

令和3年(行々)第2号 執行停止申立事件

申立人 x1 外13名

相手方 国

参加人 関西電力株式会社

意 見 書 (3)

令和3年4月30日

大阪高等裁判所第6民事部C E係 御中

参加人代理人 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

弁護士 持 田 陽 一

目 次

第1 はじめに	8
第2 地震及び地震動に関する基本的事項	9
1 「地震」と「地震動」	9
2 地震発生様式による地震の分類	10
3 地震（特に内陸地殻内地震）の発生のメカニズム	12
4 地震動に影響を与える特性	15
5 基準地震動と時刻歴波形	19
6 基準地震動と応答スペクトル	21
第3 本件発電所における地震に対する安全性確保の概要	27
1 はじめに	27
2 基準地震動の策定手順	31
第4 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	34
1 敷地周辺の地震発生状況の調査・評価	36
(1) 設置許可基準規則等	36
(2) 参加人による調査・評価	36
2 活断層の分布状況の調査・評価	38
(1) 設置許可基準規則等	38
(2) 参加人による調査・評価	39
ア 震源断層と地表地震断層	39
イ 本件発電所の敷地周辺地域の特性	43
ウ 調査の具体的な内容	47
(ア) 文献調査	48
(イ) 陸域及び海域における調査	49
(ウ) 小括	57

工 調査結果に基づく評価（基本的な考え方）	58
才 調査結果に基づく評価（各断層の具体的な評価）	59
(ア) FO-A～FO-B断層	59
(イ) 熊川断層	65
(ウ) FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動	66
(エ) 上林川断層	85
(オ) 小括	87
カ 活断層の分布状況と検討用地震の候補	87
3 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	90
(1) 設置許可基準規則等	91
(2) 参加人による調査・評価	92
ア 震源特性	92
(ア) 断層の位置・長さ	92
(イ) 断層の傾き（断層傾斜角）	93
(ウ) 断層の幅（地震発生層の深さ）	94
(エ) 小括	100
イ 伝播特性	100
(ア) 幾何減衰	100
(イ) 内部減衰	101
(ウ) 小括	101
ウ 地盤の增幅特性（サイト特性）	101
(ア) 浅部地盤の速度構造に関する調査	103
(イ) 深部地盤の速度構造に関する調査	108
(ウ) 小括	114
エ まとめ	115
第5 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価	116

1 検討用地震の選定	118
(1) 設置許可基準規則等	118
(2) 本件発電所における検討用地震の選定	118
2 応答スペクトルに基づく地震動評価	120
(1) 設置許可基準規則等	120
(2) 本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」	121
ア 距離減衰式の選定	121
(ア) 「耐専式」の選定	121
(イ) 耐専式の適用が不適当な場合の取扱い（各種距離減衰式）	124
イ F O-A～F O-B～熊川断層の地震動の応答スペクトル	128
ウ 上林川断層の地震動評価	132
3 断層モデルを用いた手法による地震動評価	141
(1) 設置許可基準規則等	142
(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」	143
ア 参加人の評価手法の概要	143
イ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）	145
(ア) 各パラメータの設定	145
(イ) その他のパラメータ設定	156
(ウ) パラメータ設定のまとめ	163
ウ 地震波の伝播特性、地盤の增幅特性（サイト特性）の評価	165
エ 地震動評価結果	166
4 不確かさの考慮に関する補足説明	170
(1) 設置許可基準規則等	170
(2) 本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮	171
第6 「震源を特定せず策定する地震動」の評価	178
1 設置許可基準規則等	178

2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価	179
(1) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル	179
(2) 地震ガイドに例示されている 16 地震	181
ア Mw6.5 以上の 2 地震	183
イ Mw6.5 未満の 14 地震	185
ウ 地震動評価結果	187
第 7 基準地震動の策定	189
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	189
(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	189
(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	191
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	193
3 小括	194
第 8 基準地震動の年超過確率	197
1 設置許可基準規則等	197
2 本件発電所の基準地震動の年超過確率	198
第 9 本件発電所の耐震安全性	201
1 本件発電所の耐震安全性評価	202
(1) 設置許可基準規則等	202
(2) 耐震設計における基本的な考え方	204
(3) 耐震重要度分類	207
(4) 基準地震動に対する耐震安全性評価	210
(5) 耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事	217
2 本件発電所の耐震安全上の余裕	219
(1) 基準地震動による地震力に対して有する余裕	219

(2) 耐震安全上の余裕の実証例等	230
第10 結語	237

第1 はじめに

1 申立人らは、執行停止の申立書（以下、「本件申立書」という）において、原子力規制委員会が平成29年5月24日付けで相手方参加人（以下、「参加人」という）に対してした大飯発電所3号機及び4号機（以下、「本件発電所」という）に係る発電用原子炉の設置変更許可処分（以下、「本件処分」という）について、①本件処分が違法である（本案について理由がないとはみえない）と指摘したうえで、②本件処分により生ずる重大な損害を避けるため緊急の必要がある、③公共の福祉に重大な影響を及ぼすおそれがないなどと主張して、本件処分の効力の執行停止を求めている（以下、「本件申立て」という）。

しかし、令和3年4月30日付参加人意見書（1）（以下、「参加人意見書（1）」といい、他の書面の略称もこの例による）で述べたとおり、本件申立てには理由がないから、速やかに却下されるべきである。

本書面は、参加人による本件発電所の基準地震動の策定過程（基準地震動に関する本件処分に係る許可申請の内容）及び本件発電所の耐震安全性について、詳しく述べるものである。

具体的には、まず、下記第2において基準地震動について述べる前提として必要な地震及び地震動に関する基本的事項について説明する。そして、下記第3において本件発電所における地震に対する安全性確保の概要について説明した上で、地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価（下記第4）、「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」）（下記第5）、「震源を特定せず策定する地震動」の評価（下記第6）、基準地震動の策定（下記第7）、基準地震動の年超過確率（下記第8）及び本件発電所の耐震安全性（下記第9）について順次述べる。

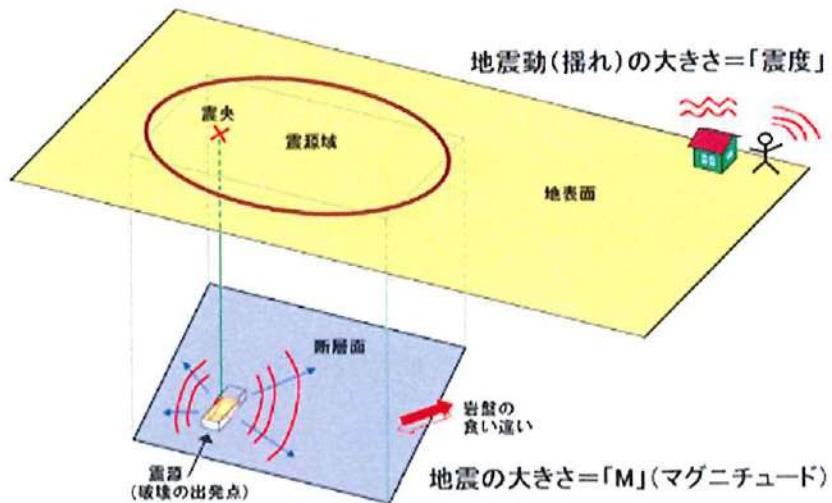
第2 地震及び地震動に関する基本的事項

1 「地震」と「地震動」

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

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

¹ 気象庁の震度階級は平成8年（1996年）に改訂されており、それまで震度0～Ⅶ（ローマ数字）の8段階で表されていたものが、震度0～7で表されるようになり、さらに震度5と震度6が「弱」「強」の2段階に分けられたことで、合計10段階となった。



(防災科学技術研究所ウェブサイトより)

【図表1 「震度」と「マグニチュード】

2 地震発生様式による地震の分類

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

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

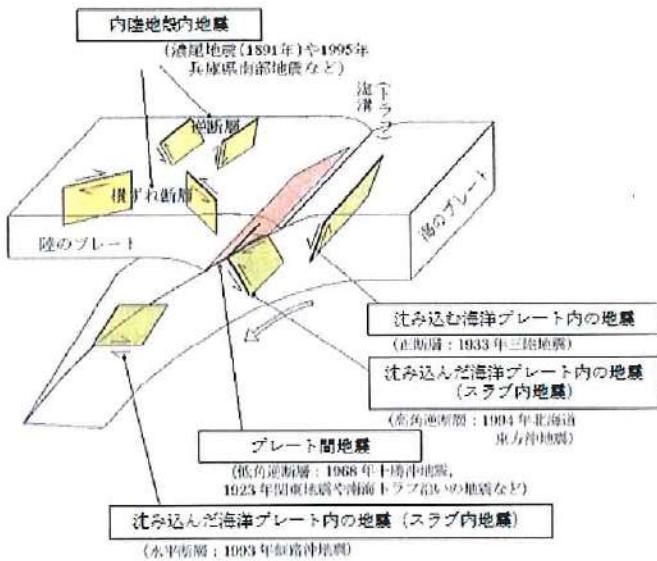


【図表2　日本列島周辺のプレート】

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

海岸のやや沖合いで起こるものも含め、陸のプレートの内部で発生する地震を「内陸地殻内地震」、陸のプレートと海のプレートの境界で発生する地震を「プレート間地震」、海のプレートの内部で発生する地震を「海洋プレート内地震²」という（図表3）。

