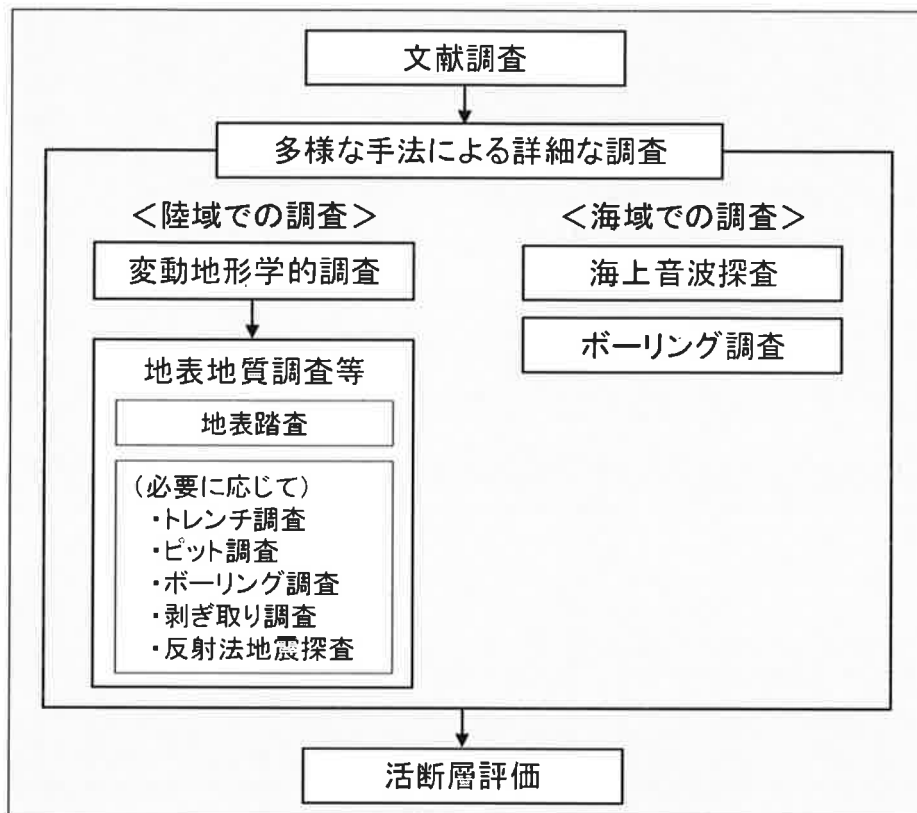
活断層を延長することで、活断層の長さを保守的に評価している。

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（3）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、FO-A～FO-B断層と熊川断層との連動の可能性について、下記（3）ウを参照）（乙58, 17～18頁）。

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10。乙5, 添付書類六, 乙58, 19～31頁, 乙61, 「原子力発電所の耐震安全性」5～7頁, 乙62, 「大飯発電所 地盤（敷地周辺, 敷地近傍の地質・地質構造）について」等）。



【図表 1 0 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、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5、添付書類六、6-3-2～6-3-3頁、6-5-3頁）。

上記の文献においては、国や大学等の信頼できる機関による多くの調査・研究が参照されるとともに、全国の空中写真や海上音波探査（下記（イ）bで説明する）の記録等に基づいて、統一的な基準の下に活断層

が抽出されるなどしている。

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、本件発電所敷地周辺の陸域及び海域で多様な手法による調査を行った。

敷地の近くで起き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網羅的に活断層を把握した（乙5，添付書類六，6-3-3～6-3-4頁）。

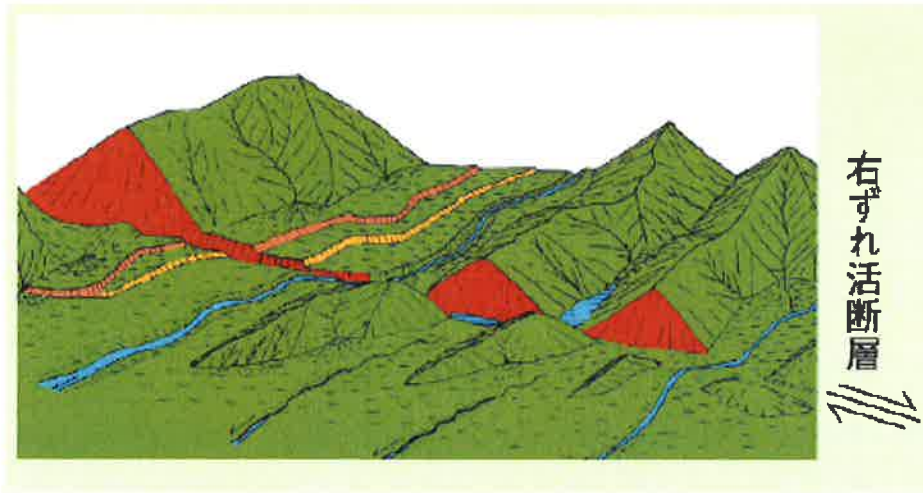
以下、陸域（下記 a）と海域（下記 b）に分けて説明する。

a 陸域における調査

(a) 陸域では、まず、変動地形学的調査⁵⁶を実施し、敷地周辺の変動地形・リニアメント⁵⁷（図表 1 1）を抽出した。これは、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・リニアメントが形成されると考えられていることから（上記ア）、活断層の有無やその位置等を把握するために行ったものである。

⁵⁶ 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（地形学の一つ）をいう（乙58，24頁）。

⁵⁷ 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つである（乙58，24頁）。



(乙61, 6頁より)

【図表 1 1 リニアメントの例】

具体的には、債務者及び国土地理院が撮影した空中写真を用いた空中写真判読（図表 1 2）⁵⁸を、本件発電所から半径30km以内の全域で網羅的に行って変動地形・リニアメントの可能性のある地形を抽出し、必要に応じて航空レーザー測量⁵⁹等による詳細な検討も行った。

空中写真判読においては、主に債務者撮影の縮尺2万分の1の空中写真を用い、必要に応じて、国土地理院発行の空中写真（縮尺1万分の1、2万分の1及び4万分の1）を併用した。そして、社団法人土木学会原子力土木委員会編（1999）⁶⁰及び井上ほか（2002）⁶¹の判読基準を参考に敷地周辺陸域の地質・地質構造を考慮して作成した変動地

⁵⁸ 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（乙58, 25頁）。

⁵⁹ 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（乙58, 25頁）。

⁶⁰ 社団法人土木学会原子力土木委員会編「原子力発電所の立地多様化技術（追補版）」

⁶¹ 井上大榮ほか「2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査」地震第2輯, Vol. 54, No. 4, 557-573 頁

形・リニアメント判読基準を用いて、変動地形・リニアメントの可能性のある地形を、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。



(文部科学省ウェブサイトより)

【図表 1 2 空中写真判読】

(b) 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された地形については、さらに地表地質調査等を実施した。稠密な地表踏査を行い、さらにトレンチ調査⁶² (図表 1 3)、ピット調査⁶³、ボーリング調査⁶⁴ (図表 1 4)、剥ぎ取り調査⁶⁵、反射法地震探査⁶⁶といった多様な手法も用いて、より精度の高い、詳細な調査を実施した。

⁶² 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 (乙58, 27頁)。

⁶³ 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 (乙58, 27頁)。

⁶⁴ 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 (乙58, 27頁)。

⁶⁵ 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 (乙58, 27頁)。

⁶⁶ 反射法地震探査については、下記 3 (2) エ (ア) c を参照 (乙58, 27頁)。



(乙61, 7頁より)

【図表 1 3 トレンチ調査】



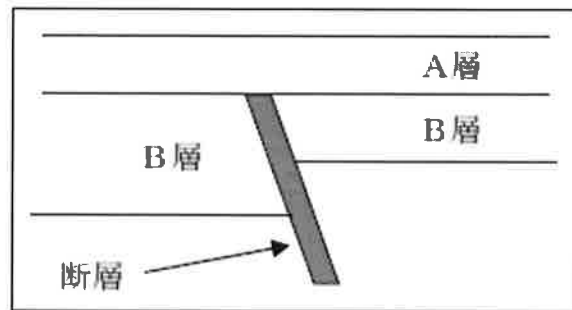
(文部科学省ウェブサイトより)

【図表 1 4 ボーリング調査】

(c) 債務者は、そ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た。

これは、上載地層法と呼ばれ、断層を覆っている地層のうち、断層の活動による影響を受けている地層と受けていない地層の年代から活動時期を推定する方法である。例えば、図表 1 5 のような地層の場合、断層はB層に変位を与えているが、A層には変位を与えて

いないことから、断層が最後に活動した時期は、B層の堆積以降、A層の堆積よりも前の時期であると推定される。この場合、B層が後期更新世以降に堆積した地層であれば、断層も後期更新世以降に活動したことになり、「震源として考慮する活断層」と評価されることになる。



【図表 1 5 上載地層法のイメージ】

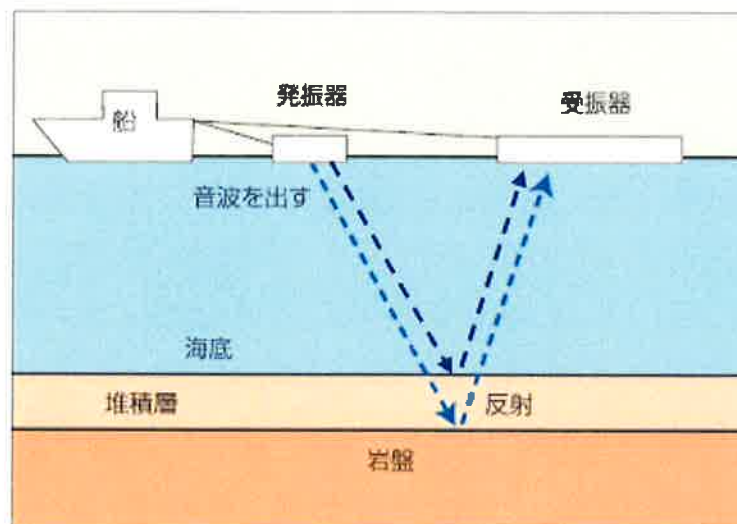
(d) そして、債務者は、地表地質調査等において、上記のような変位・変形の有無を地表近くで直接確認できる場合は、トレンチ調査、ピット調査、剥ぎ取り調査を、後期更新世以降の地層が堆積層に厚く覆われているなどして変位・変形の有無を地表近くで直接確認できない場合には反射法地震探査を、活断層の活動性を評価するために堆積層の分布状況や堆積した年代を把握したり、活断層の有無等を調べたりする場合にはボーリング調査を、それぞれ実施するなど、各種の調査手法を適切に組み合わせることで、断層の有無や活動性を詳細に把握した。

b 海域における調査

(a) 一方、海域では、債務者は、他の機関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、自らも海上音波探査及び海上ボーリング調査を行った。

前者については、地質調査所（現国立研究開発法人産業技術総合研究所）及び海上保安庁等から過去に実施した海上音波探査のデータの提供を受けて詳細な評価を行った。また、後者の債務者による調査については、本件発電所から半径5kmの海域、及び敷地に影響を与える可能性のある断層等が確認された海域について、特に詳細に地質・地質構造を把握するため、きめ細かく海上音波探査及び海上ボーリング調査を実施した。

(b) 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生し、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⁶⁷（図表16。乙58，29頁）。



【図表16 海上音波探査】

海上音波探査は、海上で測線を格子状等に複数配置することで調査範囲の地質構造をくまなく把握できること、活断層等の分布状況

⁶⁷ 具体的には、計画した線（「測線」と呼ばれる）上を、発振器及び受振器を曳航する船を航行させて調査を行い、地質断面に関するデータを取得する。また、この測線を対象の海域において格子状等に複数配置することにより、詳細に海底地形や海底下の地層の分布を確認することができる。

に応じて測線間隔の疎密を任意に設定できること、海底下の浅部の地層には高周波（数百Hz～数kHz）の音波を、深部の地層には低周波（数十Hz）の音波をと、調査深度に応じて周波数の異なる音源を使い分ける⁶⁸ことで、浅部から後期更新世より前（約12～13万年前よりもさらに古い年代）に堆積した深部の地層まで調査することができることといった特徴を有しており、得られたデータからノイズ等を適切に除去できるなど信頼性の高いデータ処理技術を用いている。

(c) 債務者は、海域での断層の有無や活動性を詳細に把握するため、これらの調査においても、陸域と同様に、上載地層法（上記 a (c) の図表 15 を参照）を用いて、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の有無を確認した。

具体的には、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た上で海上音波探査を行い、後期更新世以降の地層における断層活動による変位・変形の有無を確認した。

海上音波探査では、探査による記録（一例を図表 17 に示す。これは乙62号証171頁の右下の図と同じものである）で現れた反射面（同図の太い線）との対比を行うことで、上からA層⁶⁹、B層⁷⁰、C層⁷¹、R層⁷²に区分する（同図のように、B層上面、C層上面、R層上面をそれぞれ水色、橙色、黄土色の線で色分けする）。そして、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

⁶⁸ 高周波の音波は、地層の状況を詳細に把握できるが、海底下でのエネルギーの減衰が大きいいため調査深度が限られる。一方、低周波の音波は、減衰しにくいいため深部の調査に適している。

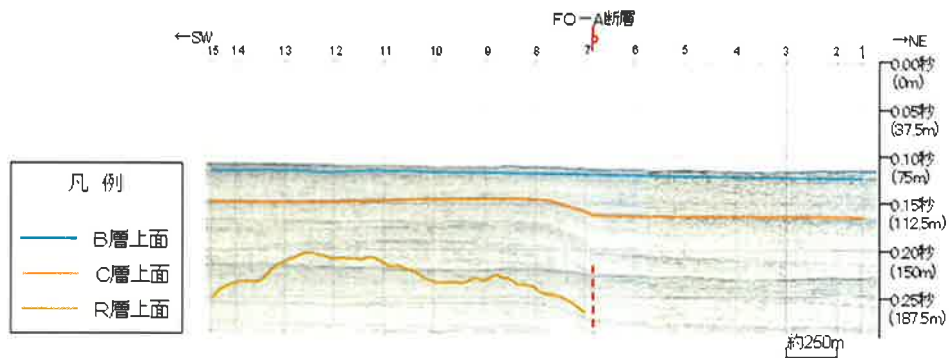
⁶⁹ 完新世（現在から約1万年前まで）に堆積したと考えられる地層を指す。

⁷⁰ 後期更新世（約1万年前から約12～13万年前まで）に堆積したと考えられる地層を指す。

⁷¹ 後期更新世より前（約12～13万年前より前）に堆積したと考えられる地層を指す。

⁷² 後期更新世より前の岩盤等を指す。

地層（同図の橙色の線）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場合には，活断層がないと評価され，段差がある場合には，活断層が存在する可能性があるとして評価される。海域において後期更新世以降の活動を否定できない断層，すなわち「震源として考慮する活断層」を適切に評価するためには，海上音波探査によって，この橙色の線で示される反射面を捉え，段差の有無を調査することが重要となる。



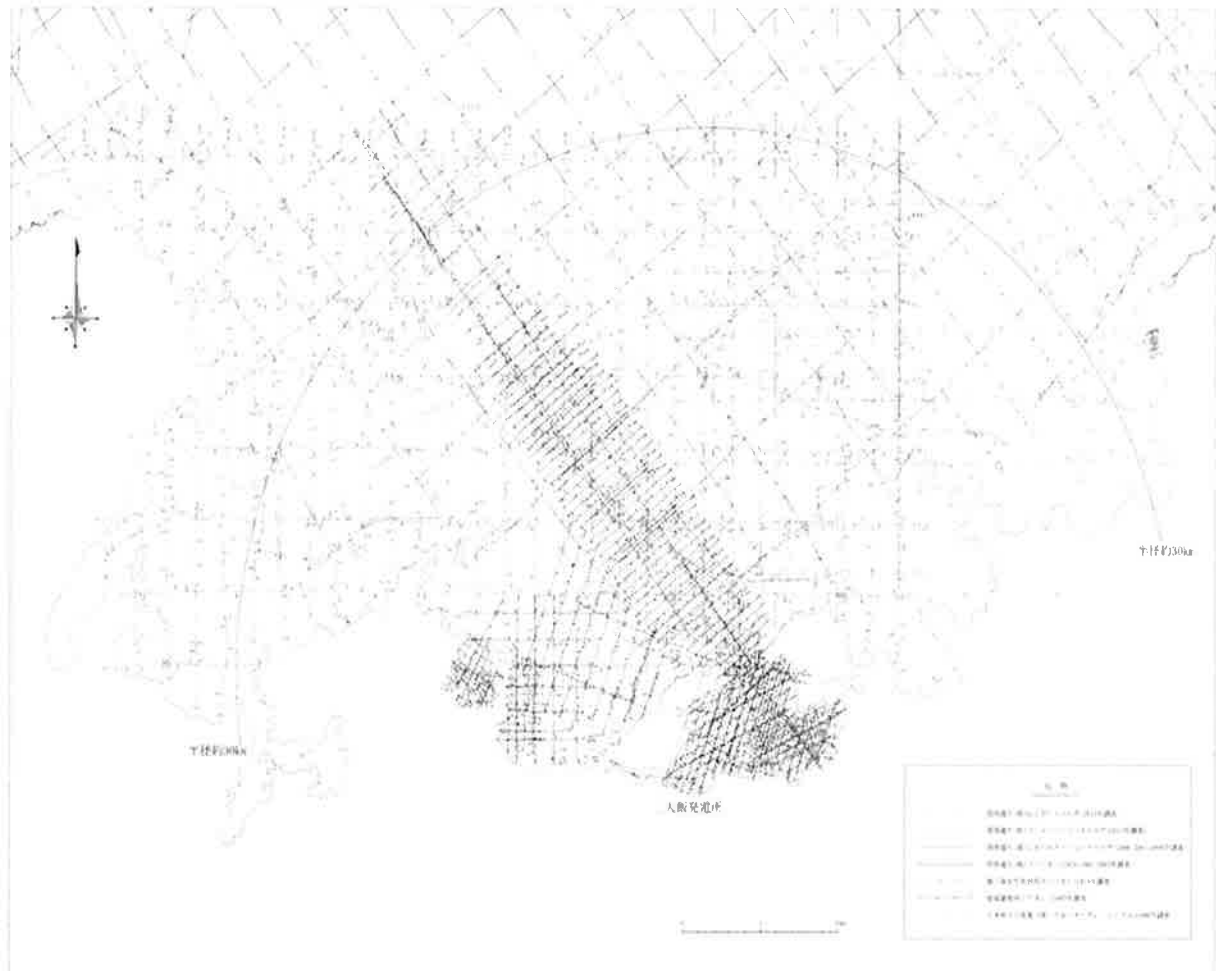
【図表 1 7 海上音波探査記録の例】

なお，敷地に与える影響が大きい断層の端部や，その延長部分の付近を調査する際には，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，当該断層の変位・変形量が認められなくなる位置を特定することにより，断層の端部を慎重に評価している。