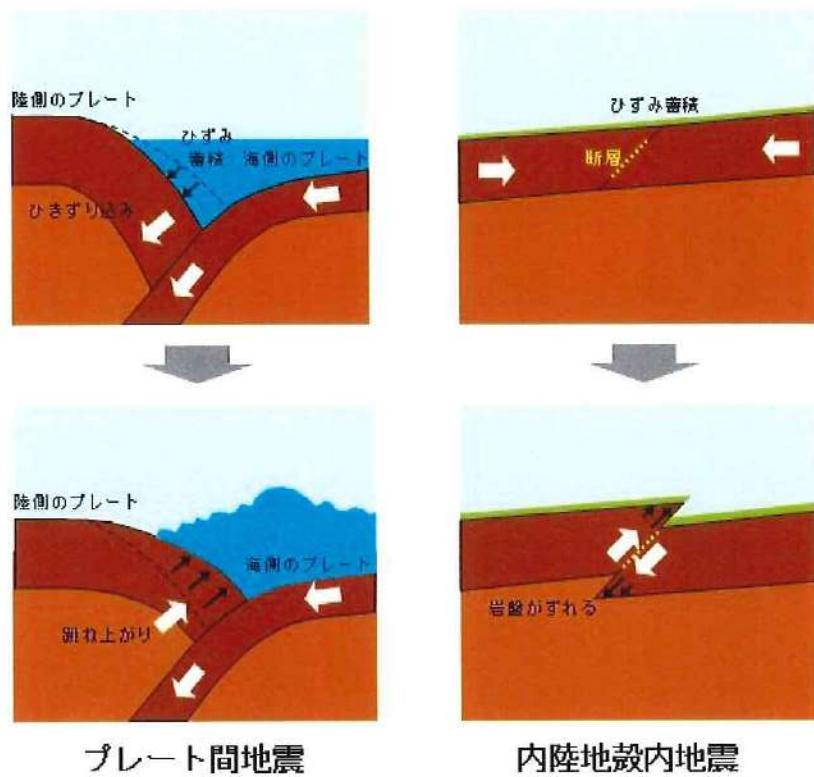
² 海洋プレート内地震については、海溝軸付近ないしその沖合いで発生する「沈み込む海洋プレート内の地震（アウターライズ地震）」と、海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）」の2種類に分けられる。



【図表3 地震発生様式による地震の分類】

3 地震（特に内陸地殻内地震）の発生のメカニズム

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



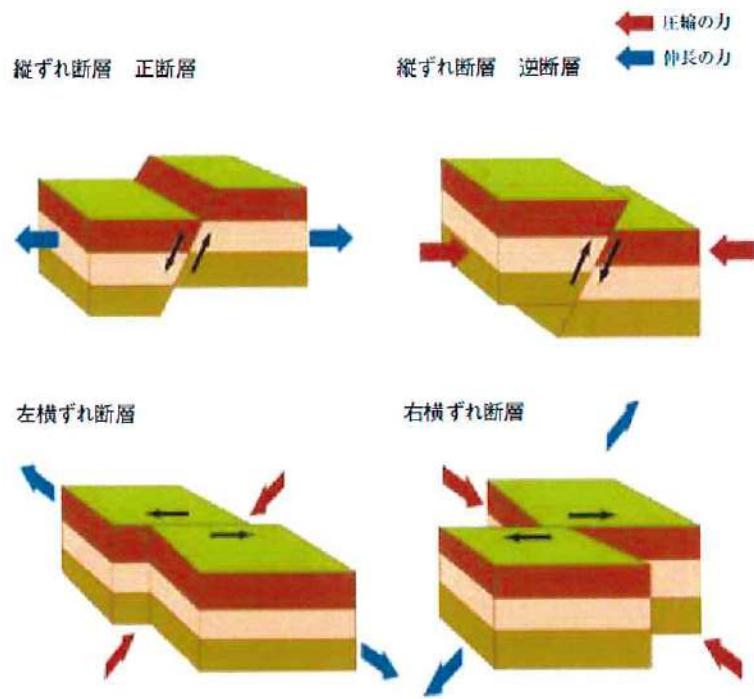
【図表4 地震発生のメカニズム】

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

断層面を境として両側のブロックが上下方向に動く場合を「縦ずれ断層」といい、特に、傾斜している断層面上に乗っている岩盤（上盤）がずり下がる場合を「正断層³」（図表5、左上）、上盤が乗り上がる場合を「逆断層」（同、右上）という。他方、両側のブロックが水平方向に動く場合を「横ずれ断層」といい、特に、断層面の手前から見て相手側のブロックが左に動く

³ 日本列島は、海のプレート（太平洋プレートやフィリピン海プレート）が陸のプレート（ユーラシアプレートや北米プレート）を押す形で（陸のプレートの下に）沈みこんでいるため、列島全体に東西方向ないし北西－南東方向の圧縮の力（応力）が働いている。このため、日本の内陸地殻内地震は、多くが逆断層型あるいは横ずれ型の地震であり、正断層型の地震は、九州等の一部の地域を除いてあまり見られない。

場合を「左横ずれ断層」(同、左下)、右に動く場合を「右横ずれ断層」(同、右下)という。



(地震調査研究推進本部ウェブサイトより)

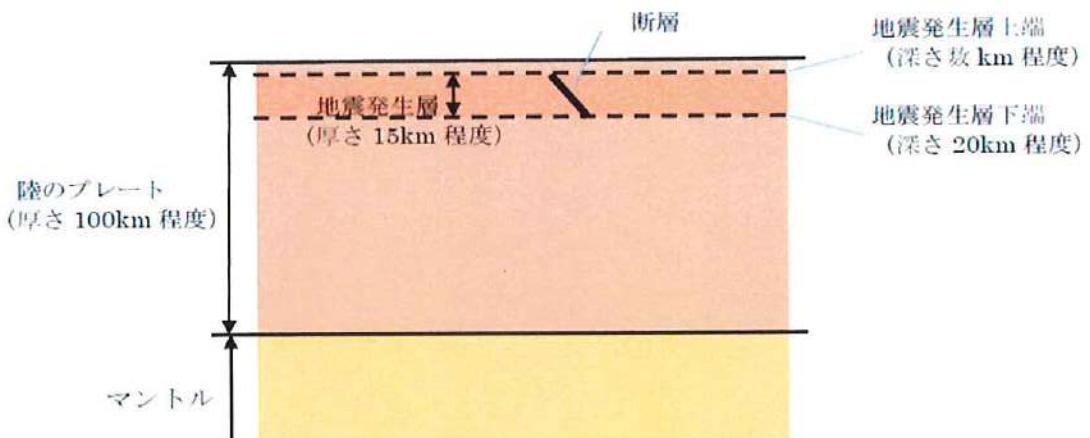
【図表5 断層運動のタイプ】

(3) なお、プレート間地震と内陸地殻内地震とでは、発生する地震の規模等にも差があるとされており、プレート間地震については、時としてマグニチュード8級に達する海溝型巨大地震が生起しているのに対し、内陸地殻内地震については通常マグニチュード7級どまりであるとされている（疎丙54、「地震の基礎知識とその観測」「第1部 地震の基礎知識」(4.2 地震の発生様式と火山))。

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

とに起因すると考えられる。

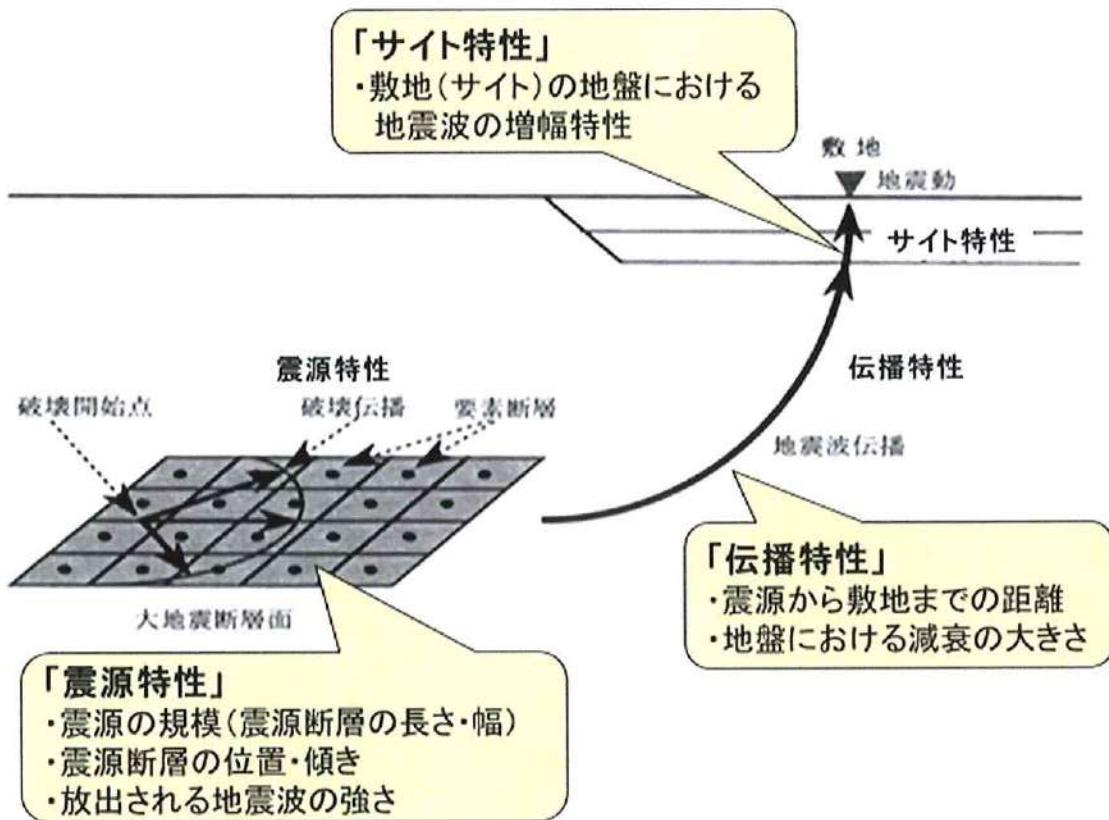
すなわち、内陸地殻内地震は、岩盤がずれ動くことにより発生するものであるから、地震波を放出するためのエネルギー（ひずみ）が蓄えられる環境でなければ発生しない。この点、「陸域では、地震を発生させるような硬さを持つ岩盤が存在するのは、せいぜい地下15～20km程度の深さまで、それより深いところでは、岩盤に力がかかっても急激な破壊は起こさず、ゆっくり変形してしまうと考えられて」おり、「陸域で発生する規模の大きな地震は、その震源が20km程度より浅くな」る（疎丙55、「日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－」、22頁右段、(2)第1段落）。他方、地表から深さ数km程度までの部分も、地震を発生させ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（図表6）。