(d) 図表 1 8 (乙62, 160頁) は，本件発電所敷地周辺の海上音波探査測線を示したものである（図中の中央やや下に「大飯発電所」があり，海域にある円弧は本件発電所から半径30kmの範囲を示している。また，左側の方位記号が記載されている空白部分は京都府の丹後半島である）。

当該海域に格子状等に配置した無数の測線により，債務者は，図表 1 8 に示す範囲内だけでも，自ら総延長約1200kmに及ぶ測線上で

調査を行うとともに、他の機関が行った総延長約2700kmに及ぶ海上音波探査記録について詳細に評価した。これらの調査により、海域での断層の有無や活動性をより詳細に把握した。



【図表18 本件発電所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、本件発電所から概ね半径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ることで詳細な調

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考慮する活断層を漏れなく把握した。

エ 調査結果に基づく断層の位置、長さ、幅の評価

(ア) 上記のとおり行った網羅的な調査の結果をもとに、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FO-A～FO-B断層、熊川断層及び上林川断層について、活断層の位置を詳細に把握した上で、それぞれ活断層の痕跡の無いことが明確に確認できる箇所を端部とし、断層の長さを保守的に評価した。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それらが同時に活動する（連動する）可能性を検討するため、より入念に、両断層の活動状況等の異同や、両断層間に分布する地層に断層運動の影響による変位や変形があるか等の地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た。

(イ) 一方、断層の幅については、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、詳細な調査による地盤の速度構造の解析結果等をもとに地震発生層の上端深さ及び下端深さを設定し、その上端から下端まで一杯に断層が広がっているものとした（下記3（2）イ（ウ））。

(ウ) なお、債務者は、上記の断層の長さや幅の評価にあたって、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が明確に否定できないものについては、全て「震源として考慮する活断層」として地震動評価の対象としており、約12～13万年前以降の活動が否定できない断層については、当該断層における過去の地震の発生時期、回数（1回なのか、数回に分けて発生したのか）、規模（断層面の全体が一度にずれたのか、一部がずれたのみか）にかかわらず、十分に保守的に、断層面の全体が1回の地

震でずれ動いて地震動を惹き起こすものと想定して評価した（乙57，80頁，113頁等）。

（3）各断層の具体的な評価

各断層の位置・長さの評価について，以下，具体的に説明する（乙58，34～50頁）。

ア FO-A～FO-B断層

FO-A断層及びFO-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。FO-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，FO-B断層は，既存文献には記載が無かった。

債務者は，FO-A断層及びFO-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-47G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，「FO-A～FO-B断層」として，その長さを約35kmと評価した。

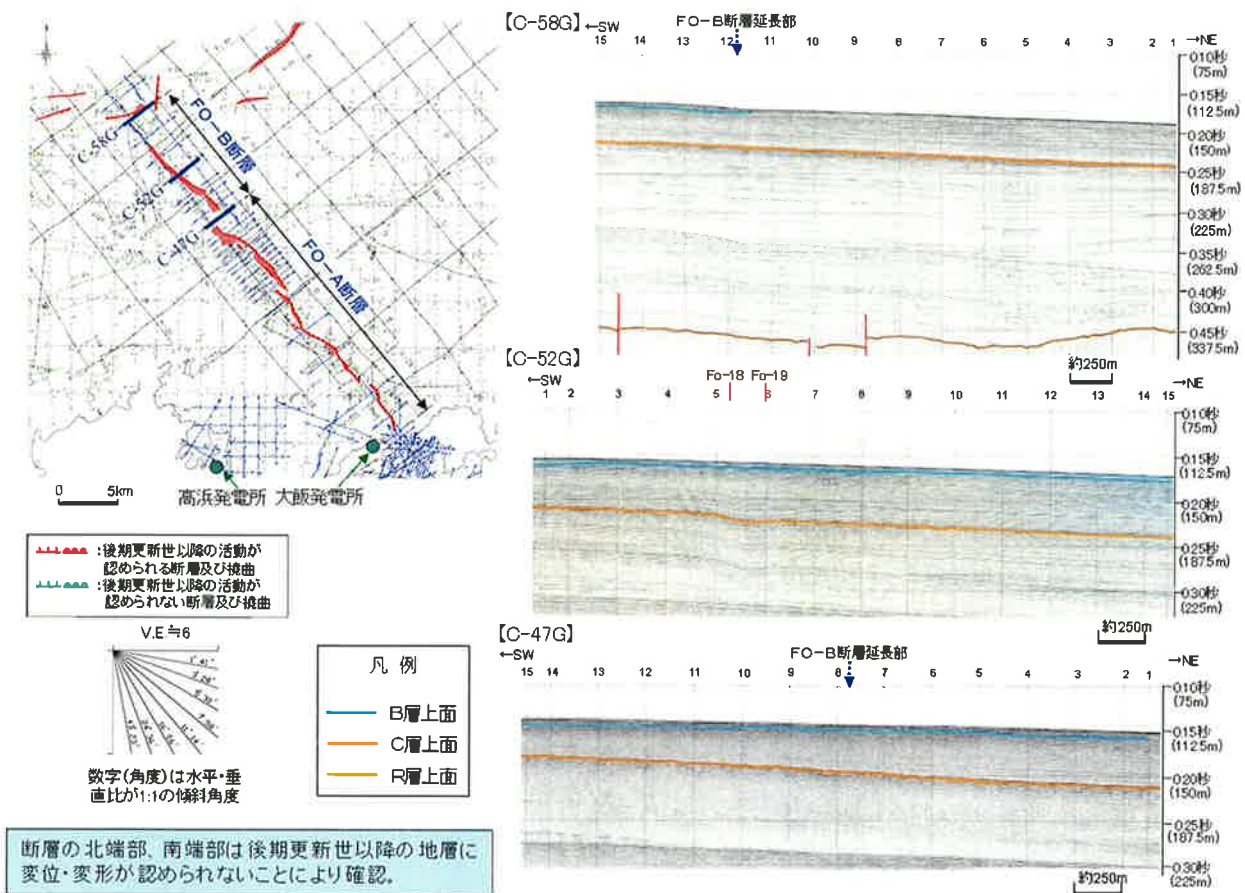
（乙5，添付書類六，6-3-74～6-3-76頁，乙58，34～37頁，乙62，170～177頁）

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（約12～13万年前以降）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（上記（2）ウ（イ）b（c）の図表17における橙色の線）に断層活動による痕跡が認められな

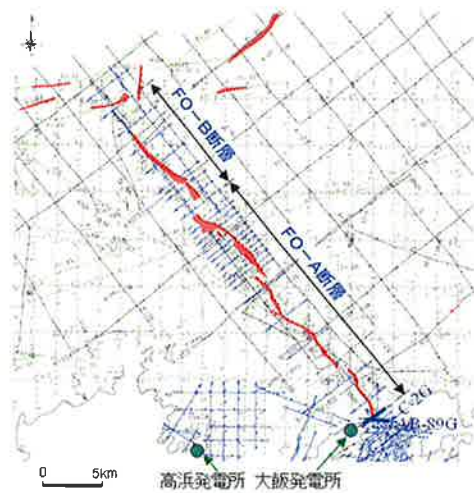
い、つまりこの地層に変位・変形がない箇所を端部とした。

その結果、FO-B断層の北西端についてはC-58G測線を端部と評価し（図表19（乙58, 36頁, 乙62, 176頁）の右上図）、FO-A断層の南東端についてはC-2G測線を端部と評価した（図表20（乙58, 35頁, 乙62, 172頁）の右上図）。

なお、図表19に記載の探査記録について説明を補足すると、同図表右側の3つの探査記録のいずれも、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を表す、橙色の「C層上面」が横切っているところ、その線の深さは、最も深い（下寄り）のところでも海底下約180~190mであり、評価に必要な反射面の深度まで探査できていることが分かる。



【図表19 FO-B断層に関する調査結果】



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

VE ≈ 6

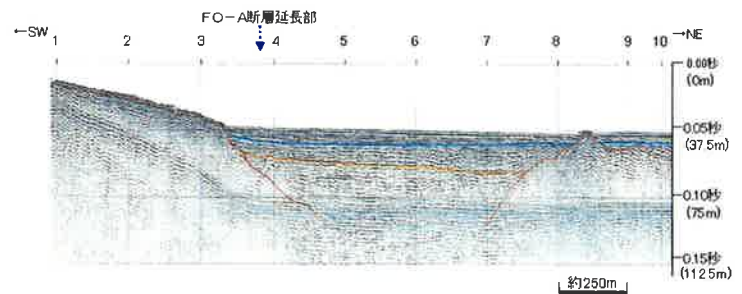


数字(角度)は水平・垂直比が1:1の傾斜角度

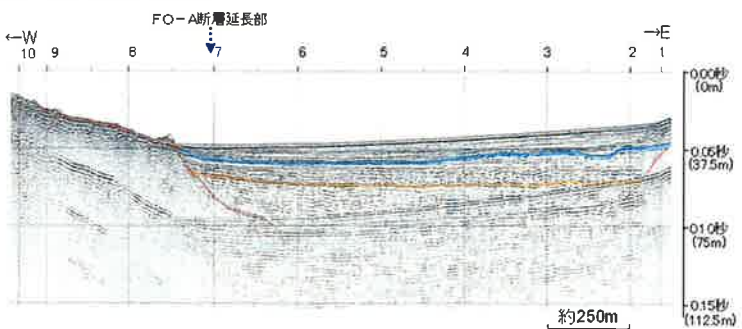


断層の北端部、南端部は後期更新世以降の地層に変位・変形が認められないことにより確認。

【C-2G (再処理後) Mig】



【AB-89G (再処理後) Mig】



【図表 20 FO-A断層に関する調査結果】

以下では、FO-A断層及びFO-B断層の端部（FO-B断層の北西端及びFO-A断層の南東端）の評価について、敷衍して説明する。

(ア) FO-A断層及びFO-B断層の端部の評価については、走向が北西-南東方向であるFO-A断層及びFO-B断層に対して直交する、北東-南西方向の測線を複数配置し（上記(2)ウ(イ)b(d)の図表18）、海上音波探査を実施した（乙62, 160頁, 171~177頁）。

(イ) その結果、まず、FO-B断層については、C-58G測線において、後期更新世以降に堆積したと考えられる地層（B層）に変位・変形がないことを確認し、この測線をもって同断層の北西端と評価した。

具体的には、図表19（乙62，176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2-1として添付する）の左上に記載の平面図内の左上に「C-58G」として右上（北東）-左下（南西）方向の青い線が引かれているが、これがC-58G測線である。そして、この測線の音波探査記録が、同図の右上に記載の断面図（「【C-58G】」）である。この断面図において、横方向に3本の線（上から水色、橙色、黄土色）が引かれているところ、上から2本目の橙色の線はB層の下面（かつC層の上面）を示している。

債務者は、この面に段差がないことを確認することにより、その面より上に堆積している、後期更新世以降に堆積したと考えられる地層（B層）に変位・変形がないことを確認し、それによりC-58G測線をもって同断層の北西端と評価したものである。

（ウ）次に、FO-A断層については、C-2G測線において、B層に変位・変形がないことを確認し、この測線をもって同断層の南東端と評価した。

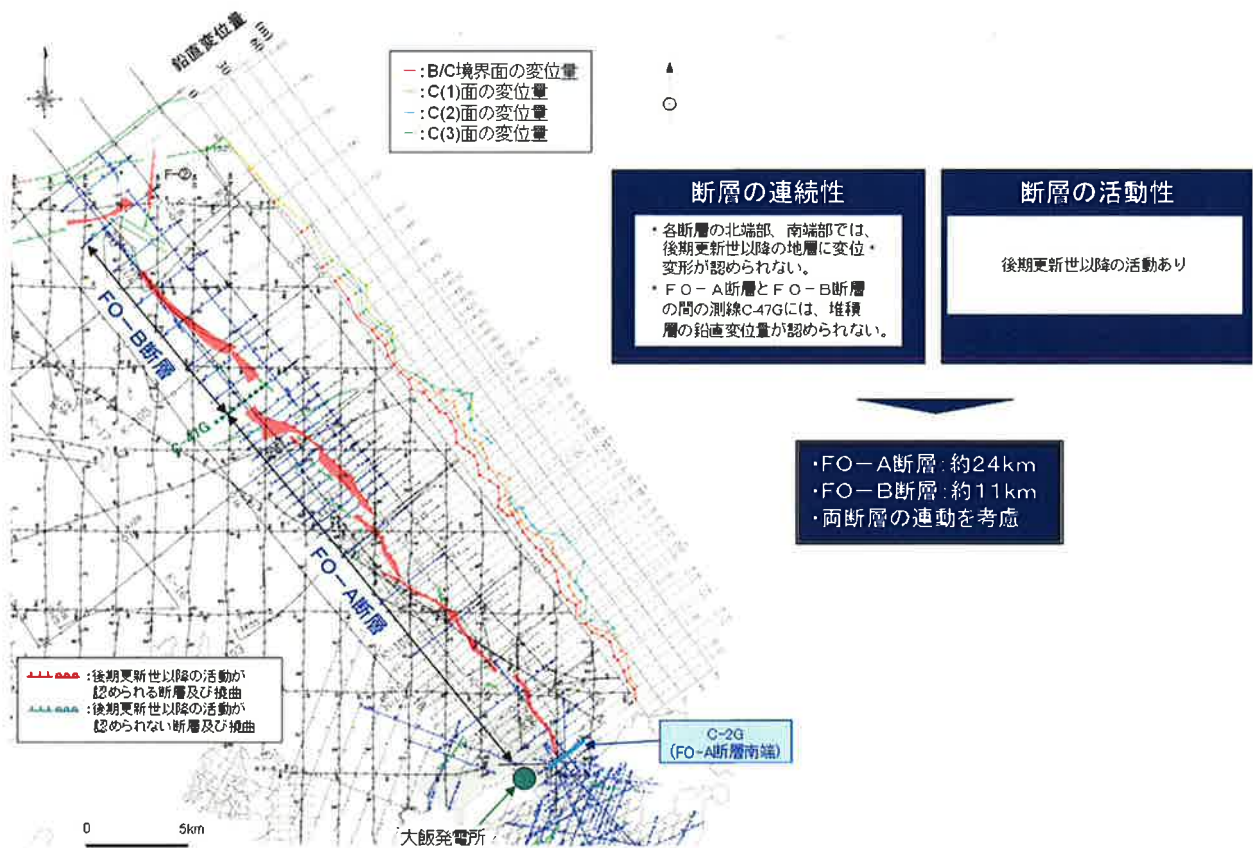
具体的には、図表20（乙62，172頁。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表2-2として添付する）の左上に記載の平面図内の右下に「C-2G」として右上（北東）-左下（南西）方向の青い線が引かれているが、これがC-2G測線である。そして、この測線の音波探査記録が、同図の右上に記載の断面図（「【C-2G・・・】」）である。この断面図において、上記（イ）と同じく、上から2本目の橙色の線はB層の下面（かつC層の上面）を示している。

債務者は、この面に段差がないことを確認することにより、その面より上に堆積しているB層に変位・変形がないことを確認し、それによりC-2G測線をもって同断層の南東端と評価したものである。

（エ）以上について補足すると、C-58G測線及びC-2G測線を含む、

FO-A断層及びFO-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2-1（乙62，177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2-3として添付する）の左側の図である。

FO-A断層及びFO-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，FO-B断層の北西及びFO-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-58G測線（図内で「FO-B断層」の両向き矢印（←→）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2-1 FO-A断層，FO-B断層の評価】

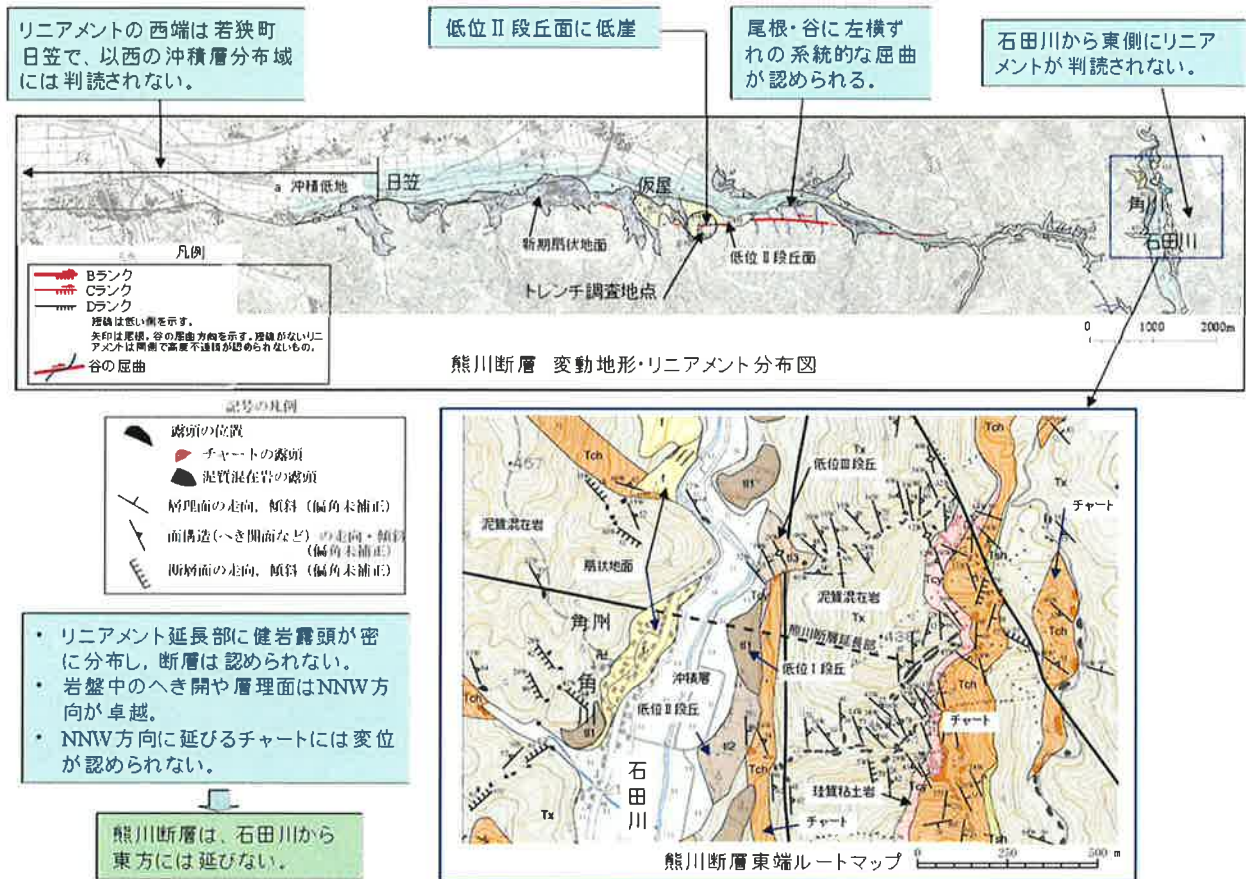
イ 熊川断層

熊川断層は、F O - A ~ F O - 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（下記3（2）エ（ア）cを参照）や地形・地質の状況から、その長さを約14kmと評価した。

（乙5，添付書類六，6-3-19～6-3-25頁，乙58，38～40頁，乙62，41～71頁）。

熊川断層の南東端については、リニアメント（上記（2）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22。乙62，43頁）。具体的には、同図中の凡例の「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ないことが確認されたことから、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 2 2 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（イ）の図表 2 3 の下の図、右下にある「No.2測線」）とした（乙62，63頁）。

ウ FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動

(ア) 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（約12～13万年前

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。

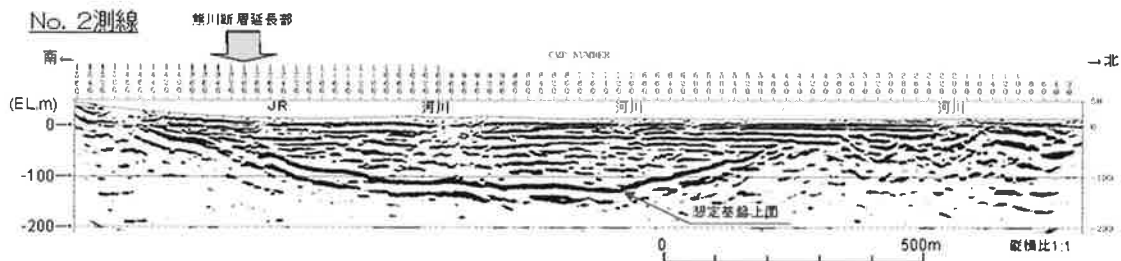
(イ) しかしながら、(I)断層の延びる方向が似かよっている、(II)熊川断層の北西延長上の小浜湾内で原子力安全・保安院が実施した海上音波探査において、後期更新世以降に堆積した地層に断層活動の痕跡の可能性が否定できない反射面の変形(堆積した地層の境界面における段差)が認められたとされている、(III)FO-A～FO-B断層と熊川断層の間にリニアメントが認められ、そのリニアメントは、両断層のずれ方(いずれも横ずれ断層であるが、断層の東側が西側に対して沈降する縦ずれの成分も有している)と同様の傾向を示している、といった指摘が原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合でなされたこと等から、FO-A～FO-B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23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。



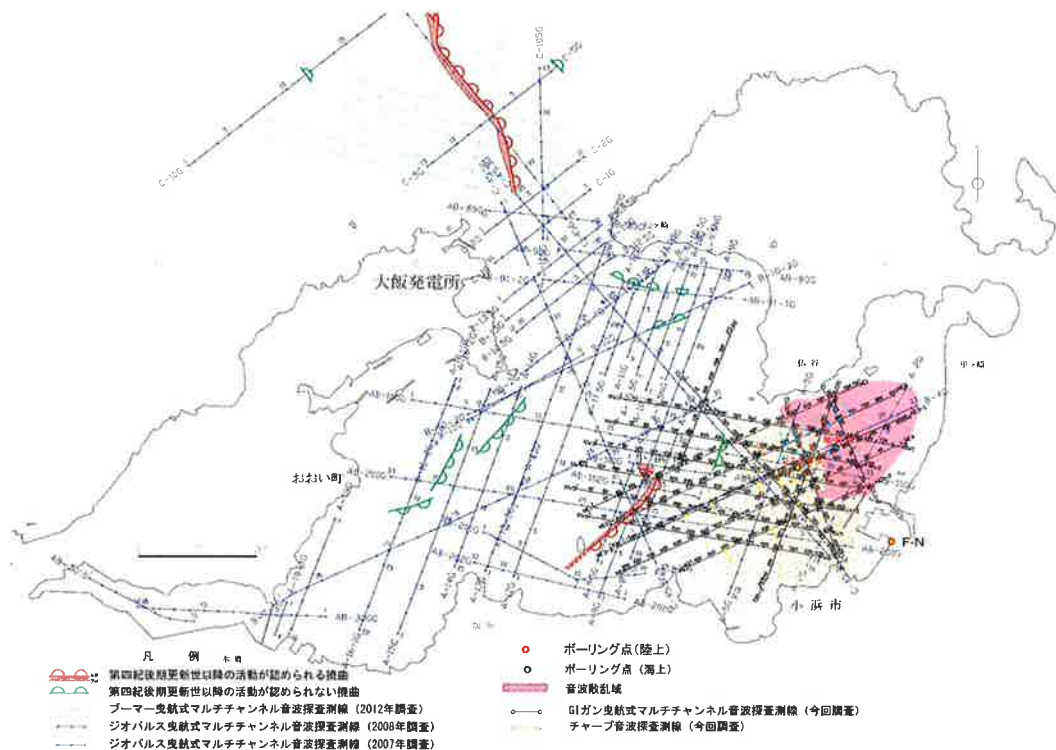
【図表 2 3 小浜湾等の海域・陸域調査】

- a ①熊川断層西端の反射法地震探査では、図表23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24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24 熊川断層西端の反射法地震探査結果 (No.2測線)】

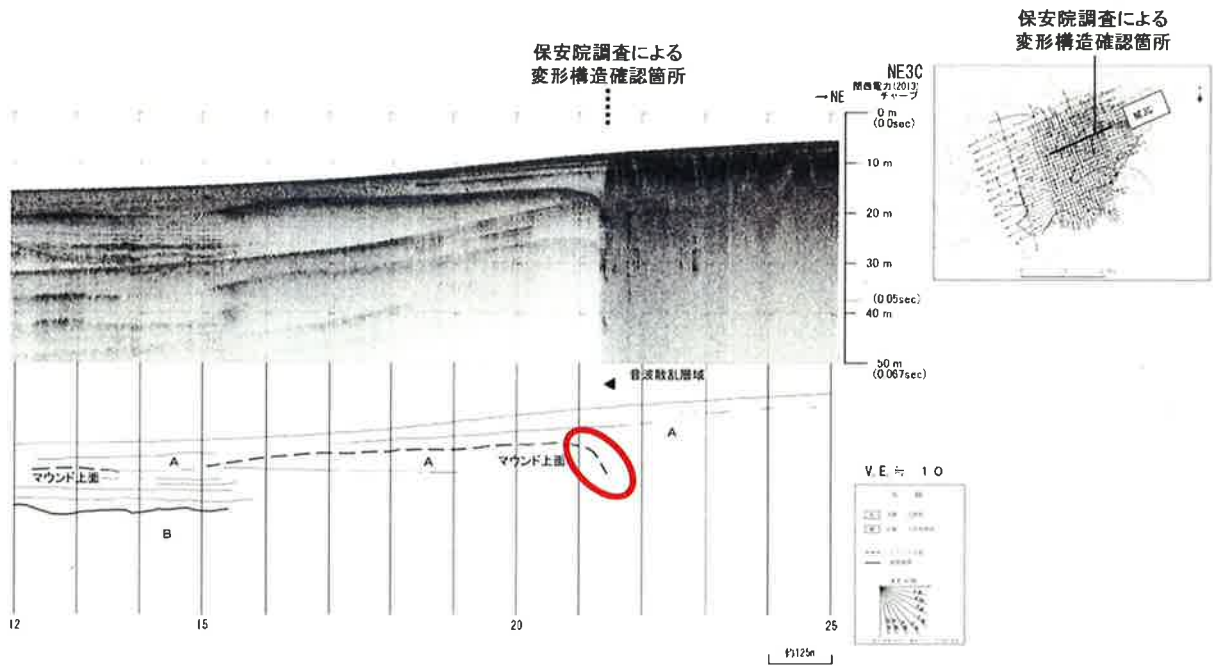
- b 次に、②小浜湾における海上音波探査と②'小浜湾周辺のボーリング調査では、債務者は、小浜湾内において約400m間隔で測線を縦横に配置して海上音波探査を実施するとともに、同湾内でボーリング調査を実施した。当該調査における海上音波探査の調査測線及びボーリング調査のボーリング点の位置は、図表25のとおりである。



【図表 2 5 小浜湾における海上音波探査及びボーリング調査】

その結果、(i) 反射面の変形(堆積した地層の境界面における段差)が確認できたとされる付近において砂礫層がマウンド状に堆積しており、原子力安全・保安院が確認したとする反射面の変形は、その堆積の一部を捉えたものであること(図表 2 6。乙5, 添付書類六, 6-3-434頁等), (ii) 断層活動が起きると、その時点で堆積している地層に変位・変形が生じるため、繰り返し活動する活断層の場合、古くから堆積していた地層の方が断層活動の影響を多く受けることで変位・変形量が大きくなるどころ、そうした状況が認められなかったこと(同6-3-441頁等), (iii) 原子力安全・保安院が指摘した場所以外で、その近辺における反射面においては、同様の反射面の変形が認められなかったこと(同6-3-440頁等), (iv) 海上ボーリング調査によって各年代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6-3-449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。



※右上の図は，小浜湾における海上音波探査の測線図であり，図内の「NE3C」測線における海上音波探査記録が，中央上側の図（灰色の濃淡で表現されている図）である。その記録から，堆積した地層の境界面を書き出したのが中央下側の図（地質断面図）である。調査の結果，審査会合で指摘された，堆積した地層の境界面における段差とは，地質断面図中の「マウンド上面」（2つ記載があるうちの右側）で示される点線の右端が地下方向に曲がっていく部分（赤色の楕円で囲んだ部分）であり，マウンド状に堆積した砂礫層の端部であることを確認した。

（乙5，添付書類六，6-3-434頁に一部加筆）

【図表26 海上音波探査記録及び地質断面図（「NE3C」測線の例）】

- 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（イ）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 2 7 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。

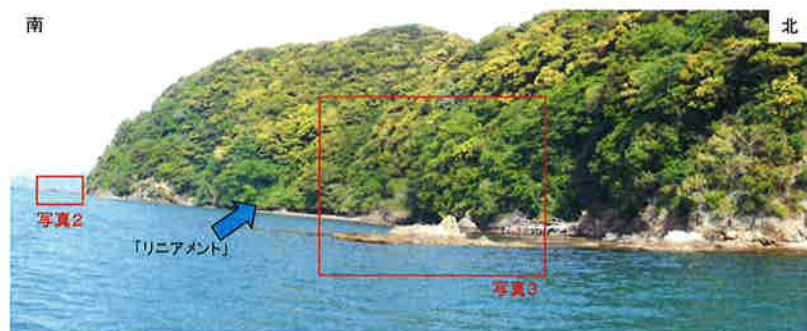


写真1(双児崎)
双児崎南東岸の全景写真(東方から西方に向かって撮影)
「リニアメント」と指摘されているエリアの北側と南側の岩礁には、どちらにも、標高約30~50cmのベンチが分布する。



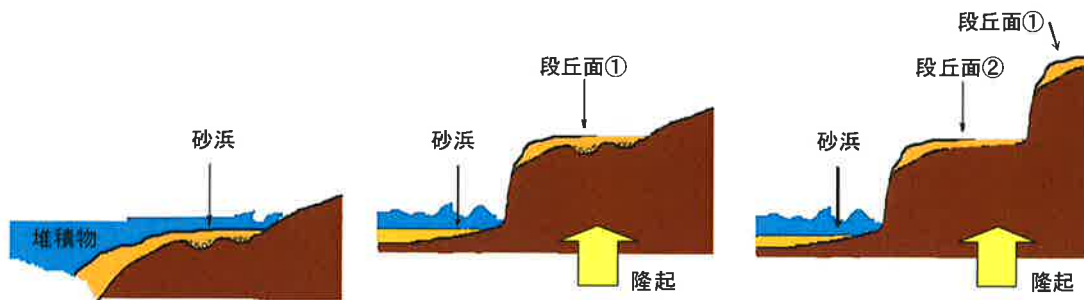
写真2(双児崎)
「リニアメント」と指摘されているエリアの南側に分布するベンチ。
ベンチの高さは標高約30~50cm。



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 2 7 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でできる面をいい（図表 2 8）、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。



波打ち際で土砂の堆積や侵食により平坦面ができる。

土地が隆起し段丘面が現れる。

繰り返すこの変動が起きることで段丘面が段々になる。

【図表 2 8 海成段丘面の形成過程】

上記 c で述べたとおり，小浜湾に FO-A～FO-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，上記の図表 2 3 の下の図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）や田鳥（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 FO-A～FO-B 断層と熊川断層が連続していることを示す地質構造は確認されなかった。

(ウ) また，債務者は，両断層の離隔距離からも連動の有無について評価した。

Wesnousky (2006)⁷³ (乙58, 添付資料4) は, 世界各地の横ずれ断層による地震を対象に, 地震が発生した際の断層の連動の有無と断層間の離隔距離との関係についてまとめているが, 断層の連動が発生した場合の断層間の離隔距離は, その多くが5km以下であって, 長いものでも約7kmに留まり, 7kmを超えて離れている断層が連動した例はないとしている。

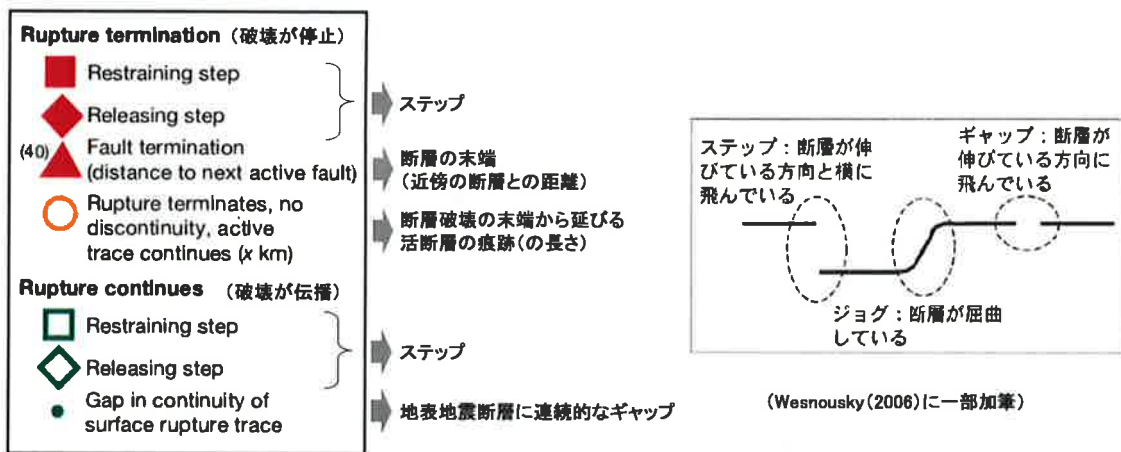
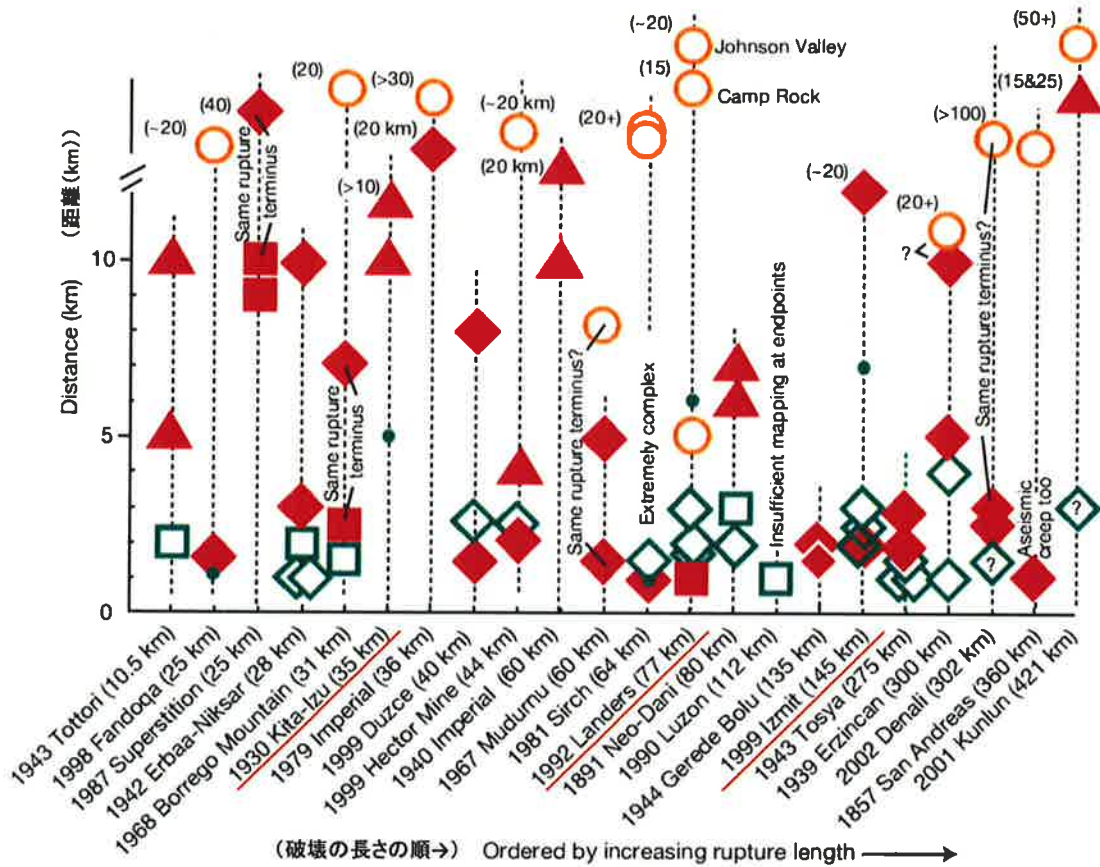
すなわち, 図表29は, 横軸に, 地震名と地震時に動いた断層の総延長(複数の断層が連動した場合は最も離れている断層の端部間の距離)を示し(右にいくに従い断層の総延長が長くなる), 縦軸に, 地震の際の連動の有無と断層間の離隔距離との関係を記号により示している(赤色の■, ◆, ▲は連動しなかった断層間の離隔距離, 緑色の□, ◇, ・は連動した断層間の離隔距離を示している)。例えば, 「1999 Izmit (145km)」は, 地震時に複数の断層が連動し, 総延長145kmの断層が活動したこと, その際, ギャップ(断層が伸びている方向に飛んでいる)が7kmの断層(図表緑色・)と, ステップ(断層が伸びている方向と横に飛んでいる)が2~3kmの3つの断層が連動したこと(図表緑色◇), 一方で, これらの断層からステップが20km以下の断層と同2kmの断層は連動しなかったこと(図表赤色◆)を示している。図表29には, 断層の総延長が約10kmの地震から, 仮に連動すれば総延長約64kmとなるFO-A~FO-B~熊川断層よりも長い, 断層の総延長が421kmの地震まで含まれているが, 連動する場合の断層間の離隔距離の多くは5km以下であり, 長いものでも7kmに留まる。