【図表6 内陸地殻内地震の地震発生層】

4 地震動に影響を与える特性

地震動とは、特定の地点における地盤の揺れのことであるが、特定の地点における地震動がどのようなものになるかは、①震源特性、②伝播特性、及び③地盤の增幅特性（サイト特性）によって大きく影響を受ける（図表7）。



【図表7 地震動評価において考慮する特性】

地震は、地下の岩盤が周囲から力を受けることによってある面（震源断層面）を境として破壊する（ずれる）現象であり、ある点（破壊開始点）からはじまった破壊が震源断層面を伝播していき、地震波（P波、S波⁴）が逐次放出される。この震源から放出される地震波の性質（振幅、周期特性等）は、震源断層面の大きさ、震源断層面の破壊の仕方（破壊伝播方向、破壊伝播速度⁵等）等によって決まる。このような震源に関する特性を、①震源特性という。

⁴ 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。

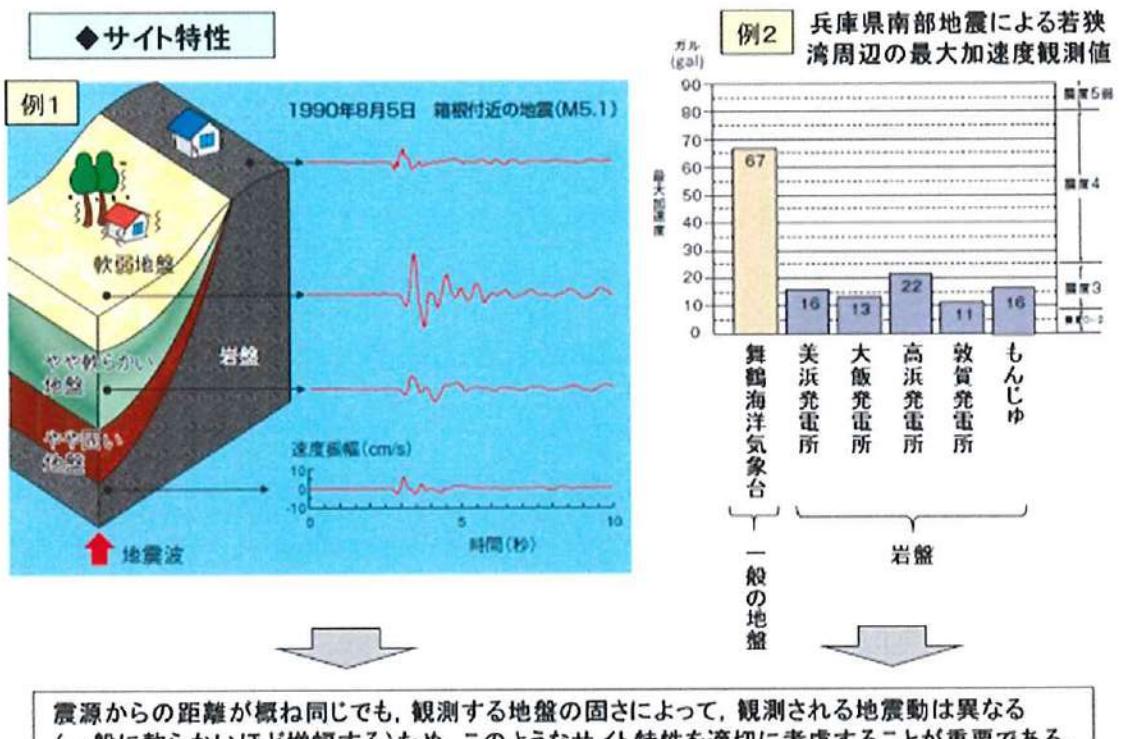
⁵ 破壊伝播速度とは、断層の破壊開始点から、破壊が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。破壊伝播速度が上がると、短い時間で震源断層上の破壊が完了するため、より短い時間に多くの地震波が評価地点に到達することとなり、当該地点により大きな地震動をもたらすことになる。

また、震源断層面から放出された地震波は、震源からの距離（伝播していく距離）とともにその振幅を減じながら地下の岩盤中を伝播していく。この伝播に関する特性を、②伝播特性⁶という。

さらに、建物等の構造物周辺の地盤まで伝播してきた地震波の振幅は、地盤の速度構造⁷の影響を受ける。例えば、硬い地盤（地震波の伝播速度が速い）から軟らかい地盤（地震波の伝播速度が遅い）に伝わる際には、地震波の振幅が増加することから、軟らかい地盤上の地点では、硬い岩盤上の地点に比べて大きな揺れ（地震動）になる（地震動の増幅）（疎丙 56、「地震がわかる！Q & A」、13 頁）。岩盤上の観測地震波と軟弱地盤上の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生じる場合もある（図表 8）。このような建物等の構造物周辺の地盤での特性を、③地盤の増幅特性（サイト特性）という。

⁶ ③地盤の増幅特性（サイト特性）のことも含めて、地震波の伝播特性と呼ばれることがある。

⁷ 地盤には硬い地盤や軟らかい地盤があるが、一般的に深くなるほど硬くなる。また、地震波（P 波、S 波）は硬い地盤では速く、軟らかい地盤では遅く伝播する。速度構造とは、これらの地震波の伝播速度の、地盤における分布状況のことをいい、通常、地盤の地質・地質構造等による影響を受ける。一般的に、地震波が地中深くの硬い岩盤から地表の軟らかい地盤へ向かって伝わると、地震波の振幅は大きくなっていく。



震源からの距離が概ね同じでも、観測する地盤の固さによって、観測される地震動は異なる（一般に軟らかいほど増幅する）ため、このようなサイト特性を適切に考慮することが重要である。

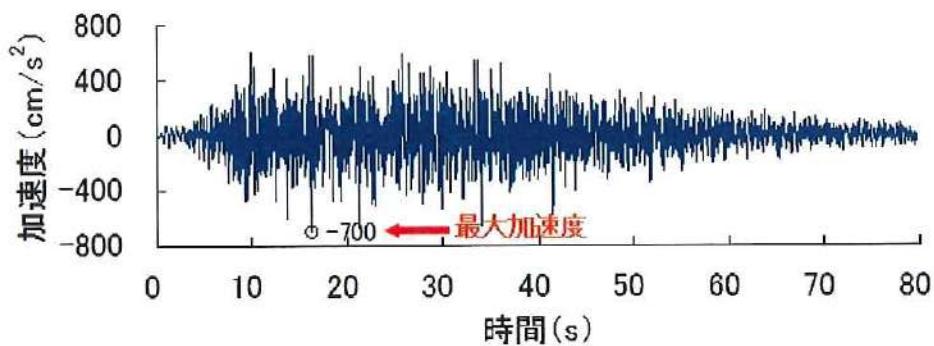
【図表8 地盤の増幅特性（サイト特性）の例】

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

下構造等に関する調査や評価を実施し、地域性の違いを十分に考慮することが必要不可欠なのである。

5 基準地震動と時刻歴波形

(1) ある地震によって放出された地震波が発電所敷地に達した際の時々刻々の地盤の揺れは、「時刻歴波形」によって表現される。時刻歴波形は、横軸に時間をとり、縦軸には加速度、速度又は変位をとる。参加人が用いているのは縦軸に加速度をとった「加速度時刻歴波形」である。(図表9)



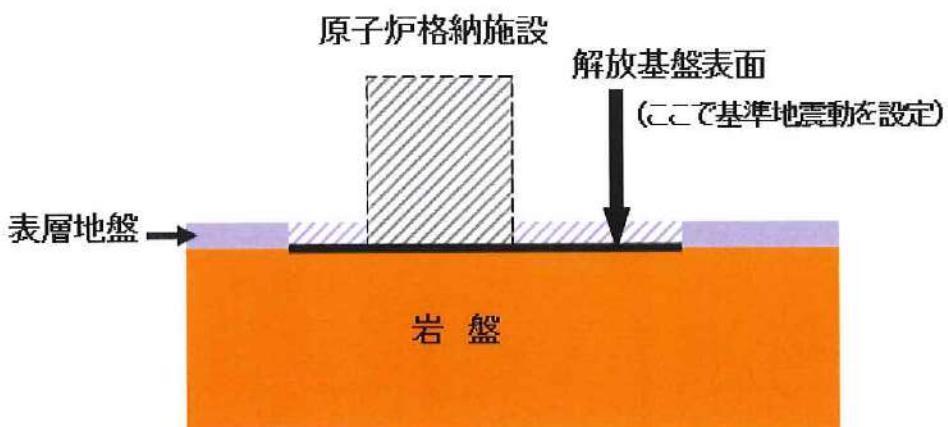
【図表9 加速度時刻歴波形の例】

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

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

準規則解釈⁸別記2第4条5項1号、疎乙3、134頁)。

解放基盤表面の設定位置(深さ)は原子力発電所によって異なるが⁹、参加人は、上記の要求事項を踏まえ、本件発電所においては、後記第4の3(2)ウのとおり地表面付近にS波速度約2.2km/s程度の硬質な岩盤がほぼ均質に広がっていることから、原子炉格納施設直下に解放基盤表面を設定している(図表10)。