この点, いずれも横ずれ断層であるFO-A~FO-B断層と熊川断層について, 債務者は, 上記の極めて詳細な調査により, 両断層が, 上記の知見で示された距離の2倍を超える15km以上の離隔を有しているこ

⁷³ Steven G. Wesnousky (2006) 「Predicting the endpoints of earthquake ruptures」 Nature, Vol. 444, 358-360頁

とを確認している。

(乙58, 46~47頁, 乙64の1, 115頁)



【図表 2 9 地震が発生した際の断層の運動の有無と断層間の離隔距離の関係】

(エ) 以上のとおり, 両断層が連続していることを示す地質構造は確認され

ておらず、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（ア）～（エ）について、乙5、添付書類六、6-3-74～6-3-79頁、乙58、41～47頁。なお、調査結果の詳細については、乙62、182～185頁、乙63の1、乙63の2、乙64の1、乙64の2、乙65、「大飯発電所、高浜発電所FO-A～FO-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」等のおり）

（オ）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、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動するとの震源断層モデル（「FO-A～FO-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2の2（2）イ（ア）及び同3（2）ウ（ア）a（a）、乙38の2、15頁）。

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「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。

（乙5、添付書類六、6-3-31～6-3-41頁、乙38の2、13～14頁、乙58、48～50頁、乙62、15～40頁）

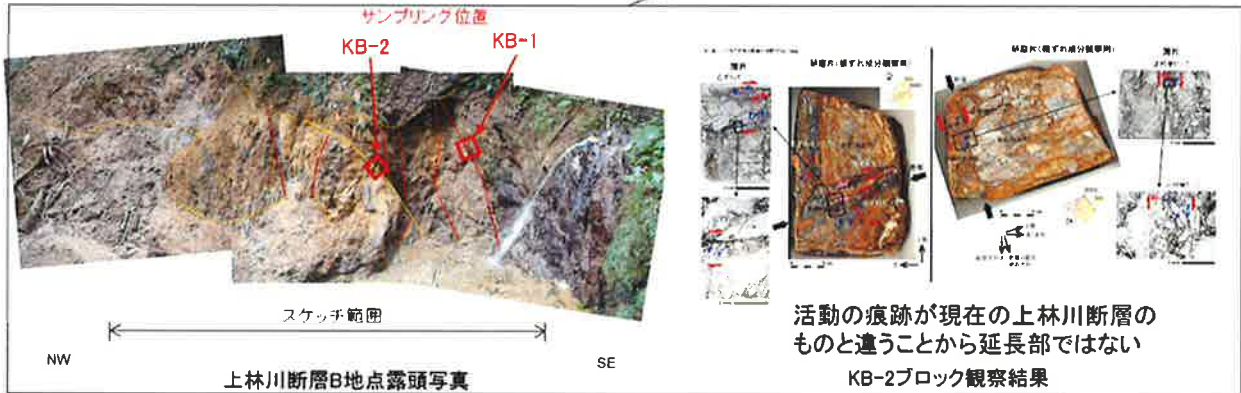
具体的には、以下のとおりである。

(ア) 北東端の評価

上林川断層の北東端については、まず、変動地形学的調査（乙58，23～26頁）を行った。その結果、活断層が活動した痕跡である可能性のあるリニアメントは、故屋岡町付近（乙62，25頁の図表のA地点）までは確認されたが、A地点よりも北東側の延長線上では、県境付近（同図表のB地点）や、その先のおおい町笹谷付近も含め、リニアメントは確認されなかった（同31頁，32頁）。

しかしながら、債務者は、A地点から北東側の延長線上において、さらに地表地質調査（乙58，27～28頁）を行った。具体的には、北東側の延長線上のB地点において岩盤が露頭していたことから、岩盤に見られる断層面の試料を採取しての分析や、詳細な観察等を行った（乙62，26～30頁）。その結果、岩盤に見られる断層面には後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が認められないこと、また、その断層面が、後期更新世以降の活動が認められない別の小断層によって切られていること（乙62，26頁）等から、B地点では、将来活動する可能性のある断層（活断層）が確実に存在しないと確認した。

以上のことから、B地点を上林川断層の北東端としたものである（図表30。乙62，18頁，26～32頁，40頁）。



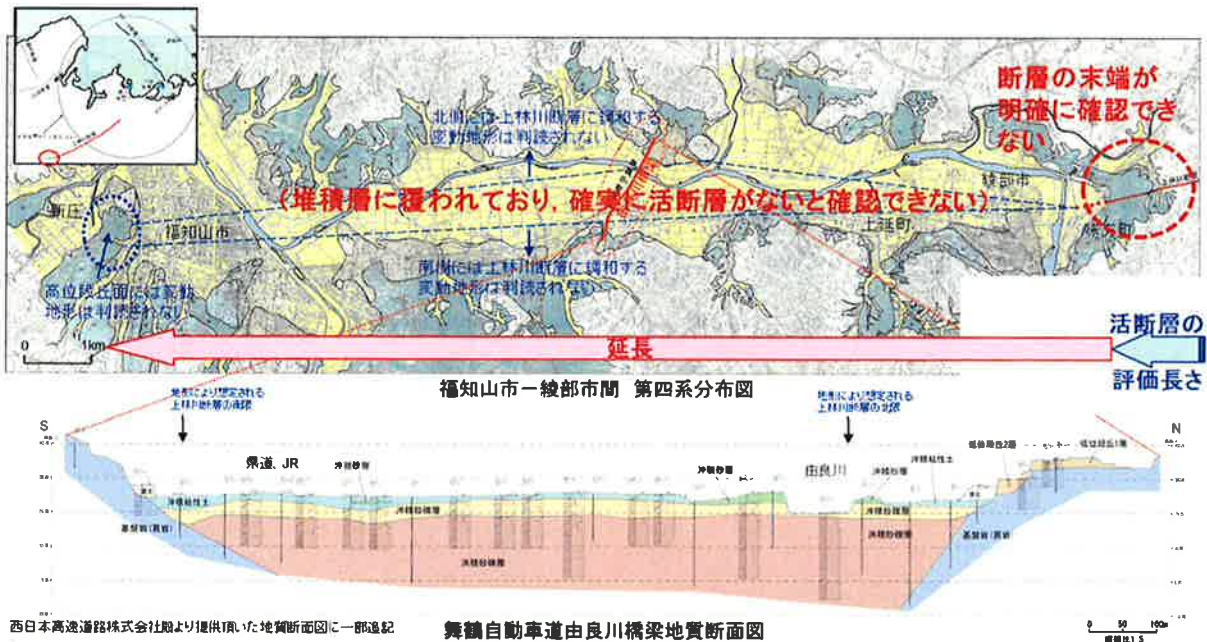
上林川断層北東端は、変動地形の端であるA地点からさらに北東に延長し、少なくとも後期更新世以降の活動が見られないことが確認できたB地点までと評価した。

【図表 3 0 上林川断層の北東端の評価】

(イ) 南西端の評価

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 3 1，乙62，33～40頁）。



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。

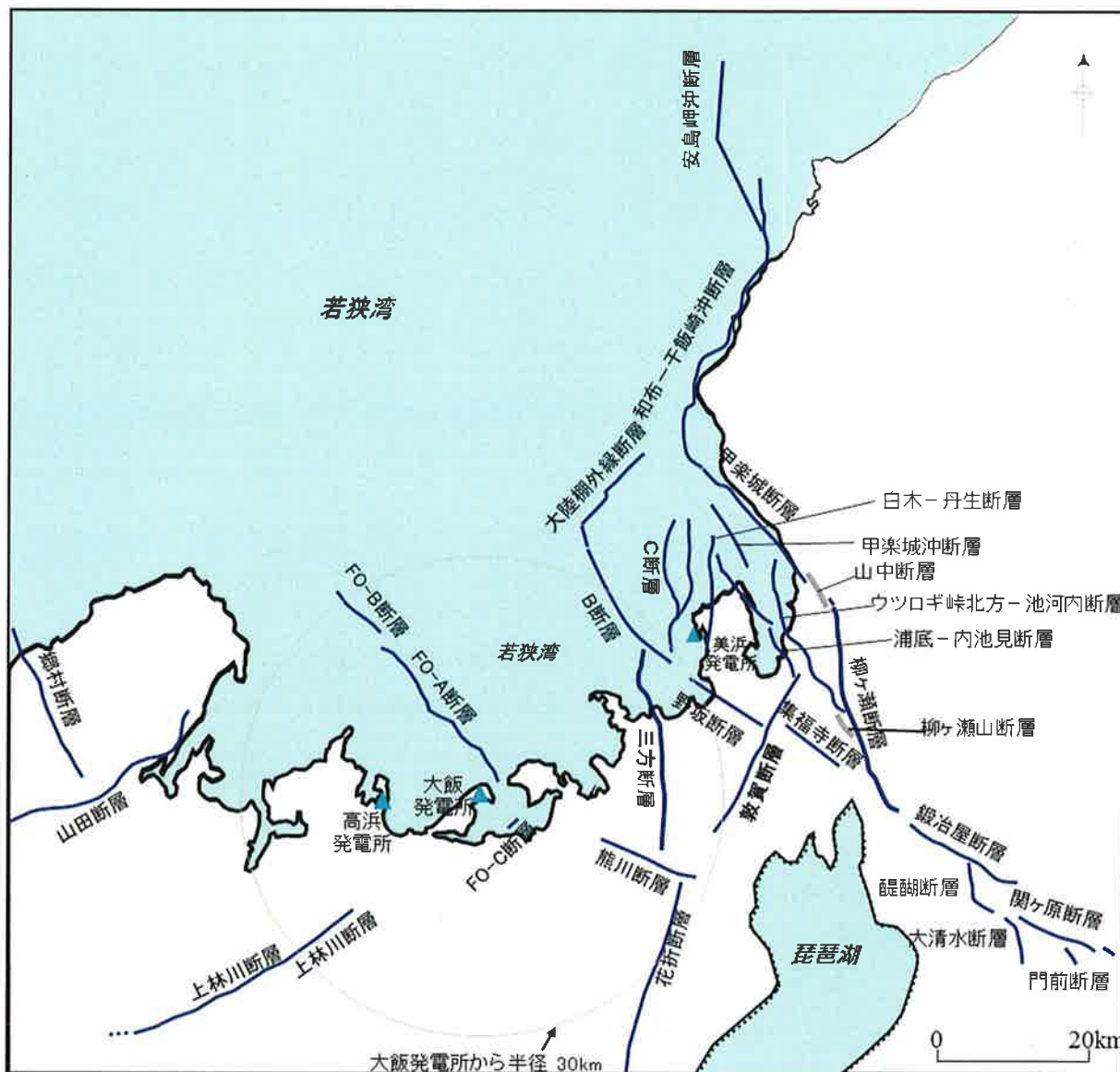
【図表 3 1 上林川断層の南西端の評価】

オ 小括

以上のとおり、債務者は、本件発電所敷地周辺の陸域及び海域において、文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査等の最新の手法による詳細な調査を実施した上で、各断層の長さを十分に保守的に評価した。

(4) 活断層の分布状況と検討用地震の候補

ア 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 3 2 のとおりである(乙57, 6頁)。



(乙57, 6頁に一部加筆)

【図表 3 2 震源として考慮する主な活断層】

イ 債務者は、活断層の長さから想定される地震の規模及び震央距離から、本件発電所敷地に大きな影響を及ぼす（敷地において震度V程度以上の地震動が生じ得る）と考えられる、FO-A～FO-B～熊川断層，上林川断層等，18個の活断層による地震を，敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震として抽出し（図表33），「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」の候補とした（乙57，7
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～甲楽城断層 | 76 | 8.0 | 66 |
| 2 | 柳ヶ瀬断層 | 31 | 7.3 | 49 |
| 3 | ウツロギ峠北方-池河内断層 | 24 | 7.1 | 45 |
| 4 | C断層 | 18 | 6.9 | 36 |
| 5 | 敦賀断層 | 23 | 7.1 | 36 |
| 6 | 大陸棚外縁～B～野坂断層 | 49 | 7.7 | 32 |
| 7 | 三方断層 | 27 | 7.2 | 23 |
| 8 | 花折断層 | 58 | 7.8 | 44 |
| 9 | 琵琶湖西岸断層系 | 60 | 7.8 | 45 |
| 10 | 濃尾地震断層系 | 80 | 8.0 | 95 |
| 11 | 上林川断層 | 39.5 [※] | 7.5 | 38 |
| 12 | 有馬-高槻構造線 | 45 | 7.6 | 81 |
| 13 | 山田断層 | 33 | 7.4 | 51 |
| 14 | 郷村断層 | 34 | 7.4 | 63 |
| 15 | F _{GA} 3東部断層 | 29 | 7.3 | 54 |
| 16 | FO-A～FO-B～熊川断層 | 63.4 [※] | 7.8 | 3 |
| 17 | FO-C断層 | 20 [※] | 6.8 | 5.5 |
| 18 | 甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層 | 36 | 7.4 | 42 |

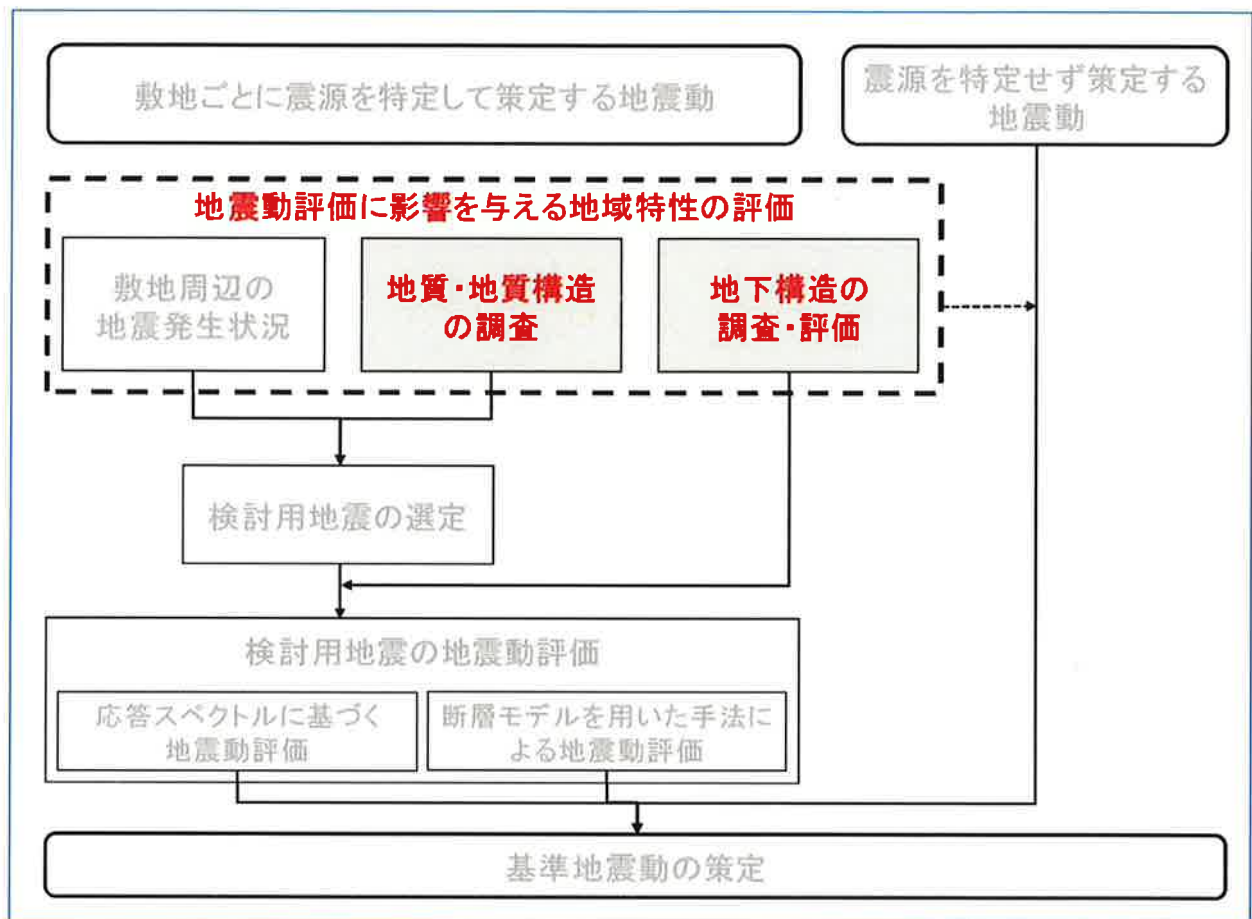
(※ 地震動評価上の長さ)