【図表10 本件発電所の解放基盤表面の模式図】

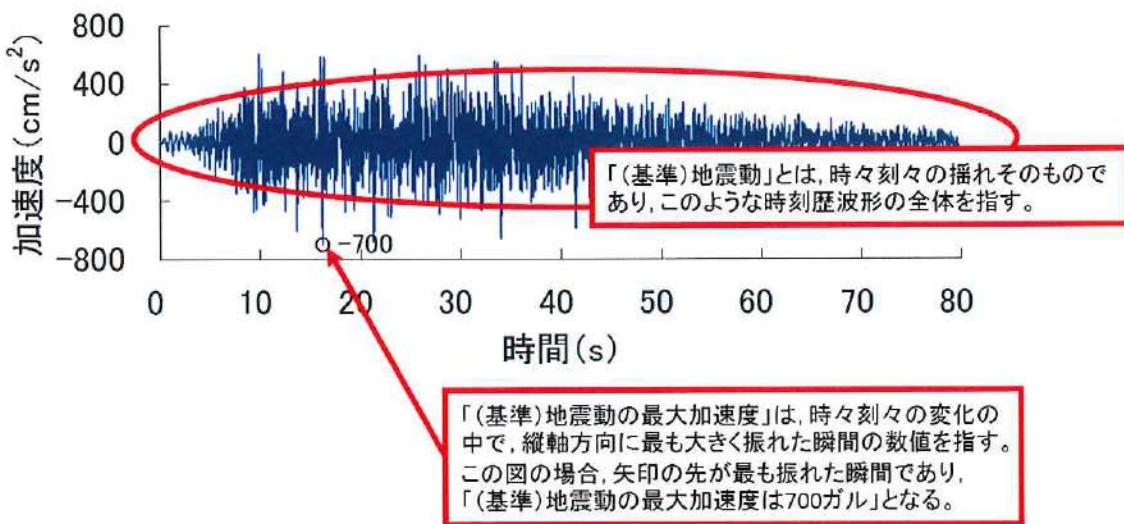
(3) 上記(1)で述べた時刻歴波形において、基準地震動の最大加速度は、縦軸方向に最も大きく振れた瞬間の数値を指す。図表11の時刻歴波形(本件発電所の基準地震動S.s-1(水平方向)の時刻歴波形)では、揺れが始まつてから15秒付近で瞬間に700ガル(ガル=cm/s²(図表9及び11の縦軸の単位))となり、これがこの基準地震動における最大加速度となる。

しかし、図表11から明らかなるとおり、最大加速度を観測する時間の前後

⁸ 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の解釈」である。

⁹ 例えば、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所では、地表面付近から深さ150~300m程度までは比較的軟らかい地盤が分布しており、解放基盤表面に該当する岩盤は、それ以深に存在している。なお、同発電所の解放基盤表面は、S波速度700m/s~730m/s程度の岩盤に設定されている。

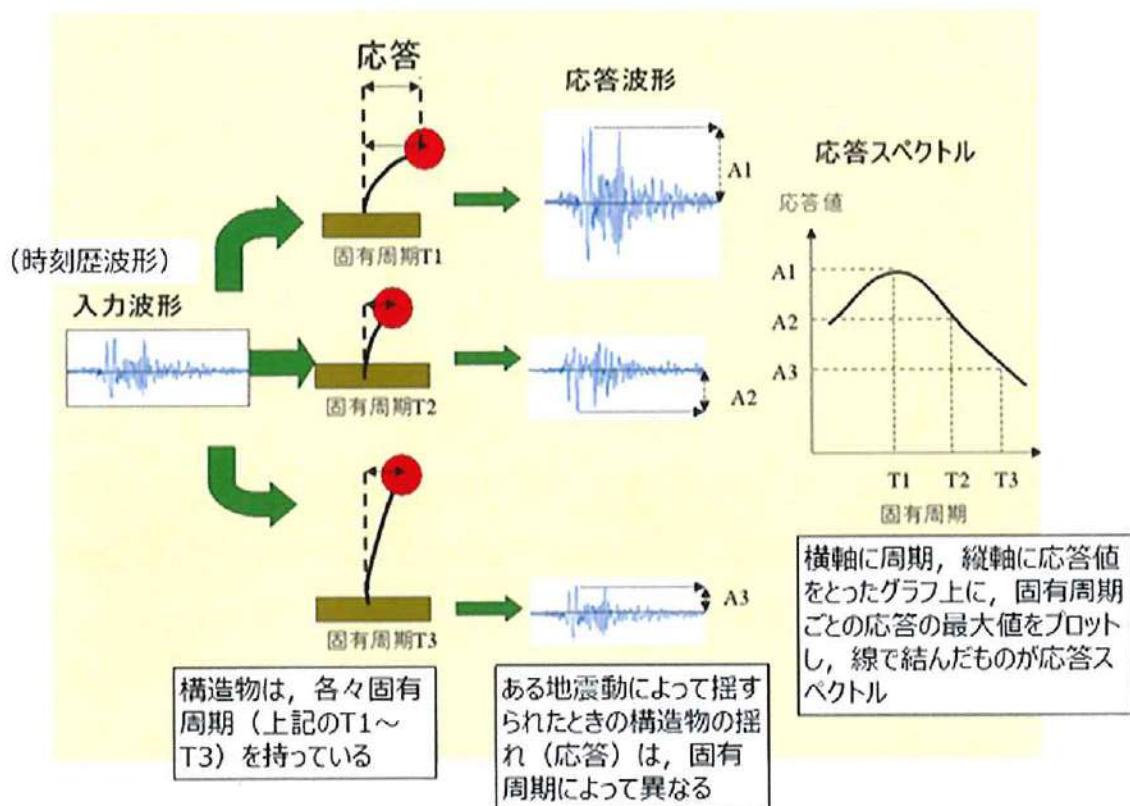
で数十秒間揺れが生じており、これらの揺れも原子力発電所に影響を与える。耐震安全性評価に用いる基準地震動は、この揺れ全体を指すのであり、「基準地震動の最大加速度」は、基準地震動の姿を評価するための数値の一つに過ぎない。



【図表1 1 基準地震動の時刻歴波形と最大加速度】

6 基準地震動と応答スペクトル

(1) 上記5で述べた時刻歴波形で表現される基準地震動は、短周期の波から長周期の波まで、様々な周期の波が含まれた複雑な波である。一方、建物等の構造物はそれぞれ特定の揺れやすい周期（固有周期）を持っている。そこで、原子力発電所の耐震安全性の評価にあたっては、ある一つの基準地震動の時刻歴波形が与えられた場合に、各々固有周期を持つ様々な構造物が揺すられる際の加速度・速度・変位を、固有周期を横軸にとって並べた「応答スペクトル」（図表1 2）を利用している。



(気象庁ウェブサイトに一部加筆)