【図表3-3 敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震】

(5) 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38の2，13～14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⁷⁴。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。

⁷⁴ 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、本件発電所敷地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9、129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9、131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9、129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9、131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66、「サイト敷地の地下構造の詳細な把握の必要性について」2頁）。

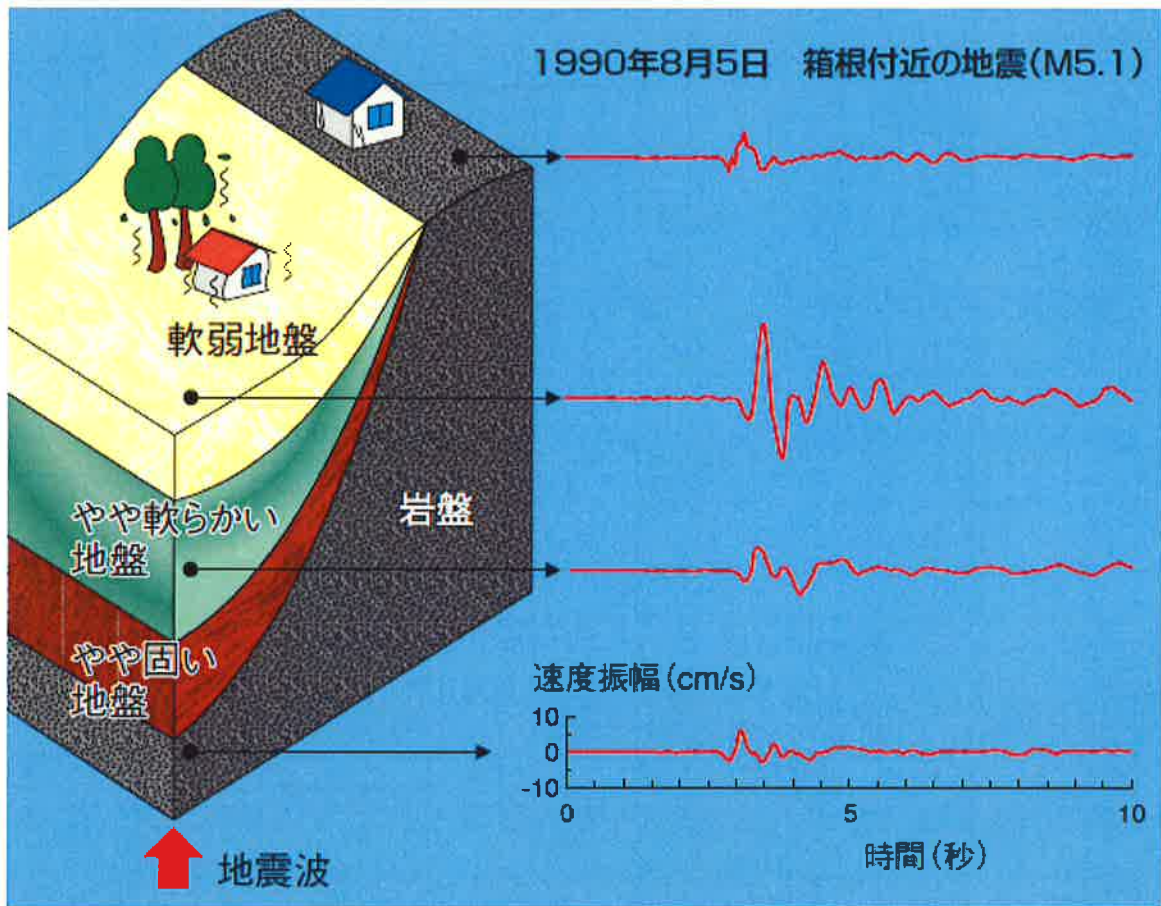
(2) 債務者による調査・評価

ア 地震動評価に影響を与える地域的な特性

(ア) 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）」（第1の冒頭箇所を参照）について改めて述べると、まず、震源特性とは、震源に関する特徴のことであり、震源の規模（震源断層の長さ・幅）、震源断層の位置・傾き、放出される地震波の強さ等を指す。また、伝播特性とは、地震波の地中深くでの伝わり方の特徴のことであり、震源から敷地までの距離や地盤における減衰の大きさ等を指す。そして、地盤の増幅特性（サイト特性）とは、敷地、つまりサイトの地盤における地震波の増幅特性等を指し、主に地盤の硬さが影響する。（乙55）

(イ) 上記のような地域性が、敷地で観測される地震動に大きな影響を与えることについて、以下で2つの例を示す。

図表34（乙59，13頁）は、1990年の箱根付近の地震の観測記録である。地震動は、硬い地盤から相対的に軟らかい地盤に伝わると一般的に増幅して大きくなるため、同じ地震で同じような位置で観測しても、地盤の硬さによってこのように地震動が大きく違うことになる。



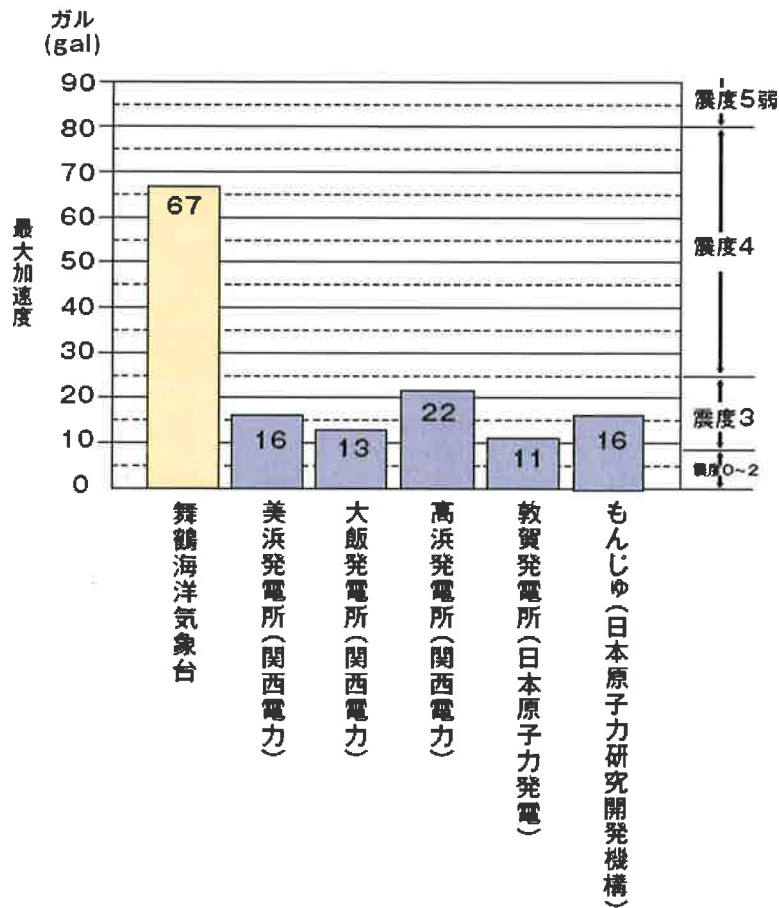
図は岩盤と軟弱な地盤を含む地下の構造を簡略化していますが、地震の記録は実際に観測されたものです。軟弱地盤では、岩盤に比べ振幅が約3倍に達しており、揺れている時間も長いことがわかります。(工藤一嘉氏の図をもとに作成)

(乙59, 13頁より)

【図表 3 4 地盤の増幅特性 (サイト特性) の例①】

次に、図表 3 5 は、兵庫県南部地震の際に若狭湾周辺地域の施設で観測された地震動の例である。これによると、舞鶴海洋気象台は一般の地盤に建設されているのに対して、原子力施設は硬い岩盤の上に建設されている結果、観測された地震動の最大加速度は、舞鶴海洋気象台に比べて約1/3～1/5程度となったとされている。

1995年兵庫県南部地震による
若狭湾周辺の最大加速度観測値



【図表 3 5 地盤の増幅特性 (サイト特性) の例②⁷⁵⁾】

上記の 2 例は、震源からの距離が概ね同じでも、観測する地盤の硬さによって観測される地震動は大幅に異なり、一般に軟らかいほど増幅することを示している。このように、地震動評価においては、地盤の硬さの違いによる地盤の増幅特性 (サイト特性) を含め、地域性を適切に考慮することが重要である。

(ウ) 原子力規制委員会も、「これらの特性は、全国一律なものではなく、発

⁷⁵⁾ 一般財団法人日本原子力文化財団ウェブサイト「原子力・エネルギー図面集」
(http://www.enel00.jp/map_title) 5-2-11頁より抜粋

電用原子炉施設の敷地及び敷地周辺の地盤等によって異なるものであることから、地質調査、地震観測及び地震探査等により、地域的な特性についても十分調査する必要がある」(乙1, 243頁)、「地震動に影響を及ぼす震源、地質構造、伝播特性等は敷地ごとに異なるため、過去にいずれかの地域で発生した最大の地震を全ての発電所に対して一律の地震動として適用するのではなく、発電所ごとに評価することを要求しています」(乙67, 「関西電力株式会社大飯発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(3号及び4号発電用原子炉施設の変更)に関する審査書(案)に対する御意見への考え方」2頁)として、基準地震動の策定にあたっては、評価対象の敷地及び敷地周辺の地域性を考慮すべきことを明らかにしている。

以下、震源特性(下記イ)、伝播特性(下記ウ)、地盤の増幅特性(サイト特性)(下記エ)の評価について、それぞれ具体的に説明する。

イ 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、本項イにおいて、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FO-A～FO-B断層、熊川断層及び上林川断層について、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で述べたとおりである。

（乙5、添付書類六、乙38の2、13頁、15頁、乙62、15～71頁、169～177頁、182～185頁、乙63の1、乙63の2、乙64の1、乙64の2、乙65）

（イ）断層の傾き

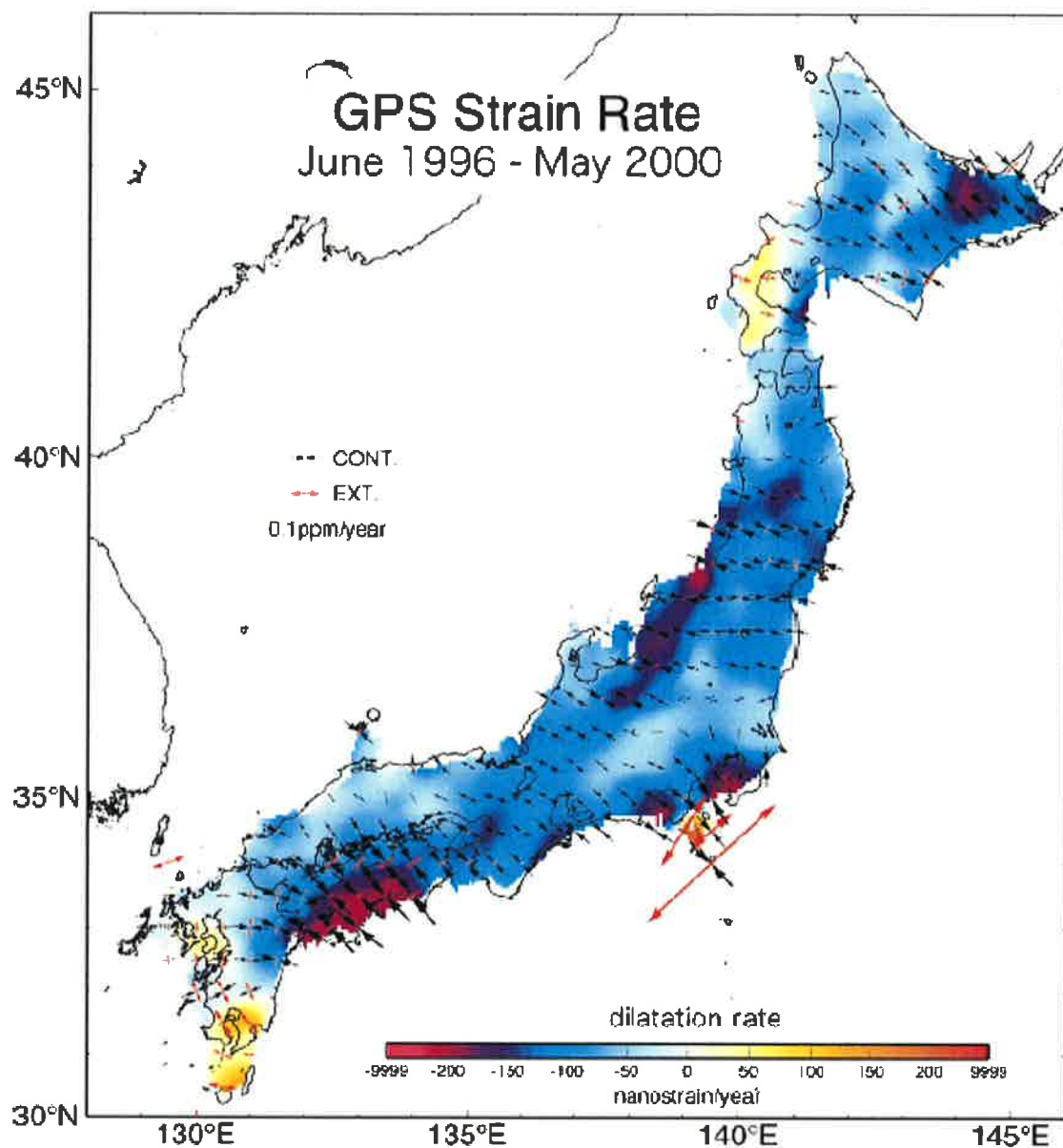
地震動評価において重要なパラメータである、断層から敷地までの距離は、上記（ア）の断層の位置だけでなく、断層の傾きによって変化する。また、同じく重要なパラメータである断層の面積は、断層の幅（及び長さ）によって決まるところ、断層の幅は、断層の傾きと下記（ウ）の地震発生層の深さから求められる。このようなことから、断層の傾きを評価する必要がある。

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（下記a）。

債務者は、この知見等をもとに、FO-A～FO-B断層、熊川断層及び上林川断層について、各断層とも傾きが90°（断層面が鉛直）であると評価した（下記b）。

a 広域応力場と断層の走向について

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36。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）。



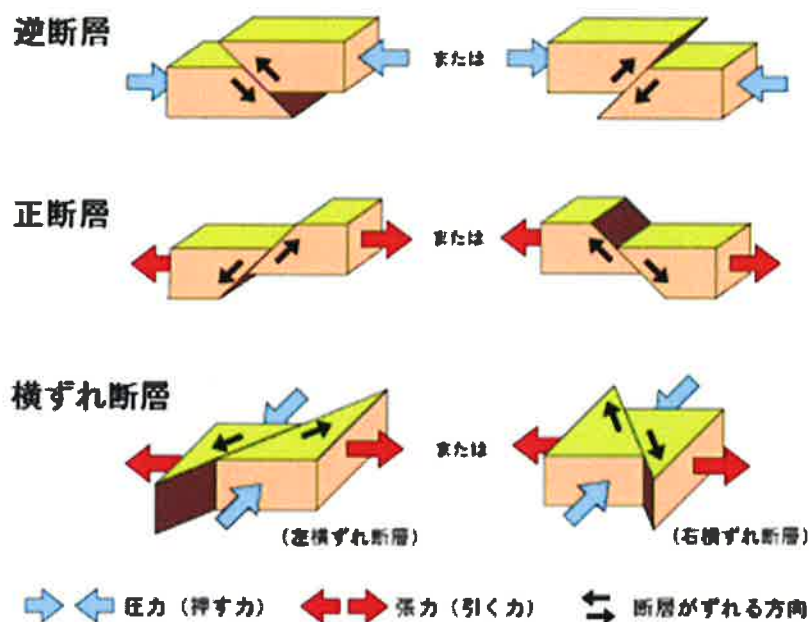
(Sagiya (2004) ⁷⁶, xxxiii頁, Fig.3)

【図表36 GPS観測による日本列島のひずみ速度（応力場）】

⁷⁶ 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

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37）。

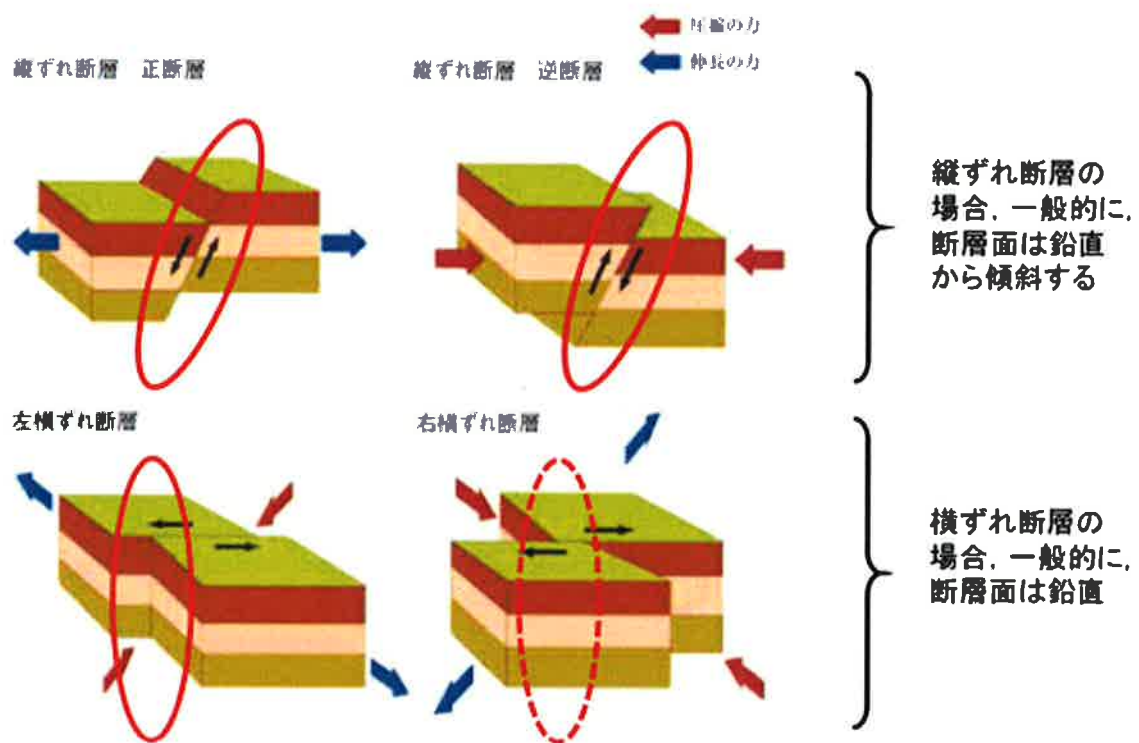


(気象庁ウェブサイトより)

【図表37 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 3 7 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 3 8, 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（甲8, 4頁）。



(地震本部ウェブサイトの一部加筆)

【図表 3 8 断層のずれ方による分類と断層傾斜角】

b 本件発電所に係る断層の傾きの評価

債務者は、F O - A ~ F O - B 断層、熊川断層及び上林川断層について、上記の知見等をもとに、各断層とも断層の傾きが 90° （断層面が鉛直）であると評価した。

すなわち、まず、若狭湾付近の広域応力場は、圧縮方向が東西の圧縮応力場であり（乙62, 10~11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2（4）の図表32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横方向となっており、上記で述べた、一般的に横ずれ断層が形成される場合に当たる。

この点、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においても、各断層とも断層傾斜角 90° の横ずれ断層とされている（乙68, 「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」。なお、乙68号証の1~2頁目に記載の「鋸崎沖活動セグメント」がF O - A ~ F O - B 断層にあたる）。

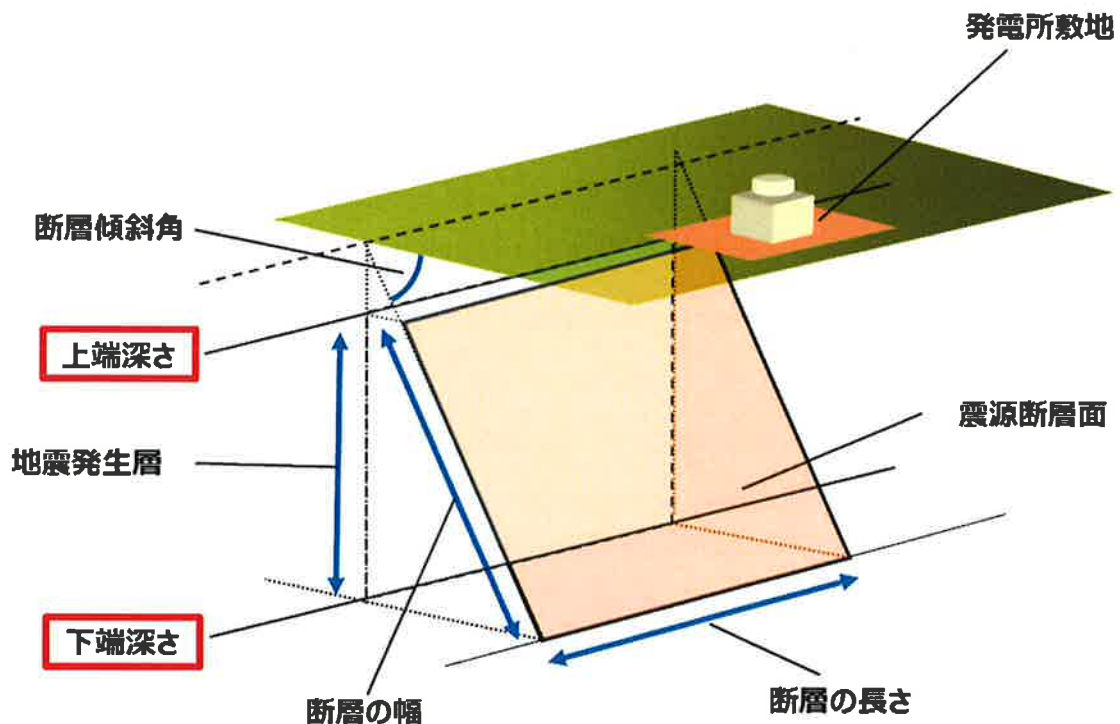
以上を踏まえ、債務者は、各断層とも断層の傾きが 90° （断層面が鉛直）であると評価した。

(ウ) 断層の幅（地震発生層の深さ）

内陸地殻内地震は、岩盤がずれ動くことにより発生するものであるから、地震波を放出するためのエネルギー（ひずみ）が蓄えられる環境でなければ発生しない。この点、「陸域では、地震を発生させるような硬さを持つ岩盤が存在するのは、せいぜい地下15~20km程度の深さまでで、それより深いところでは、岩盤に力がかかっても急激な破壊は起こさず、ゆっくり変形してしまうと考えられて」おり、「陸域で発生する規模の大

きな地震は、その震源が20km程度より浅くな」る（乙69、「日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－」22頁右段，（2）第1段落）。他方，地表から深さ数km程度までの部分も，地震を発生させるような硬さの岩盤と比べて軟らかいため，ひずみを蓄えることができない。そのため，内陸地殻内地震が発生する深さは，プレート内部の厚さ15km程度の範囲に限られ，この範囲を地震発生層という。

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深さ（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39）。このようなことから，地震発生層の深さを評価する必要がある。



【図表39 地震発生層の深さ（上端深さ・下端深さ）と

断層の幅，断層傾斜角との関係】

ここで、一般的に、地盤は深くなるほど（深さ20km程度までは）固くなり、硬い地盤ほど地震波（P波・S波⁷⁷）の速度が速くなるとされている。具体的には、内陸地殻内地震は、P波速度約6.0km/s以上の地層で発生するとされていることから、このP波速度約6.0km/s以上となる地層の上端を把握できれば、地震発生層の上端深さを評価することができる。

また、地中では、人が感じないほどの微小な地震が数多く発生しており、それらの微小地震が発生した深さを把握することで、地震発生層の上端深さ・下端深さを評価することができる。

以上を踏まえて、債務者は、本件発電所周辺の地震発生層の上端深さ（下記a）及び下端深さ（下記b）について評価した。

なお、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、下記の評価を行った。

⁷⁷ P波、S波とは、地震波の一種である。地盤中では、縦波（波の進行方向と振動方向が同じ波）と横波（波の進行方向と振動方向が直角になる波）の2種類の地震波が伝わる。縦波をP波、横波をS波と呼び、P波はS波よりも速い。また一般に、P波、S波の速度は地盤の硬さに応じて変化し、地盤が硬いほど速度は速くなる。

a 上端深さの評価

上端深さについては、若狭湾周辺地域のP波速度6.0km/s以上となる地層の上端の深さから評価することとした。

具体的には、①文部科学省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」における大規模な地下構造探査（図表40。乙70、「大飯発電所地盤モデルの評価について」117頁）や、②川里ほか（2007）⁷⁸における地震波速度トモグラフィ⁷⁹による検討（図表41。乙70，118頁）等の、既往の研究成果を参照した。

上記①は、若狭湾地域を含む近畿地方を縦断・横断するような測線を配置し、震源車などで起震して地中の地層で反射した波を、測線上に配置した受振器によって観測することで、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。下記エで述べる）を求めたものである。また、上記②は、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ものである。

⁷⁸ 川里健ほか「若狭湾地域における地震発生層の推定 その2—地震波速度トモグラフィ解析とまとめ—」地球惑星科学関連学会合同大会予稿集

⁷⁹ 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

○藤橋—上郡測線(1989)の再解析結果

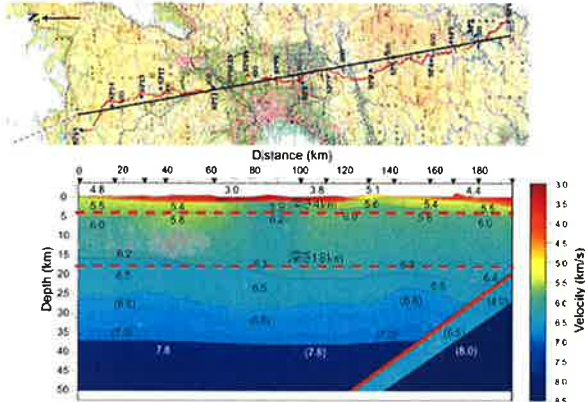


Fig. 9 P-wave velocity structure for the Niigata-Mitsukoshi profile. Numerals show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

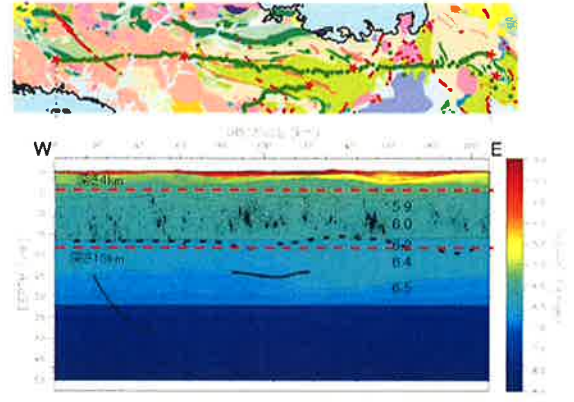


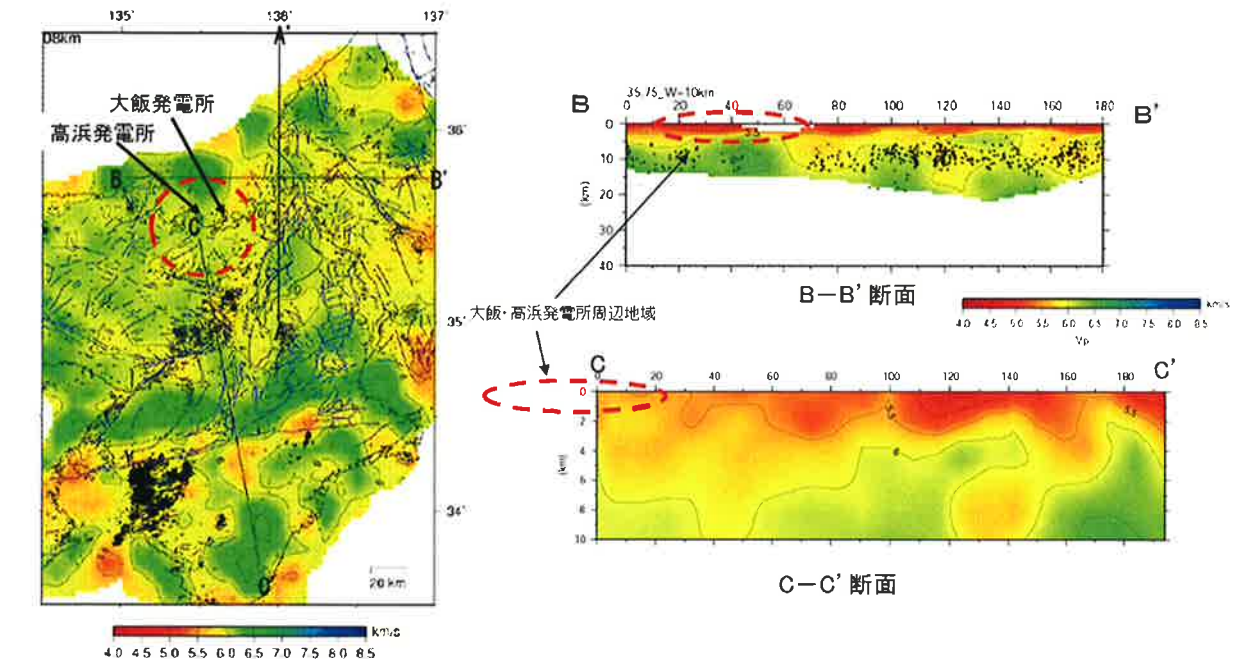
図 16 藤橋—上郡測線の地殻速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

【図表 4 0 「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 4 1 地震波速度トモグラフィによる検討】

その結果、①によると、若狭湾周辺地域におけるP波速度 $6.0\sim 6.2\text{km/s}$ の層は、上端深さが約 6km であった。この深さは、①の調査における計測線から幅 20km 以内の地域で発生した地震に関して、気象庁一元化震源⁸⁰に記載された震源深さと概ね一致していた。また、②によると、若狭湾周辺地域におけるP波速度 6.0km/s の地盤は、上端深さが約 4km であった。

債務者は、上記の結果と、下記エ（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

⁸⁰ 気象庁一元化震源とは、気象庁及び文部科学省が平成9年以降、複数の機関（大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、気象庁等）によって観測された地震観測データを集約して解析を行うことにより、震源に関する情報（マグニチュードや震源位置等）をデータベース化して公表しているものである。

の幅が広がるよう) 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、若狭湾周辺地域における地震発生層に関する文献(廣瀬・伊藤(2006)⁸¹等)に示されている地震発生層のP波速度のうち最も小さい値であるP波速度5.8km/sの層の上端が、深さ3.3km程度であることに鑑み、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。

b 下端深さの評価

下端深さについては、若狭湾周辺地域の微小地震の記録から評価することとした。

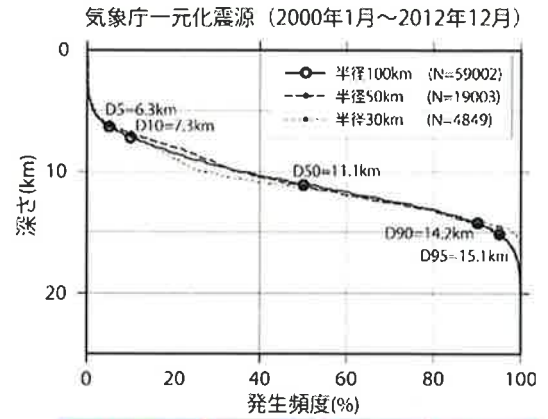
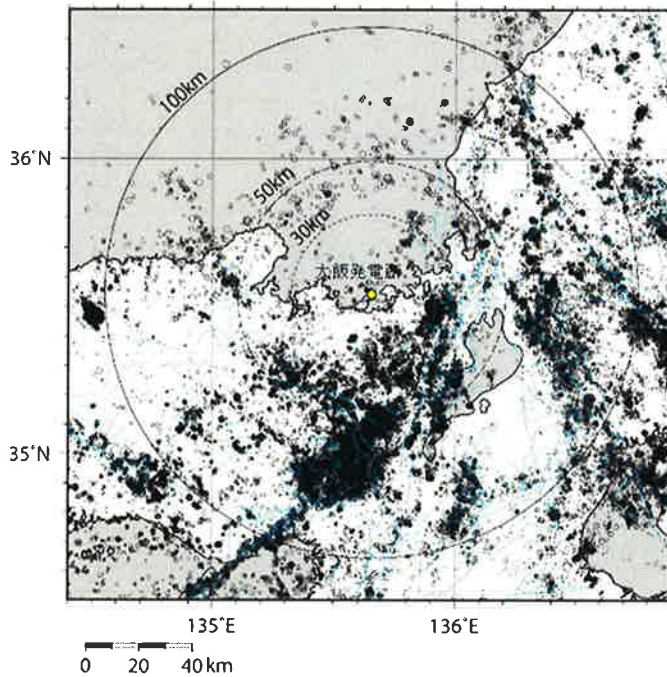
具体的には、伊藤・中村(1998)⁸²をもとに、気象庁一元化震源の震源データを利用して、本件発電所から半径100km以内で発生した約59000個(図表4-2, 右下の表, 半径「100km」の「地震個数N」欄)の地震について統計的に評価した。その結果、D90(その値より震源深さが浅い地震の数が全体の90%となる深さ)は約15kmであった。この点、地震本部では、D90を地震発生層の下限としているところ(例えば、乙71、「九州地域の活断層の長期評価(第一版)」19頁, 23頁, 28頁の各表において「地震発生層下限の深さD90」とされている)、債務者は、上記の伊藤・中村(1998)の知見を参考に、断層の幅が過小評価とならないよう、できるだけ深く評価することとし、D90より2~3km深い、18kmを下端深さと設定した。(乙57, 61~62頁)

⁸¹ 廣瀬一聖・伊藤潔「広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定」京都大学防災研究所年報第49号B, 307~321頁。なお、同研究においても、「近畿地方北部では、内陸の浅い地震活動の深さは、4~5kmから17~18kmである」との記載がある(317頁)。

⁸² 伊藤潔・中村修一「西南日本内帯における地震発生層の厚さ変化と内陸大地震」京都大学防災研究所年報第41号B-1, 27~35頁

■微小地震記録を用いた検討(大飯発電所)

伊藤・中村(1998)を参考に、大飯発電所を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。伊藤・中村(1998)によれば、D90は地震発生層の下限より2~3km浅いとされている。



| 領域半径 | 100km | 50km | 30km |
|-------|--------|--------|--------|
| D5 | 6.3km | 6.2km | 6.1km |
| D10 | 7.3km | 6.9km | 7.1km |
| D50 | 11.1km | 11.2km | 11.4km |
| D90 | 14.2km | 14.4km | 14.1km |
| D95 | 15.1km | 15.2km | 14.6km |
| 地震個数N | 59002 | 19003 | 4849 |

(乙57, 61頁より)

【図表 4 2 微小地震記録を用いた検討】

c 断層の幅

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（F O - A ~ F O - B 断層，熊川断層及び上林川断層）については、上記（イ）bのとおり断層傾斜角が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。

ウ 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40, 73頁）。

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、上記イ（ア）で述べたとおり、震源として考慮する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40、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）⁸³の知見をもとに、Q値を $50f^{1.1}$ （fは地震波の周波数⁸⁴で、周波数毎にQ値は変化する）と設定した（乙57、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⁸⁵。