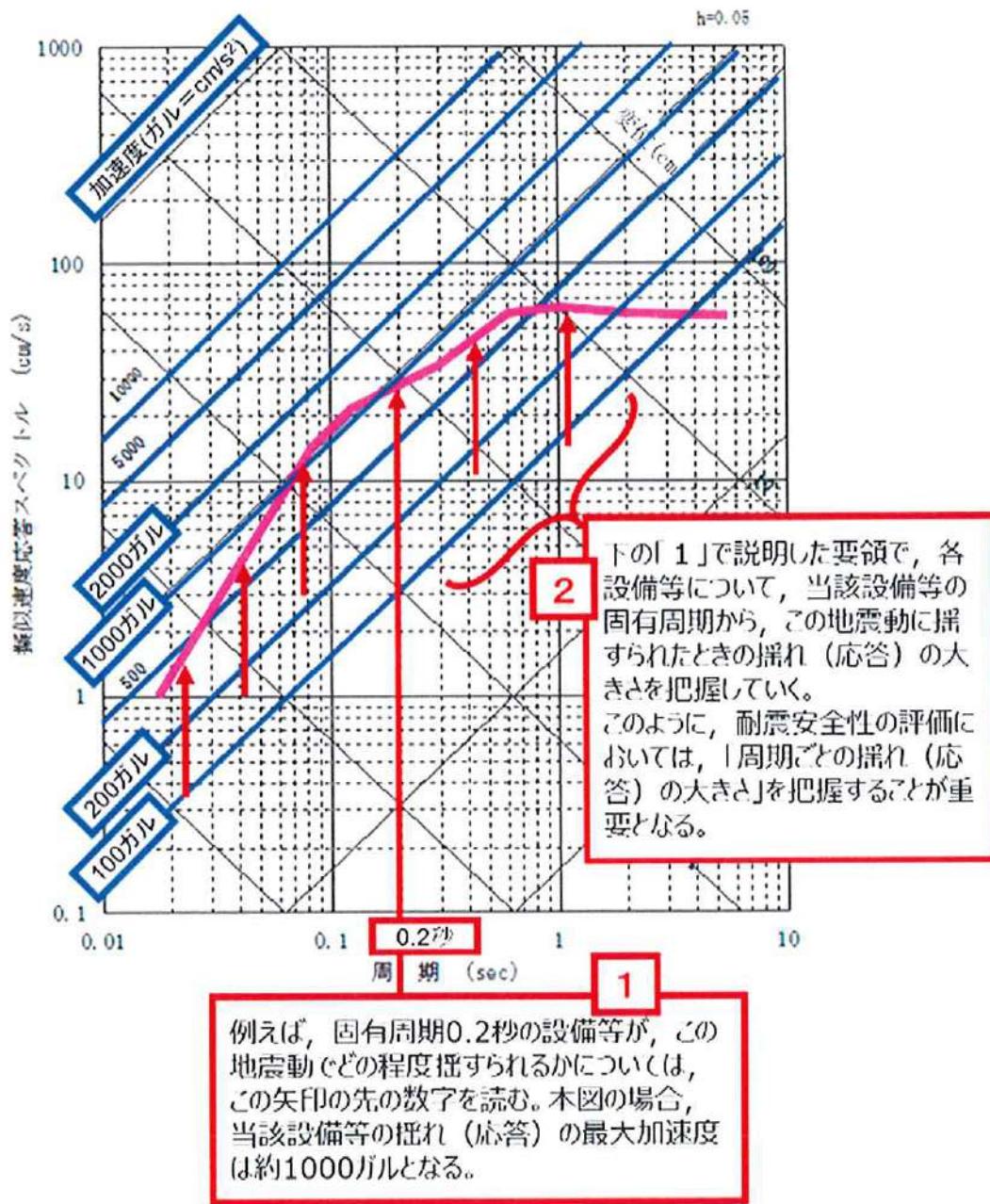
【図表12 応答スペクトル】

(2) 応答スペクトルの一例を図表13のとおり示す。横軸は構造物の固有周期（単位：秒（sec））、縦軸は構造物の揺れの速度（単位：cm/s）、右上がりの斜線は構造物の揺れの加速度（単位：ガル=cm/s²）、右下がりの斜線は構造物の揺れの変位（揺れ幅、単位：cm）の目盛りである。同図のように、1枚の図で、構造物の揺れ（応答）の大きさとして、加速度、速度、変位それぞれの各周期ごとの最大値が分かるようにしたグラフを「トリバタイト図」という。

例えば、固有周期0.2秒の設備等が、この地震動でどの程度揺すられるかについては、横軸の0.2秒のところから伸びる赤色の長い矢印の先の値を読む。この場合、当該設備等の揺れ（応答）の最大加速度は約1000ガルとなる。耐

震安全性評価にあたっては、これと同じ要領で、各設備等について、当該設備等の固有周期から、この地震動に揺すられたときの揺れ（応答）の大きさを把握していくことになる。

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

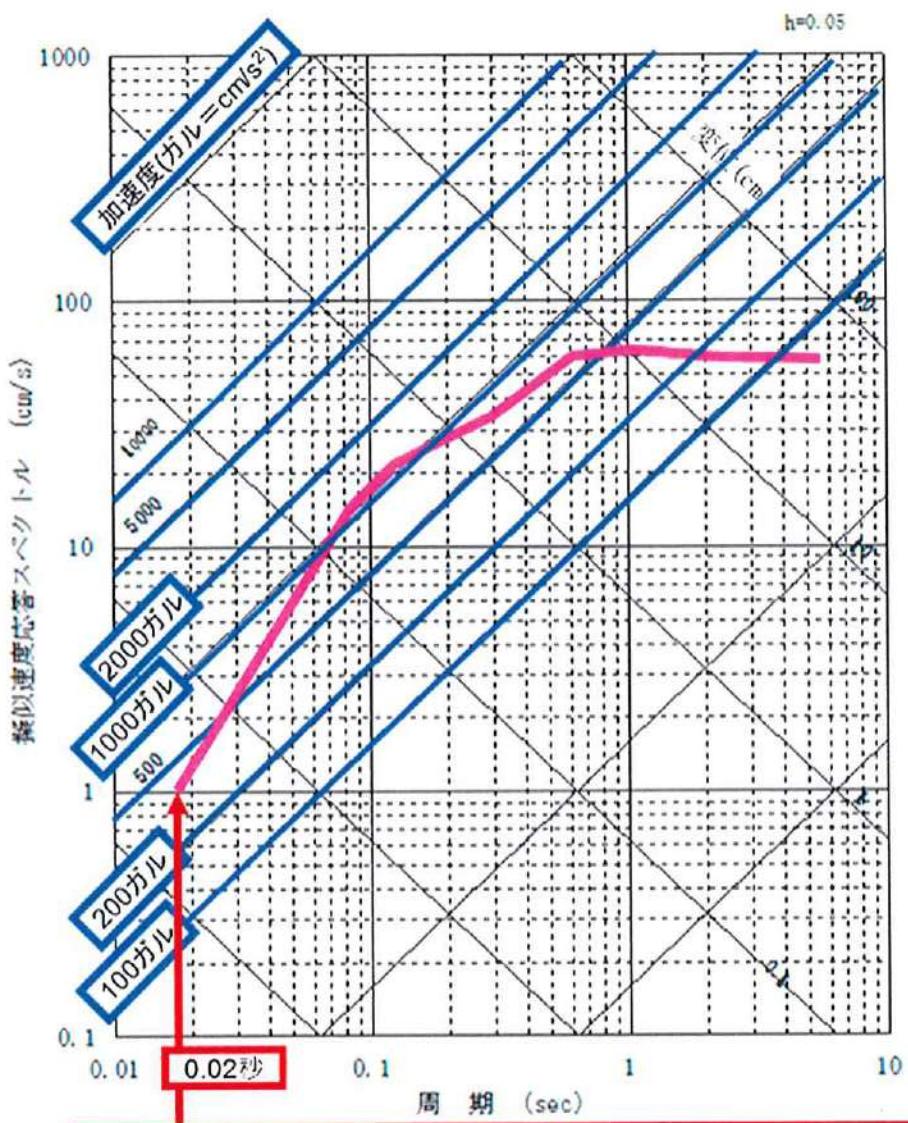


【図表1 3 周期ごとの揺れ（応答）の値の読み取り】

(3) なお、上記5(3)で述べたとおり、「基準地震動の最大加速度」は、評価対象となる発電所敷地における地盤（解放基盤表面）の揺れの最大加速度を意味し、図表1 1の時刻歴波形においては縦軸方向に最も振れた瞬間として示されていたところ、応答スペクトルにおいては、最も短い周期（図表1 4

の横軸の左端、周期0.02秒)での加速度の値とほぼ一致する(図表14)。すなわち、応答スペクトルの一番短い周期(応答スペクトルの曲線の左端)での揺れは、極めて堅固な構造物の揺れを示しているところ、極めて堅固な構造物は、それが建っている地盤の揺れ(地震動)とほぼ一致した揺れを見せるため、この周期(一番短い周期)の加速度の最大値は、当該地震動の最大加速度とほぼ一致する。

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



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

【図表14 基準地震動の最大加速度の読み取り】

第3 本件発電所における地震に対する安全性確保の概要

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とする必要がある。

このような考え方の下、参加人は、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いるところ、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ている。

(2) このうち、地震に対する安全確保対策においては、当該地点の地域的な特性を踏まえつつ、原子力発電所敷地に到来し得る地震動の評価を適切に行うことが重要となる。

そこで、参加人は、地震に対する安全性を確保すべく、設置許可基準規則等の新規制基準の要求事項を踏まえ、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、上記の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、基準地震動を策定しているところ、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。（詳細は下記31～202頁）

その上で、耐震重要施設（設置許可基準規則3条1項、同規則解釈別記1第3条1項、同規則解釈別記2第4条2項1号、疎乙3、11頁、128頁、130～131頁）である「安全上重要な設備」の全てが、この基準地震動（による地震力）に対する耐震安全性を備えるようにすることで、地震に対する安全性を確保している。

(3) さらに、万一、基準地震動を超える地震動に襲われたとしても、耐震重要施設である「安全上重要な設備」は、耐震安全上の余裕の存在(詳細は下記第9参照)から、ただちに発電所の安全性が損なわって申立人に損害が生じるおそれはない。

(4) また、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(設置許可基準規則39条1項1号、疎乙3、88頁)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(設置許可基準規則39条1項3号、疎乙3、88頁)についても、耐震重要施設に係る扱いに準じ¹⁰、上記の地震動(による地震力)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している。

可搬型重大事故等対処設備については、地震、津波その他の自然現象等によって、その機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること等とされているところ(設置許可基準規則43条3項5号、7号、疎乙3、98～99頁)、参加人は、重大事故等対処施設のうち、電源車等の可搬型重大事故等対処設備について、基準地震動に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを確認しており、例えば、本件発電所の3号機の電源車については、取付ボルトの評価結果を代表例として示すと、下表のとおり評価値(発生値)が評価基準値(許容値)を十分に下回ることを確認している(疎丙57、3u-別添4-3-31頁)。

なお、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(設置許可基準規則39条1項1号、疎乙3、88頁)及び常設重大事故緩和設備が

¹⁰ 設置許可基準規則39条(疎乙3、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(設置許可基準規則39条1項1号及び3号、疎乙3、88頁)、設置許可基準規則解釈39条1項において、設置許可基準規則の「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(疎乙3、88頁)、耐震重要施設に係る扱いに準じるものとされている。

設置される重大事故等対処施設（設置許可基準規則39条1項3号、疎乙3、88頁）並びに可搬型重大事故等対処設備は、耐震重要施設と同様に設置許可基準規則に適合するよう設計されており、基準地震動に対する耐震安全上の余裕も有している（下記第9参照）。