（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。

エ 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

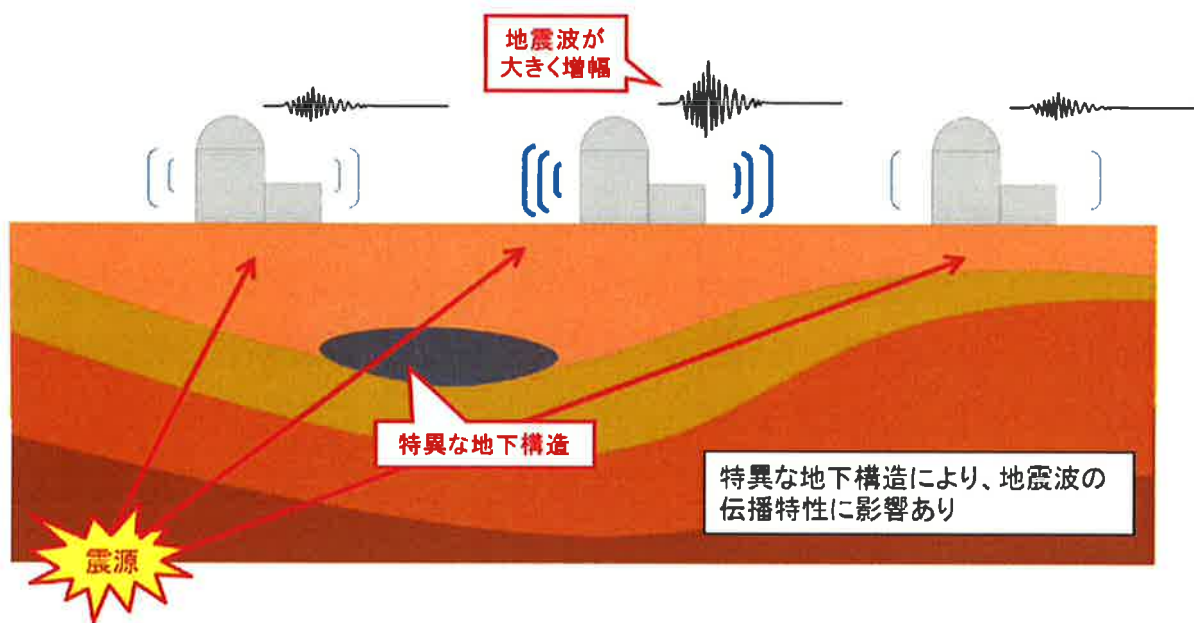
⁸³ 佐藤智美ほか「若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析」日本地震学会2007年秋季大会講演予稿集、286頁

⁸⁴ 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）。

⁸⁵ 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

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40，79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40，81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（図表43）。



（原子力規制委員会資料⁸⁶に一部加筆）

【図表43 特異な地下構造がある場合の影響のイメージ】

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、本件発電所敷地及び敷地周辺の地盤の速度構

⁸⁶ 原子力規制委員会「実用発電用原子炉に係る新規制基準について一概要」（平成28年2月17日）
（<http://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>）13頁

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、地下200m程度までの浅部地盤、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（乙70，5頁）。

以下、浅部地盤（下記（ア））と深部地盤（下記（イ））に分けて説明する。

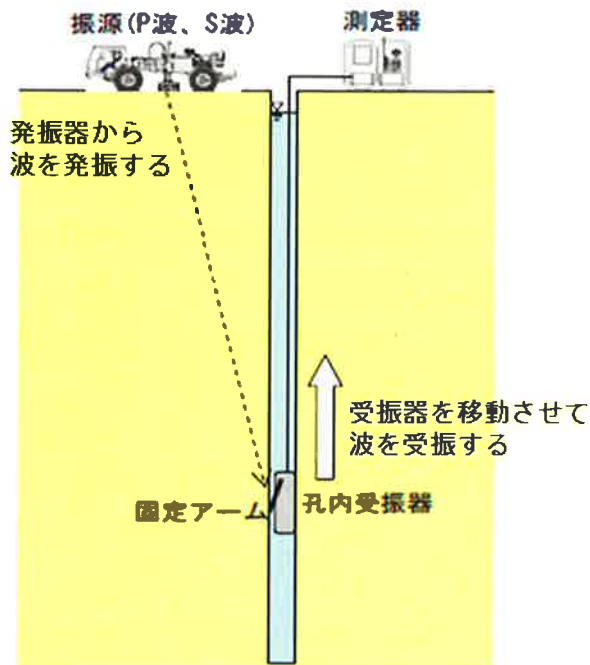
なお、一般的に、地震基盤面（S波速度が3km/s程度以上の層で、地震波が地盤の影響を大きく受けにくいところをいう）より浅い部分では、地表に近づくにつれてS波速度の小さい層となり、地震波が増幅される一方、地震基盤面から深さ十数kmまでの部分では、地震波は増幅しないとされている（乙72、「国立研究開発法人防災科学技術研究所ウェブサイト『地震ハザードステーション』用語集」）。

（ア）浅部地盤の速度構造に関する調査

債務者は、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（下記a）、試掘坑弾性波探査（下記b）、反射法地震探査（下記c）等を行い、それらの調査結果を総合して評価した（乙70，6～63頁）。

a P S検層

P S検層とは、縦方向に掘削したボーリング孔内で、人工的に発生させた波（P波・S波）が地盤内を伝播する状況を観測、解析し、深さ方向の速度構造を把握する調査手法である（図表44）。



【図表 4 4 P S 検層の例】

債務者は、ボーリング調査のために掘削した原子炉格納施設付近の穴を利用して、発振器による波を受振器で観測し、発振器から受振器までの距離と、発生させた波の伝播時間から、深さごとの波のP波速度及びS波速度を評価した。(乙70, 7頁)

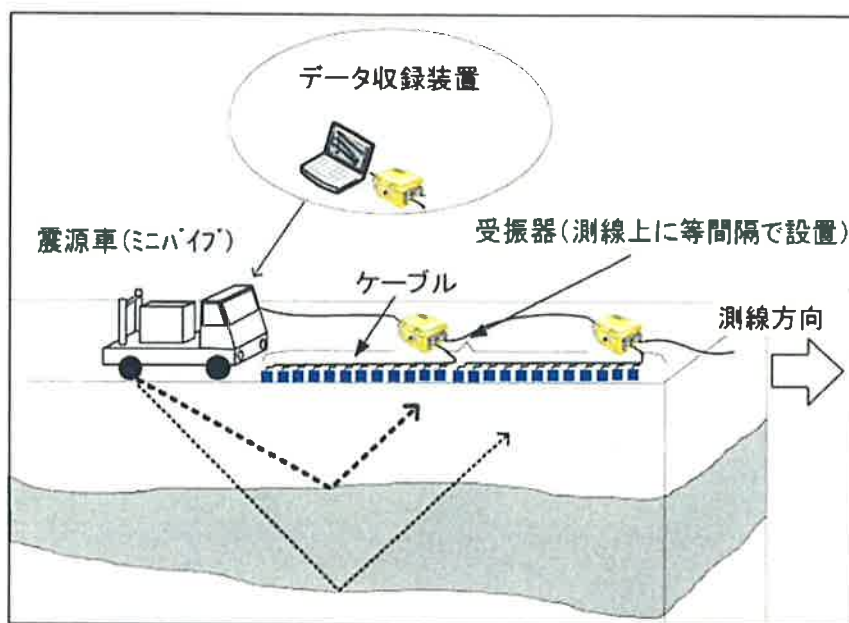
b 試掘坑弾性波探査

試掘坑弾性波探査とは、横方向に掘削した試掘坑内で人工的に発生させた波（P波・S波）が地盤内を伝播する状況を観測、解析し、速度構造を把握する調査手法である。

債務者は、原子炉格納施設付近の地質調査のために本件発電所の直下の地盤に掘った延長約670mの試掘坑を利用して、発破等により発生させた波を受振器で観測し、発振器から受振器までの距離と、発生させた波の伝播時間から、P波速度及びS波速度を評価した（乙70, 8～10頁）。

c 反射法地震探査

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である（図表45）。



【図表45 反射法地震探査】

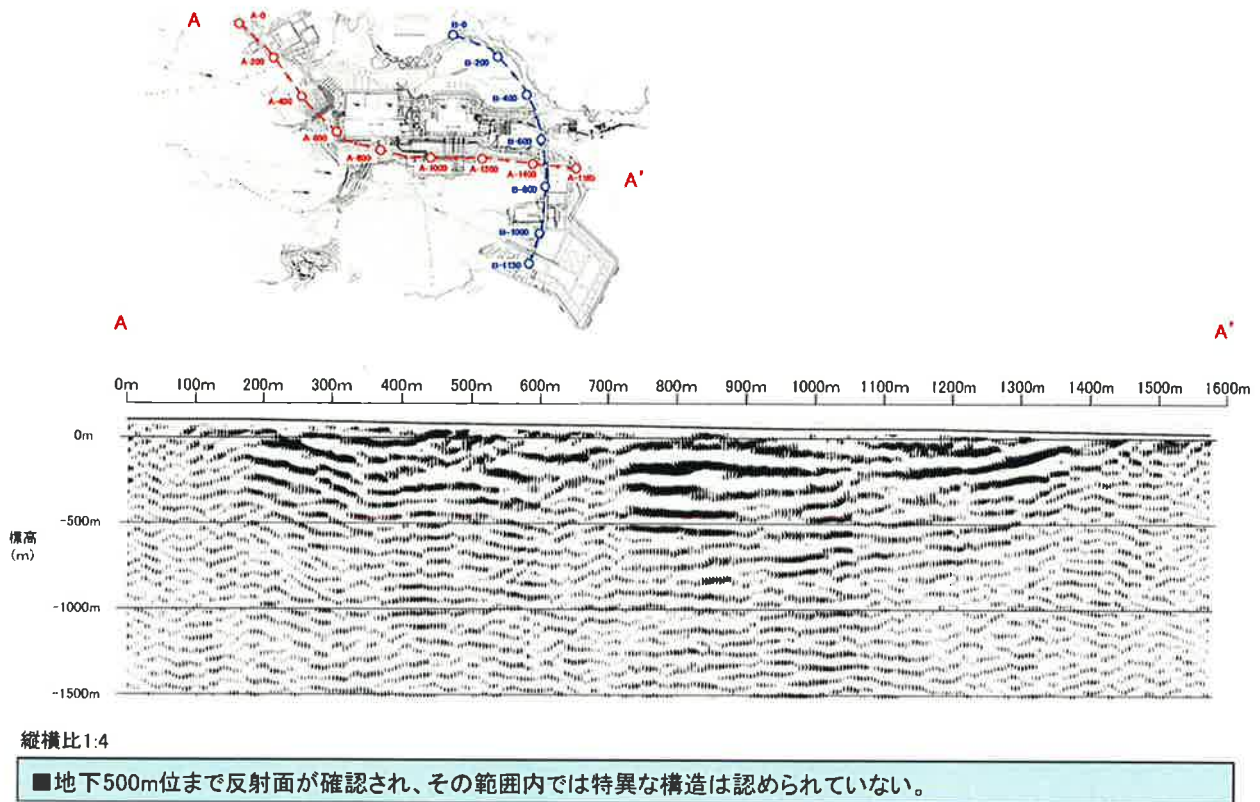
債務者は、本件発電所敷地内に設定した測線に沿って受振器を設置した上で、発振器を搭載した震源車により振動を発生させ、地中から反射してくる波を受振器で観測した（乙70，41頁）。

本件発電所敷地での反射法地震探査では、敷地内にA，B2本の測線を配置し（図表46及び47のそれぞれ上側の図。乙70，51頁及び56頁），各測線において、震源車に搭載した発振器から人工的に発した波を、測線上に約10m間隔で設置された受振器で観測した。この観測作業を、震源車の位置を変えながら繰り返して行い（A測線での発振点は45箇所，B測線での発振点は31箇所），それらのデータを解析する

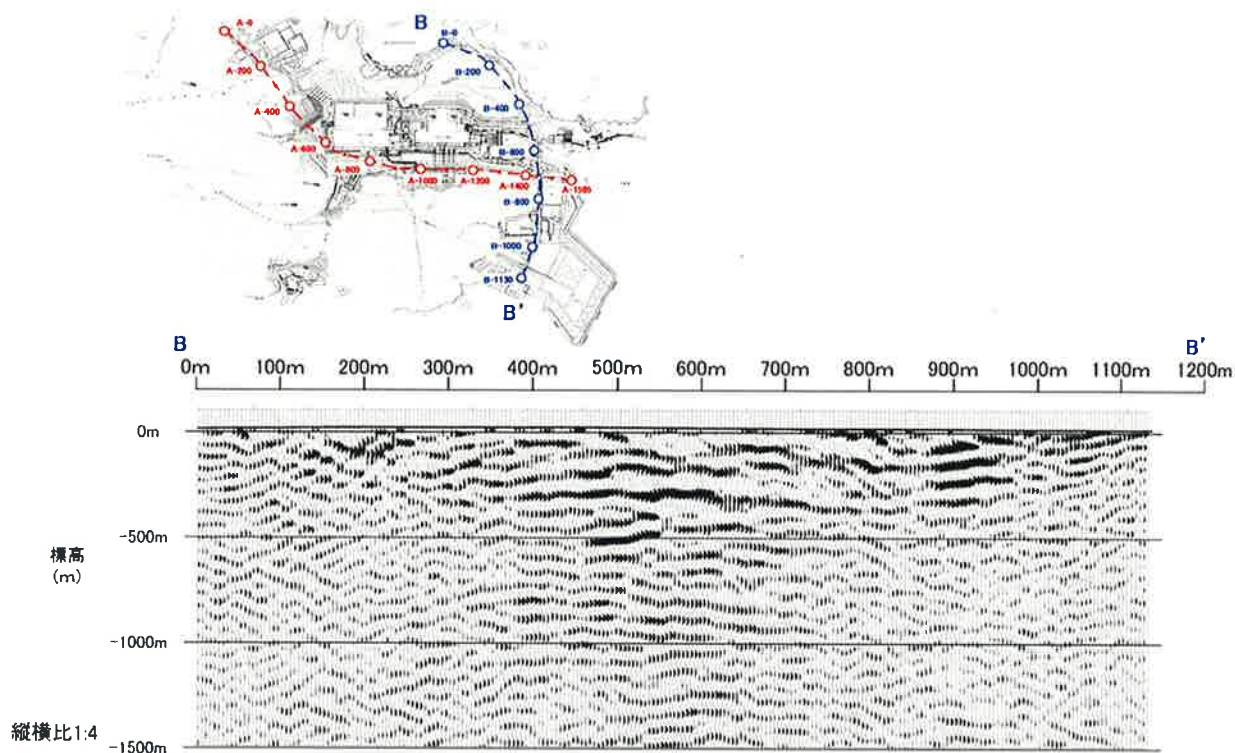
ことで地中の反射面（すなわち波の速度が変化する境界面）の位置、構造（速度構造）を評価した。

A、B両測線の解析結果は、図表4-6及び4-7のそれぞれ下側の図のとおりである。図の縦軸は地上からの深さ、横軸は測線上の距離を示しているところ、地中の反射面に極端な起伏がないことが確認できた。これにより、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。

（以上について、乙70、41～56頁）



【図表4-6 反射法地震探査結果（A測線）】



■地下500m位まで反射面が確認され、その範囲内では特異な構造は認められていない。

【図表 4 7 反射法地震探査結果（B測線）】

d 小括

上記のボーリング調査，P S 検層，試掘坑弾性波探査から，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70，7～12頁）。

（この評価を受けて，原子炉格納施設直下に解放基盤表面⁸⁷を設定した（乙5，添付書類六，6-5-7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70，51頁，56頁，63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

⁸⁷ 別紙1の4（2）を参照。

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）c）を作成することとした（乙5，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（下記a）及び微動アレイ観測（下記b）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70，64～115頁）。

a 地震波干渉法

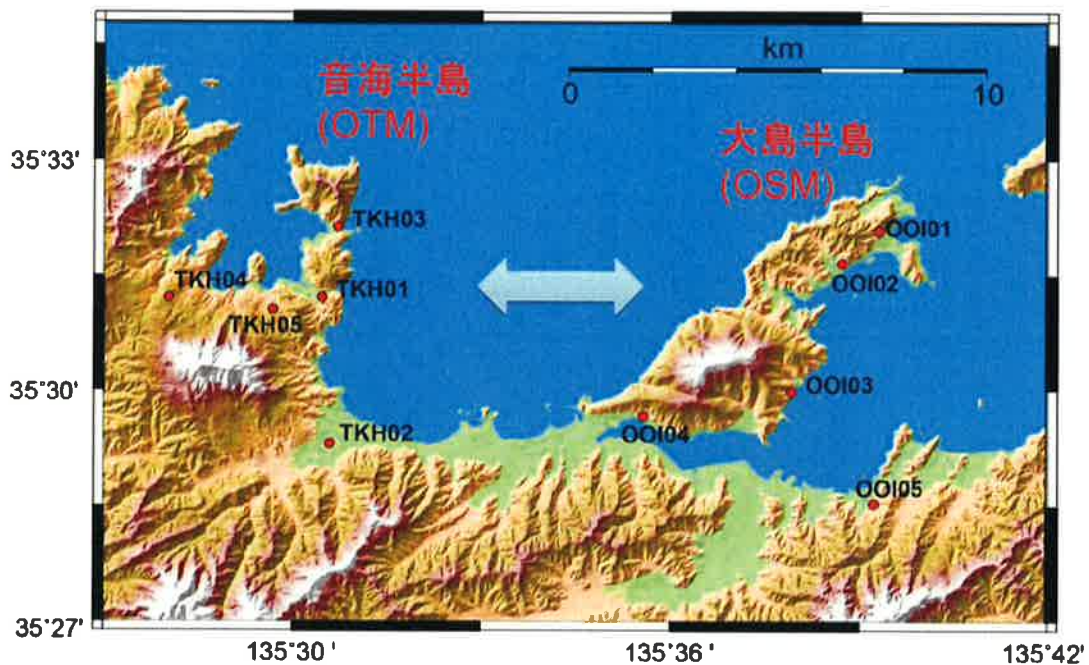
地震波干渉法とは、地表の離れた2点で常時微動を長期間連続的に観測してデータ解析を行い、2点間の波の伝わり方を求めることにより、2点間における地盤の速度構造を求める調査手法をいう。

2点間の常時微動記録を解析すると、2点間の波の伝わり方（これを「グリーン関数」⁸⁸という）を求めることができ、このグリーン関数から、波が地盤を伝わる際の波の周期ごとの速度（これを「位相速度」という）が求められ、これをもとに速度構造を評価することができる。なお、地震波干渉法は、広い範囲に地震計を設置する手法であるところ、地震計の間隔が広いと波長の長い長周期の波を把握しやすいことから、比較的長周期の揺れを調査するのに適している。

債務者は、大島半島（本件発電所側）及び音海半島（高浜発電所

⁸⁸ 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記第2の3）で債務者が用いる統計的グリーン関数法の「グリーン関数」と同義である。すなわち、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、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。

側)の各5地点に地震計を設置した(図表48。乙57, 51頁。本件発電所側は観測点「OOI01」ないし「OOI05」であり, 高浜発電所側は観測点「TKH01」ないし「TKH05」である。なお, 観測点OOI01は本件発電所敷地内に, TKH01は高浜発電所敷地内にある)。そして, 約半年間の観測記録を収集し, それをもとに本件発電所敷地の地盤の位相速度を求めた(乙70, 83頁, 101~102頁)。



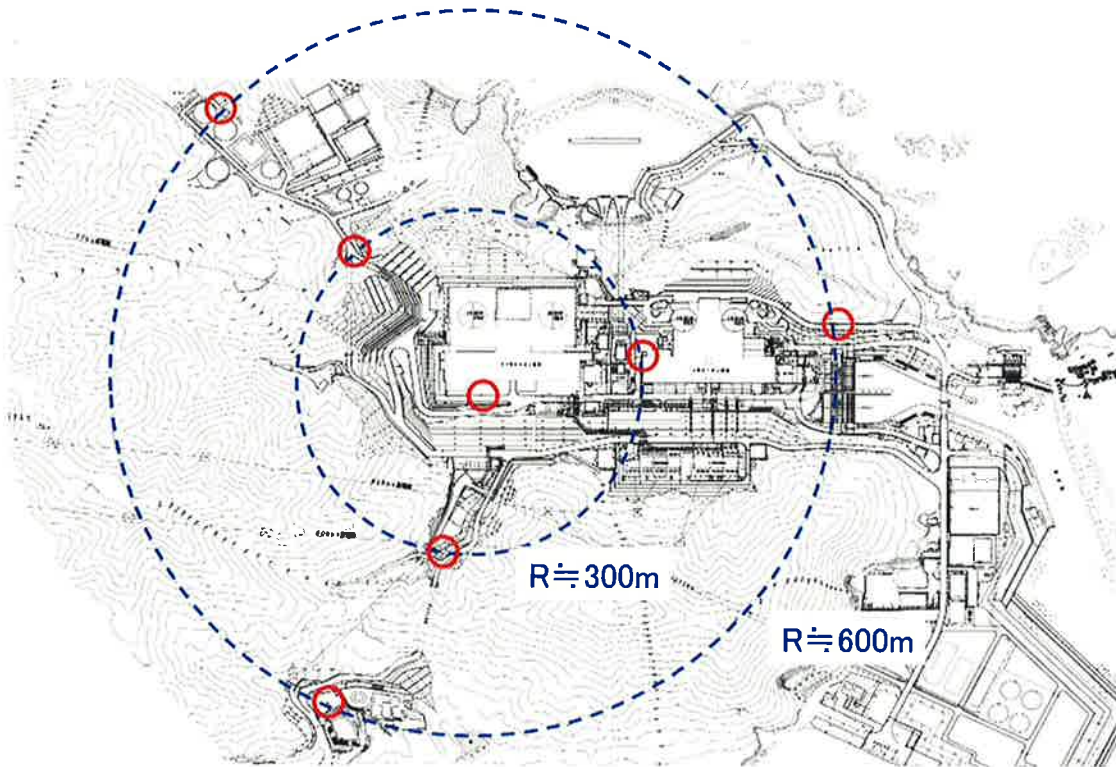
【図表48 常時微動観測のための地震計の設置位置】

b 微動アレイ観測

微動アレイ観測とは, 複数の地震計を地表に直線状・放射状等に連続して配置(アレイ配置)し, 常時微動を同時に観測して, データ解析により地震計を配置した付近の地盤の速度構造を求める調査手法をいう。なお, 微動アレイ観測は, 比較的狭い範囲に地震計を設置する手法であるところ, 地震計の間隔が狭いと波長の短い短周期の波を把握しやすいことから, 比較的短周期の揺れを調査するのに適している。

債務者は、本件発電所敷地内の7地点に地震計を設置して観測を行い（図表49の赤丸）、ここで得られた波形から位相速度を求めた（乙70、65～70頁）。

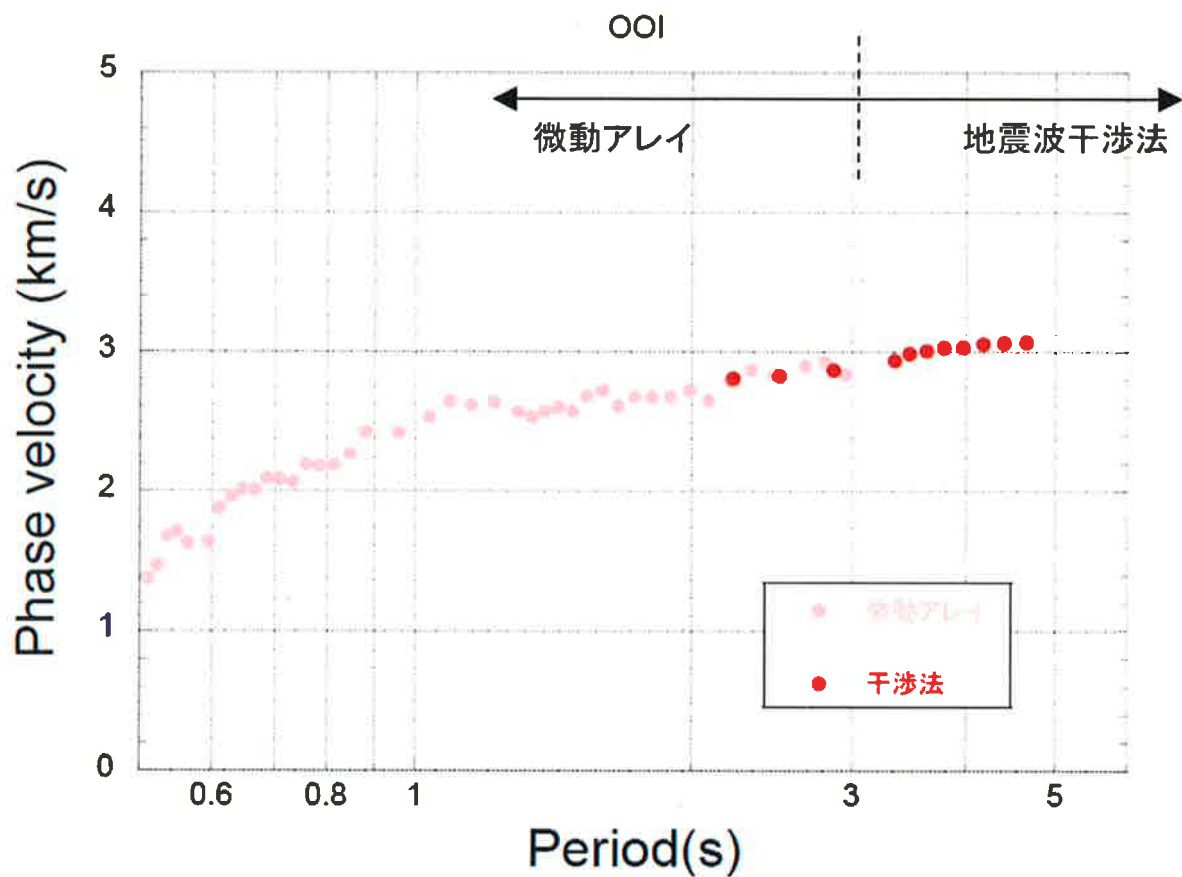
■大飯発電所敷地内で半径約600m・300mの微動アレイ観測を行う。



【図表49 微動アレイ観測のための地震計の設置位置】

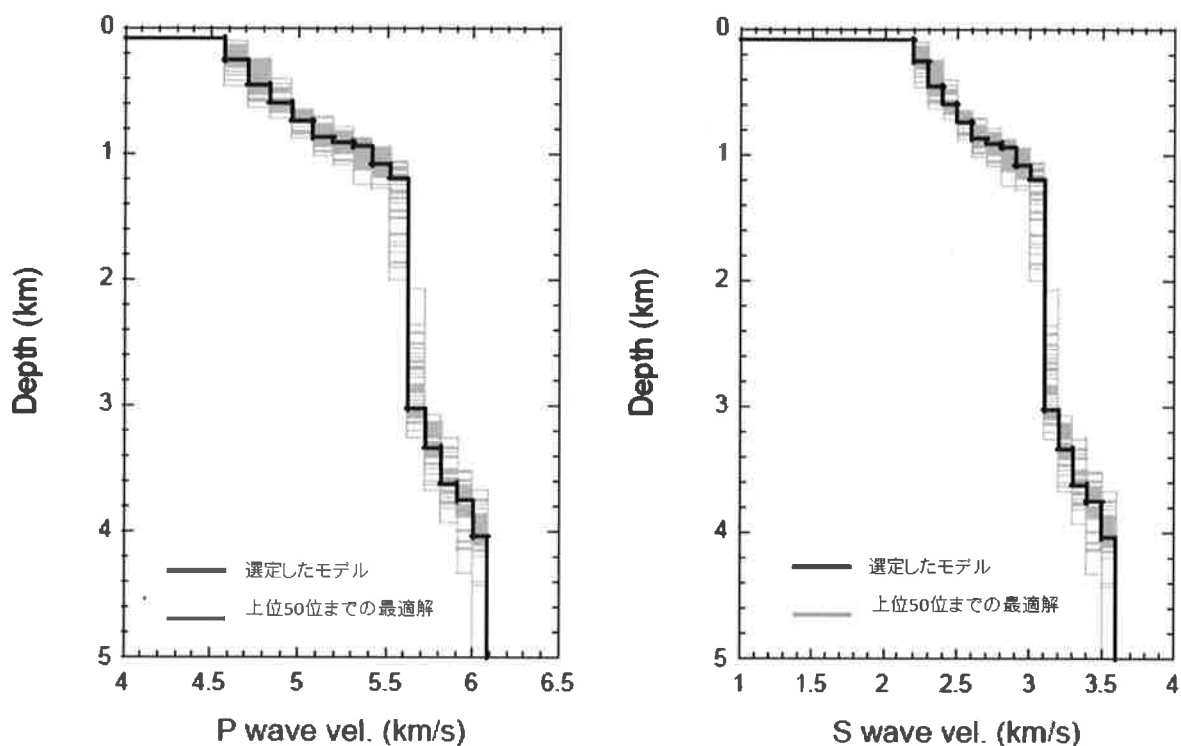
c 観測結果の解析

上記の、地震波干渉法及び微動アレイ観測のそれぞれにより求めた位相速度を合わせたのが図表50（乙70、104頁）である。



【図表 5 0 地震波干渉法及び微動アレイ観測による位相速度
(横軸：周期 (秒)，縦軸：位相速度 (km/s))】

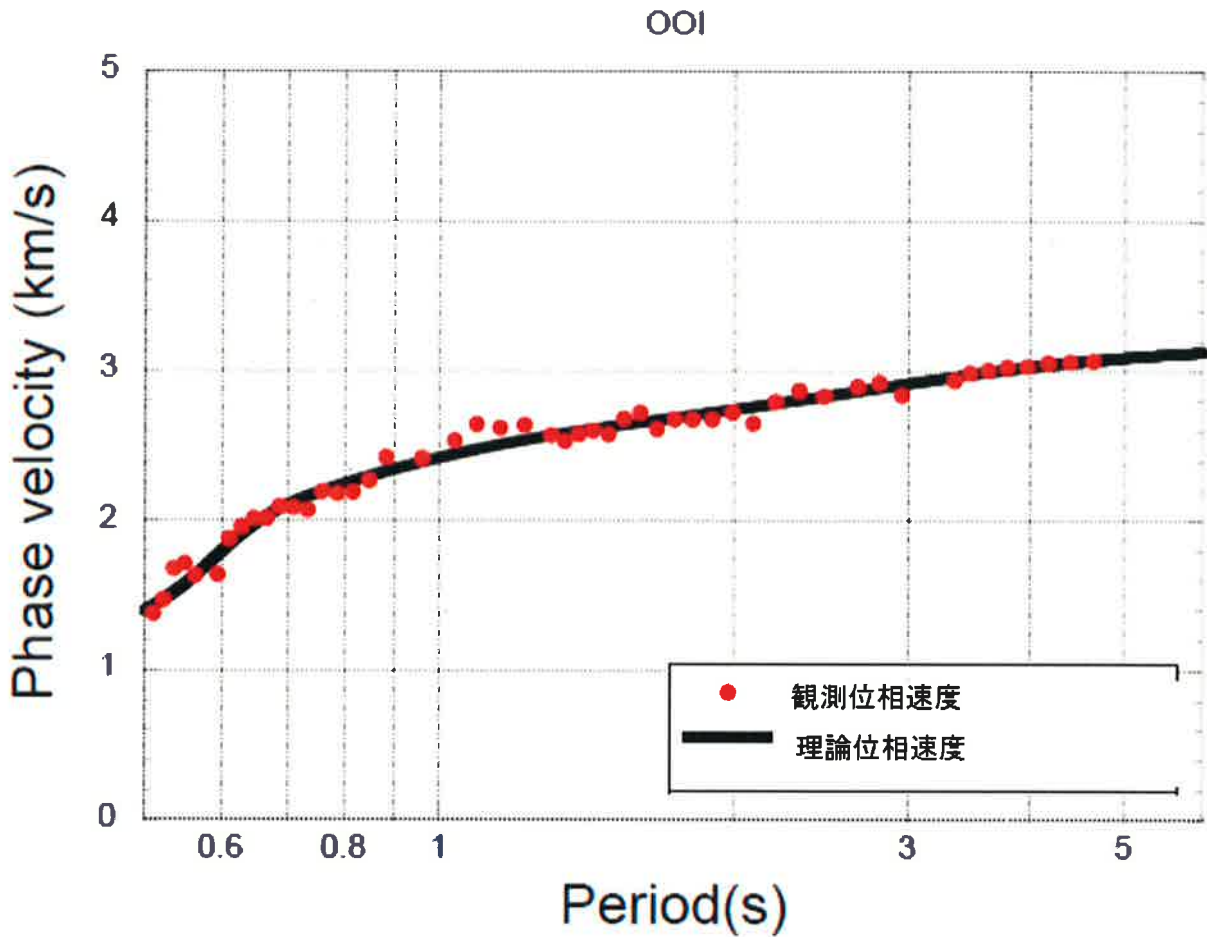
この位相速度に合うような地盤の一次元の速度構造モデル，すなわち，波の速度が変化する境界面（速度構造）が地表面と平行となっているモデルを解析により求めた結果，本件発電所敷地の地盤の速度構造モデルは，図表 5 1（乙70，107頁）のとおりとなった（同図内の「選定したモデル」の線。横軸が地震波の速度 (km/s)，縦軸が地中の深さ (km) であり，深くなるほど地震波の速度（P波速度，S波速度）が速くなっている）。



【図表 5 1 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)】

上記のとおり観測結果の解析から求めた一次元の速度構造モデルについて、当該モデルの諸元から位相速度を算出し、前出の観測結果による位相速度（上記の図表 5 0）と比較したところ、下記の図表 5 2（乙70、110頁）のとおりとなった。



【図表 5 2 速度構造モデル（図表 5 1）から求められる位相速度と
観測結果による位相速度（図表 5 0）との比較】

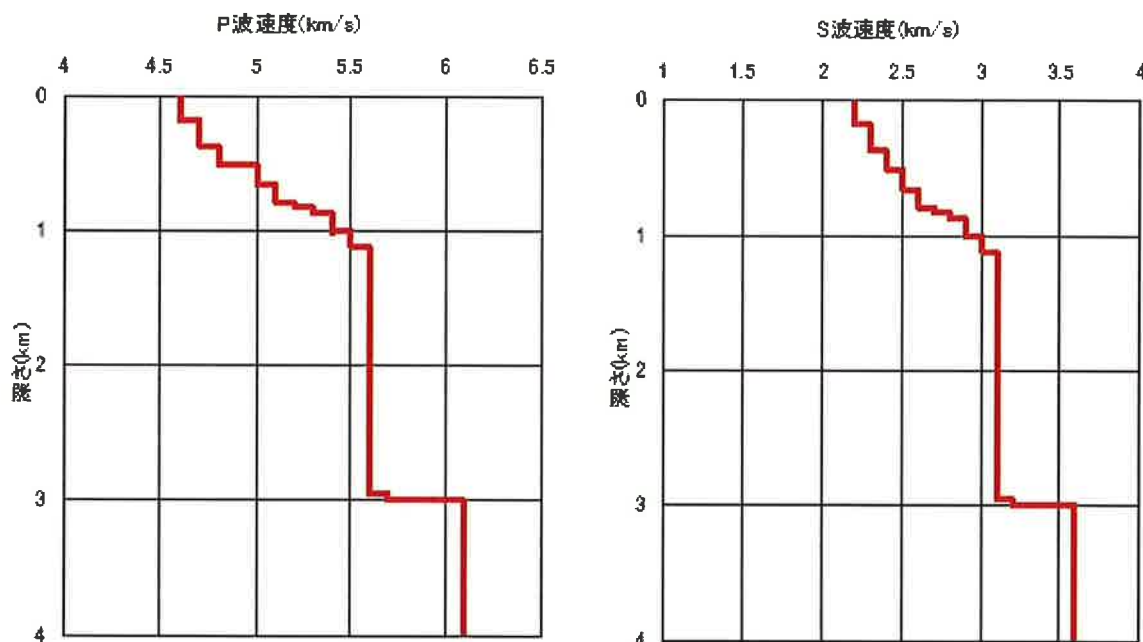
図表 5 2 に示されるとおり，一次元の速度構造モデルの諸元から算出した位相速度（同図内の「理論位相速度」の黒い線）は，観測結果による位相速度（同図内の「観測位相速度」の赤い点）と良く一致している。このことから，実際の本件発電所敷地の地盤の速度構造が，この一次元の速度構造モデル（波の速度が変化する境界面が地表面と平行となっており，局所的に地震波の集中をもたらすような特異な構造がない，成層のモデル）によって精度良く評価されていることを確認した。

(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、局部的に地震波の集中をもたらすような特異な速度構造がないことを確認した。

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（上記イ（ウ））を受けて、本件発電所敷地の地盤の速度構造モデルを図表53（乙5，添付書類六，6-5-72頁の第5.4.10図）のとおり設定した⁸⁹。

この速度構造モデルにより、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53 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）】

⁸⁹ 例えば、P波速度について説明すると、図表51の左のグラフにおいて、P波速度（横軸）が6.1km/sとなるのは深さ（縦軸）約4km以深であり、深さ3kmにおけるP波速度は5.7km/sであるとしていたところ、図表53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6.1km/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51及び53のそれぞれ右のグラフ）も同様である。

オ 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38の2、11～14頁）。