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値	許容値
電源車	発電機 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	88	194
		せん断(単位 MPa)	54	149
		組合せ(単位 MPa)	88	194
	内燃機関 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	94	194
		せん断(単位 MPa)	51	149
		組合せ(単位 MPa)	94	194
電源車（可搬式代替低圧注水ポンプ用）	発電機 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	50	194
		せん断(単位 MPa)	31	149
		組合せ(単位 MPa)	50	194
	内燃機関 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	54	194
		せん断(単位 MPa)	30	149
		組合せ(単位 MPa)	54	194
電源車（緊急時対策所用）	発電機 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	85	567
		せん断(単位 MPa)	29	436
		組合せ(単位 MPa)	85	567
	内燃機関 取付ボルト	引張り(単位 MPa)	301	567
		せん断(単位 MPa)	60	436
		組合せ(単位 MPa)	301	567

【本件発電所の3号機における電源車の直接支持構造物の評価結果】

(5) もっとも、重大事故等対策では、基準地震動を超える地震等に対する配慮を欠いてはいない。

例えば、重大事故等対策では、経験則的に耐震上優れた特性が認められる

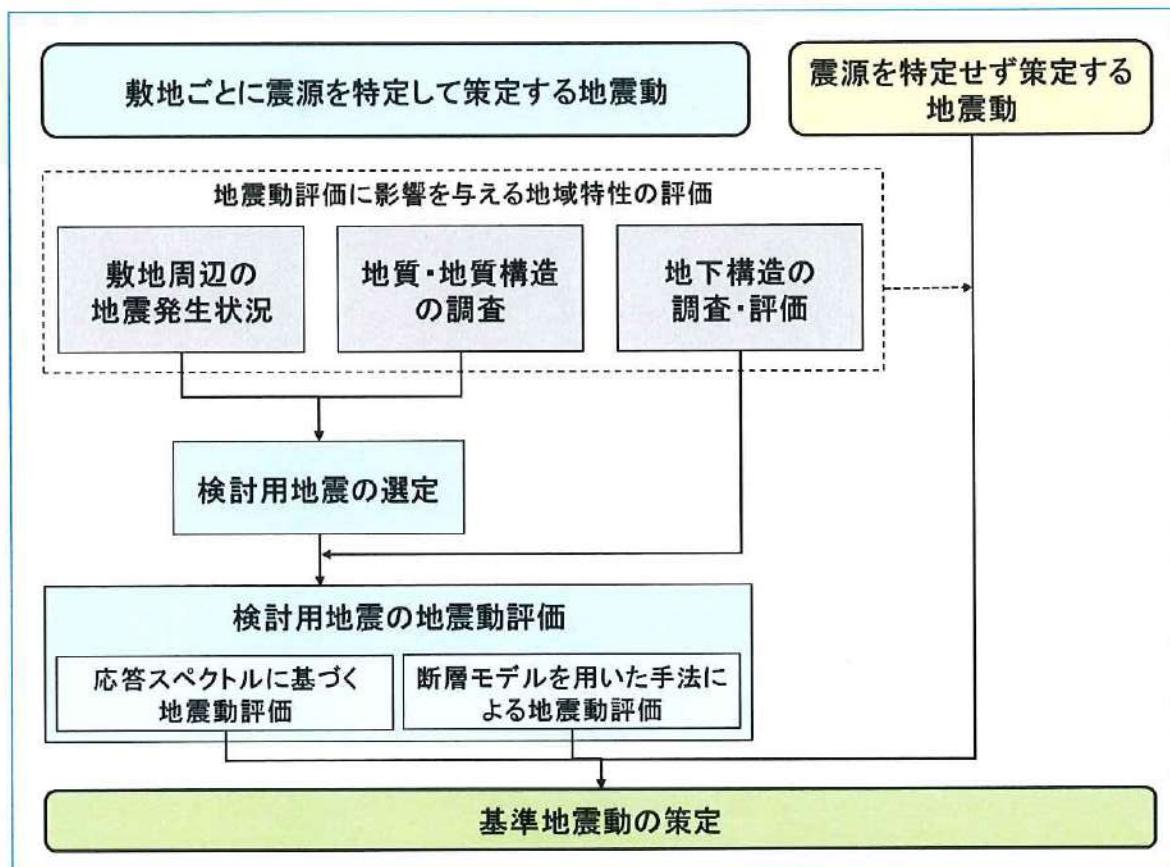
可搬型設備による対策を基本とし、常設の設備も組み合わせることで多様性を持たせ、信頼性を向上させている（設置許可基準規則解釈47条1項（1）a) 及びb) 等、疎乙3、105頁、疎乙4、164～165頁）。

さらに、可搬型重大事故等対処設備は、地震、津波等の条件を考慮した上で、常設重大事故等対処設備とは異なる保管場所に保管している（同規則43条3項5号、疎乙3、98～99頁）。

(6) 以下、本書面では、地震に対する安全確保対策のうち、まず本件発電所の基準地震動の策定について述べた上で（下記第4～第8）、本件発電所の耐震安全性について述べる（下記第9）。

2 基準地震動の策定手順

(1) 基準地震動は、上記のとおり、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。基準地震動の策定手順の概略は図表15のとおりであり、以下、同図表に沿って、その策定手順について述べる。



【図表15 基準地震動の策定手順】

I 「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

本件発電所敷地周辺における地震発生状況、活断層¹¹の分布状況等の

¹¹ 地震発生の際、岩盤が破壊される面を震源断层面といい、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。

地質・地質構造を詳細に調査し、地震発生様式（上記第2の2及び3(1)）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を「検討用地震」として複数選定する（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項2号本文、①、②i), ⑦及び同項4号、疎乙3、134～137頁）。

②検討用地震の地震動評価

上記①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辺の地下構造の調査・評価結果（下記第4の3）を踏まえて、「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」により本件発電所敷地での地震動を評価する。この評価に際しては、震源断層の長さ等、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。（同規則解釈別記2第4条5項2号本文、②ii), ④～⑦及び同項4号、疎乙3、134～137頁）

II 「震源を特定せず策定する地震動」の評価

一方で、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、「震源を特定せず策定する地震動¹²」を評価する（同規則解釈別記2第4条5項3号及び4号、疎乙3、136～137頁）。

III 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

¹² 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」等が、2021年4月に改正され、「震源を特定せず策定する地震動（全国共通）」の策定にあたって、留萌地震及び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。本件発電所の基準地震動への影響については、今後詳細に検討する予定である。

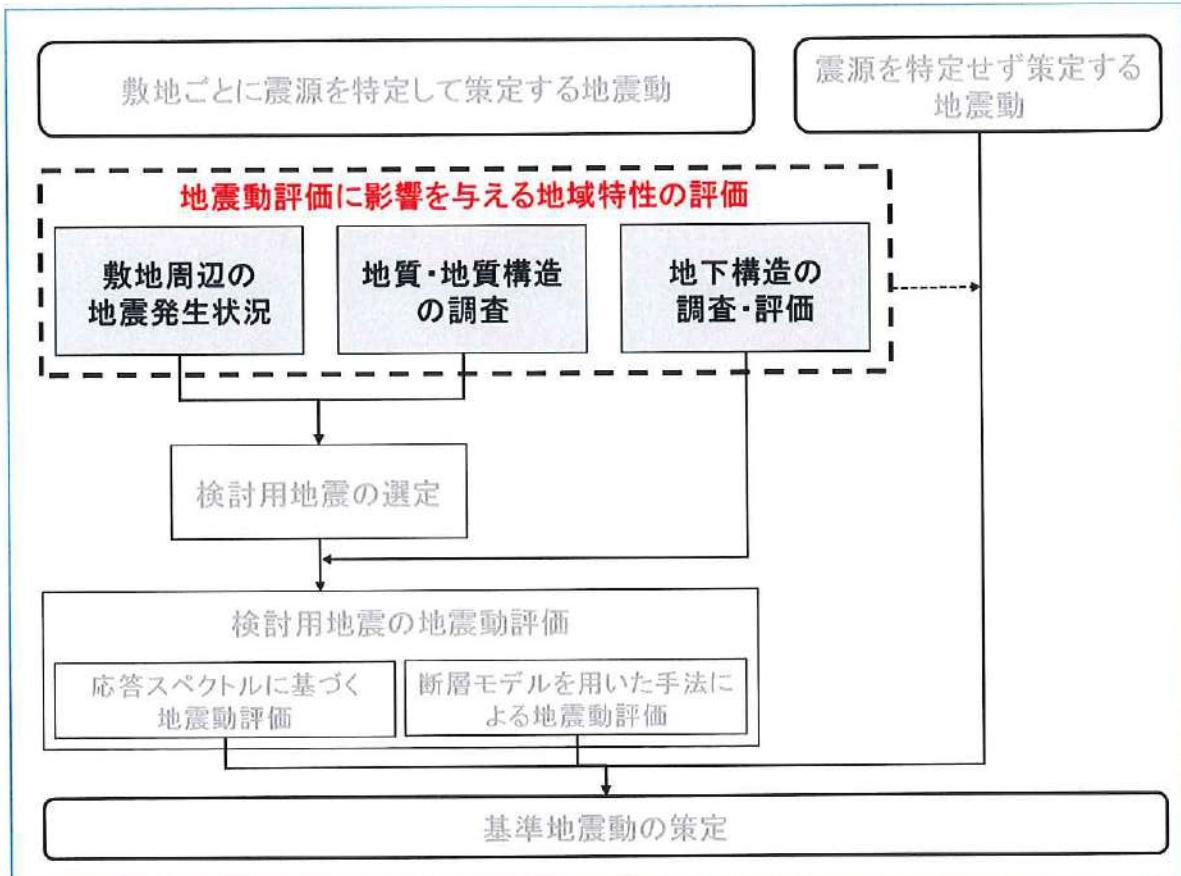
せず策定する地震動」の評価結果を総合し、基準地震動を策定する（同規則解釈別記2第4条5項1号、疎乙3、134頁）。

策定した基準地震動については、確率論的な観点からいかなる水準にあるかを確認するため、年超過確率を算定し、参照する（同規則解釈別記2第4条5項4号なお書き、疎乙3、137頁）。

(2) 参加人は、以上のような手順に従って本件発電所の基準地震動を策定し、耐震重要施設及び重大事故等対処施設の耐震安全性評価に用いた（設置許可基準規則4条3項、設置許可基準規則39条1項及び同規則解釈別記2第4条6項及び7項、疎乙3、12頁、88頁、137～139頁）。

以下、本件発電所の基準地震動の策定について、上記の策定手順に沿って詳述する。

第4 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価



上記第2の4で述べたとおり、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」「地盤の增幅特性（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。

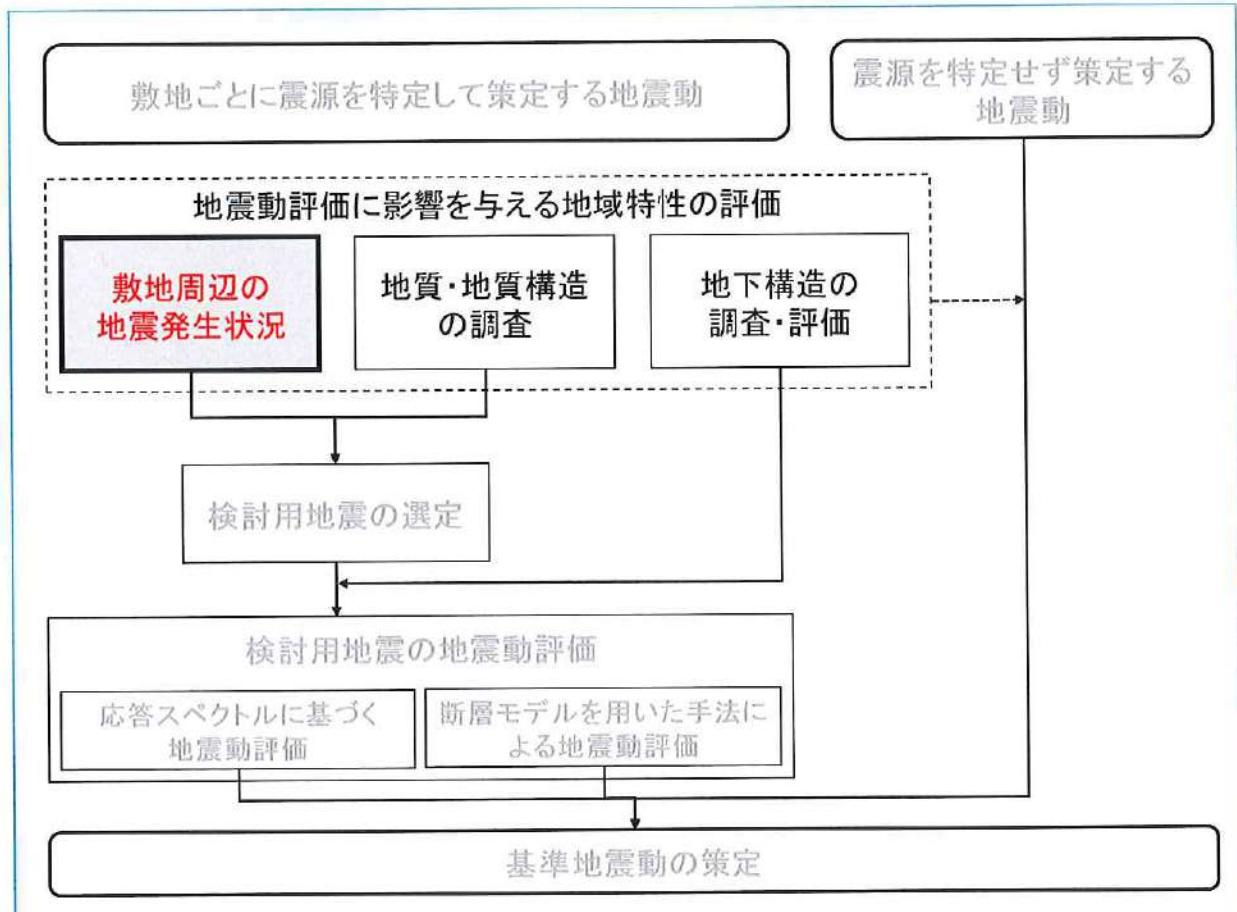
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に際しては、検討用地震を選定する必要がある。このため、参加人は、本件発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等について詳細な調査・評価を実施し（下記1及び2），検討用地震の候補を抽出した。

このほか、参加人は、「震源特性」「伝播特性」「地盤の增幅特性（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参加人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、疎乙3、135頁）。

(2) 参加人による調査・評価

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

本被害地震総覧¹³、気象庁地震カタログ¹⁴、宇津カタログ（1982）¹⁵等から、本件発電所からの震央距離¹⁶が200km程度以内の主な被害地震を確認した。そして、それらのうち、本件発電所敷地に大きな影響を及ぼしたと考えられる（震度V¹⁷程度以上）9個の地震を、検討用地震の候補として抽出した（図表16）。

（以上について、疎丙24、「大飯発電所 発電用原子炉設置許可申請書（3、4号炉完本）」、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、疎丙58、「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16 検討用地震の候補とした過去の被害地震】

¹³ 宇佐美龍夫ほか『日本被害地震総覧599-2012』東京大学出版会

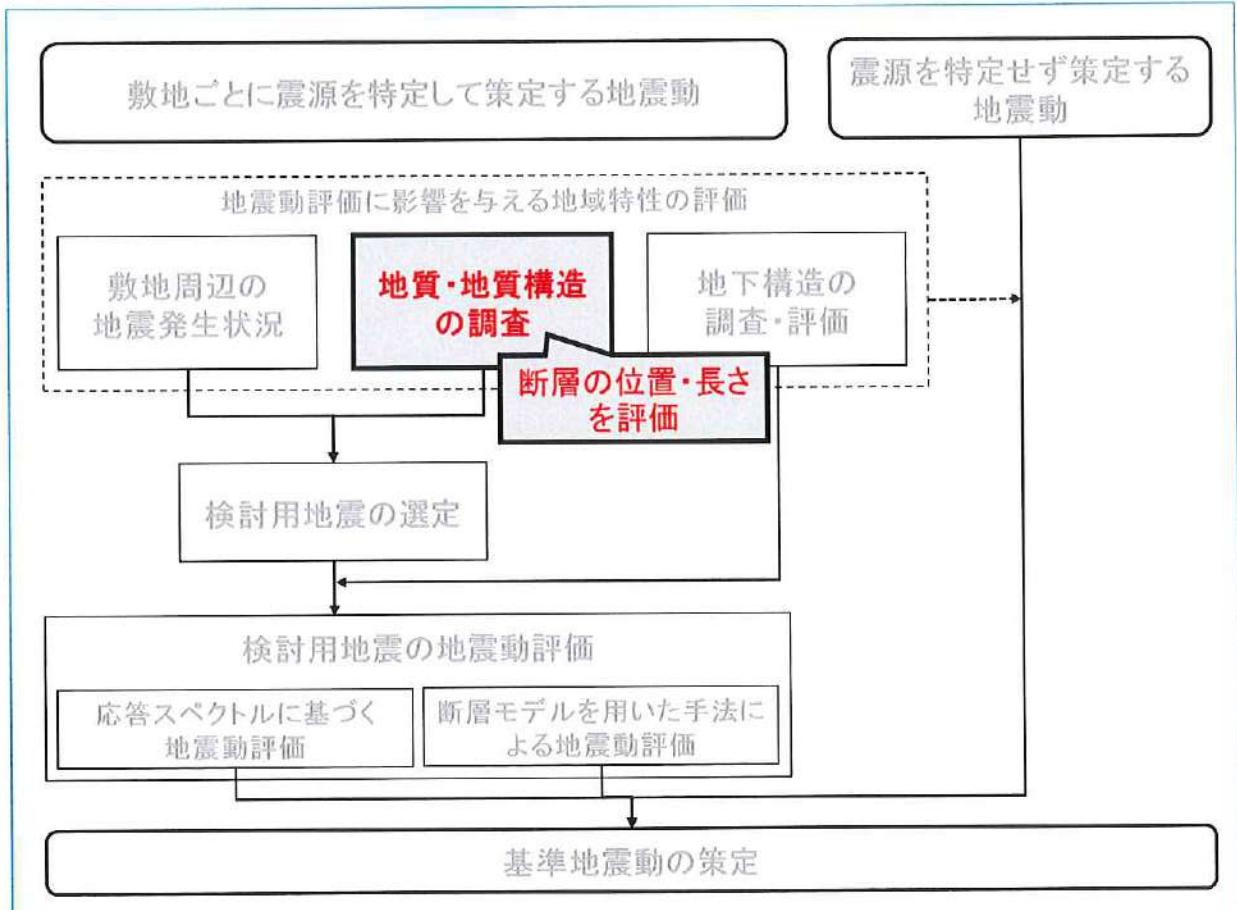
¹⁴ 気象庁「地震年報2011年版」

¹⁵ 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

¹⁶ 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（図表1を参照）、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。

¹⁷ 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



参加人は、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、疎乙 3、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）、疎乙3、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、疎乙3、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、疎乙3、136頁）。

（2）参加人による調査・評価

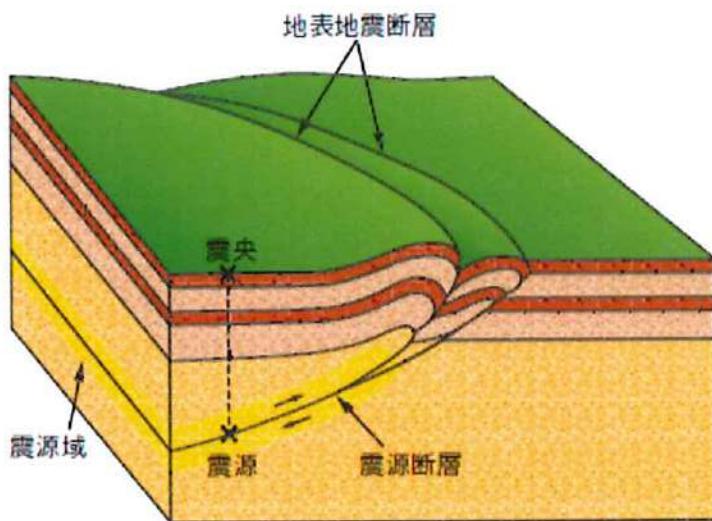
ア 震源断層と地表地震断層

（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、内陸地殻内地震が発生する（断層のずれが起る）深さは一定の範囲（地震発生層）に限られる（上記第2の3（3））。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それを「地表地震断層」という（図表17）。

参加人は、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（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、参加人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。



（地震調査研究推進本部ウェブサイトより）

【図表17 震源断層と地表地震断層】

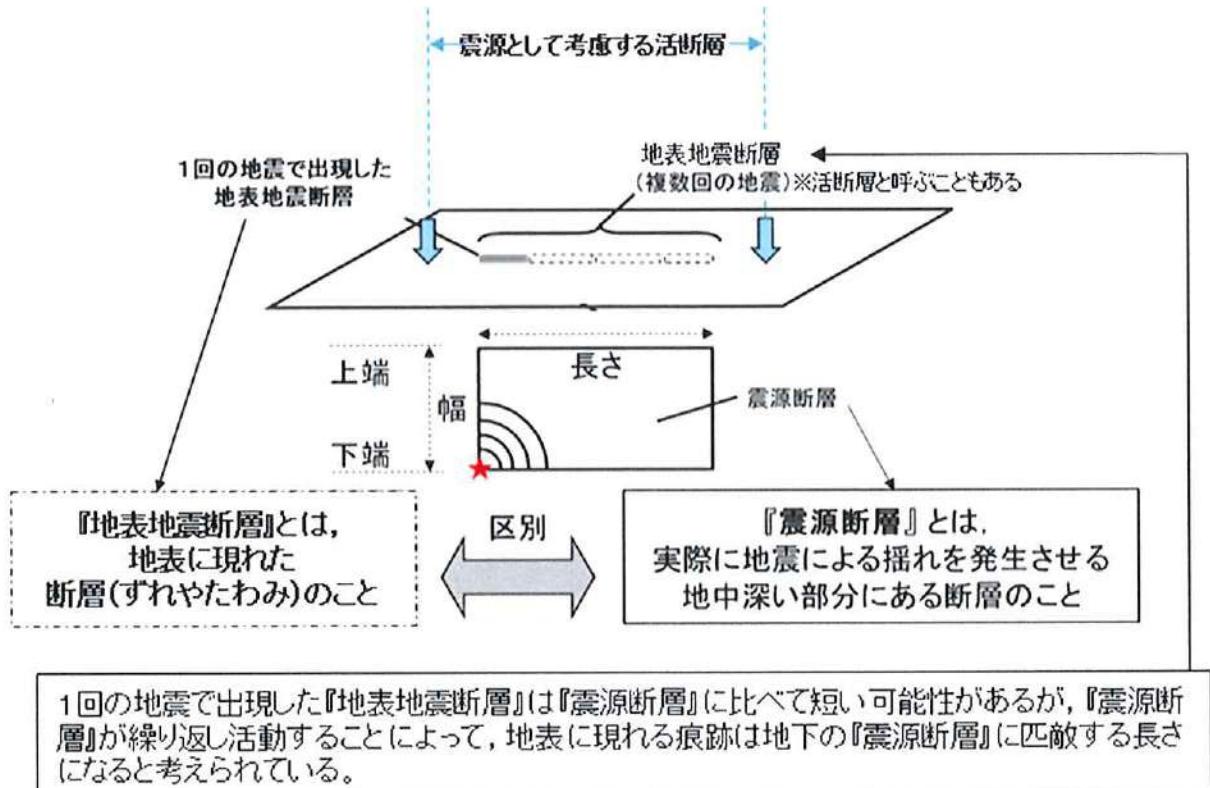
（イ）上記のとおり、震源断層は地下の深い部分にあるため、その位置や長さを直接調査することはできない。

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18）。

参加人は、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18 地震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）¹⁸（疎丙59、「陳述書」添付資料2）の実験結果によ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つ

¹⁸ 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、疎丙60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」の10頁で引用している論文である。

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¹⁹。

(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すれ動く（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

¹⁹ 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）を少しづつ横ずれさせて、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（疎丙59、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（糸魚川一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）。

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」（疎丙56、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、疎丙59、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）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（疎丙59、14頁）。両地域の地域性に関して、岡田（2002）²⁶（疎丙59、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）は内帶（同：中央構造線を境に、日本海側を内帶、太平洋側を外帶という）の全域に発達」（疎丙59、添付資

²⁶ 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、疎丙60号証の9頁左で引用している論文である。

料3, 30頁右段, 10), 1~6行目) している²¹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FO-A～FO-B断層（下記工（ア））の場合、図表3-1（別紙図表3）²²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、疎丙59, 14~16頁、疎丙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

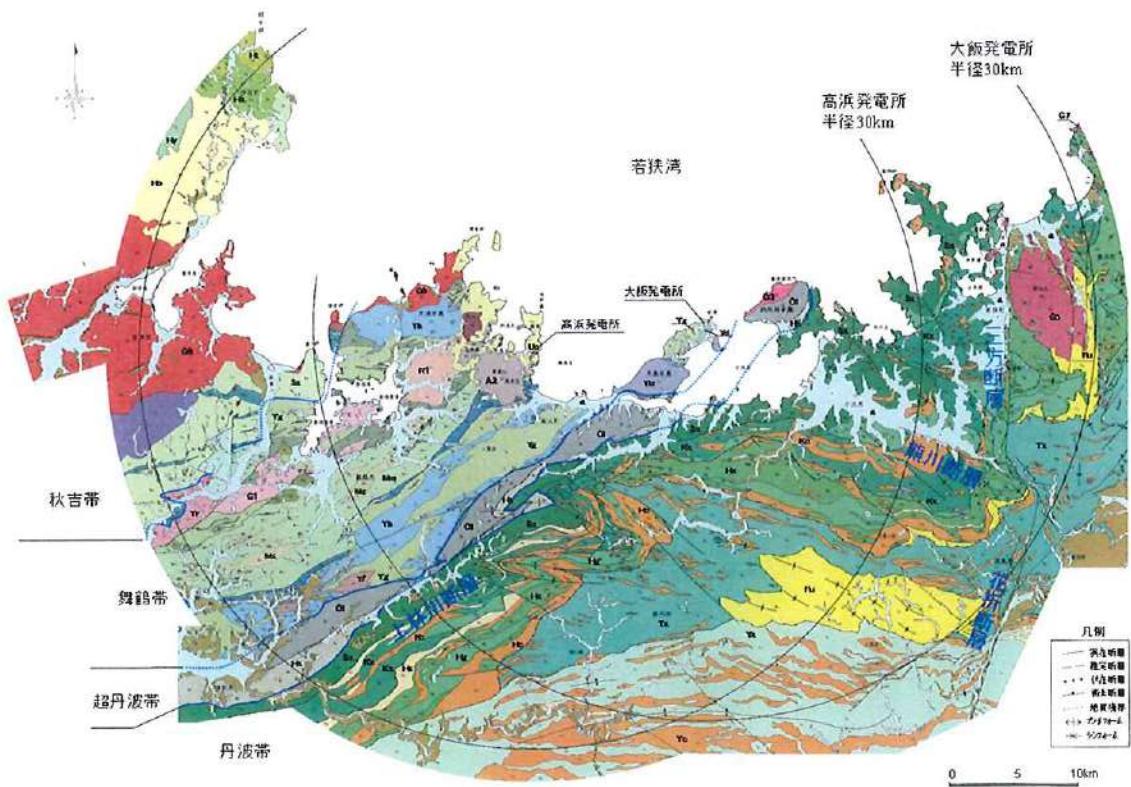
²¹ なお、岡田（2002）は、本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価対象となった鳥取県西部地震が発生した山陰地域については、活断層の発達過程は初期の発達段階を示し、断層破碎帯も幅が狭く、未成熟な状態であるとしている。そして、活断層に沿う変位量（総変位量）は大きくなく、活動間隔も長いことから、断層活動の開始時期も中部や近畿地方よりも遅いことが示唆される（疎丙59、添付資料3, 30頁左段, 22）、山陰地域と中部や近畿地方は著しく異なる地体構造域となっているとしている（同頁右段, 10) 6~7行目）。なお、地体構造域とは、地震の規模と頻度の関係、震源深さの分布、震源メカニズム等の地震の起り方に共通性が認められる領域をいう。

²² 図表3-1にかかる調査・評価については後記オ（ア）で述べる。

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く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19）。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る、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、疎丙59、17頁）



【図表19 本件発電所敷地周辺の地質】

(工) 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、参加人は、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。

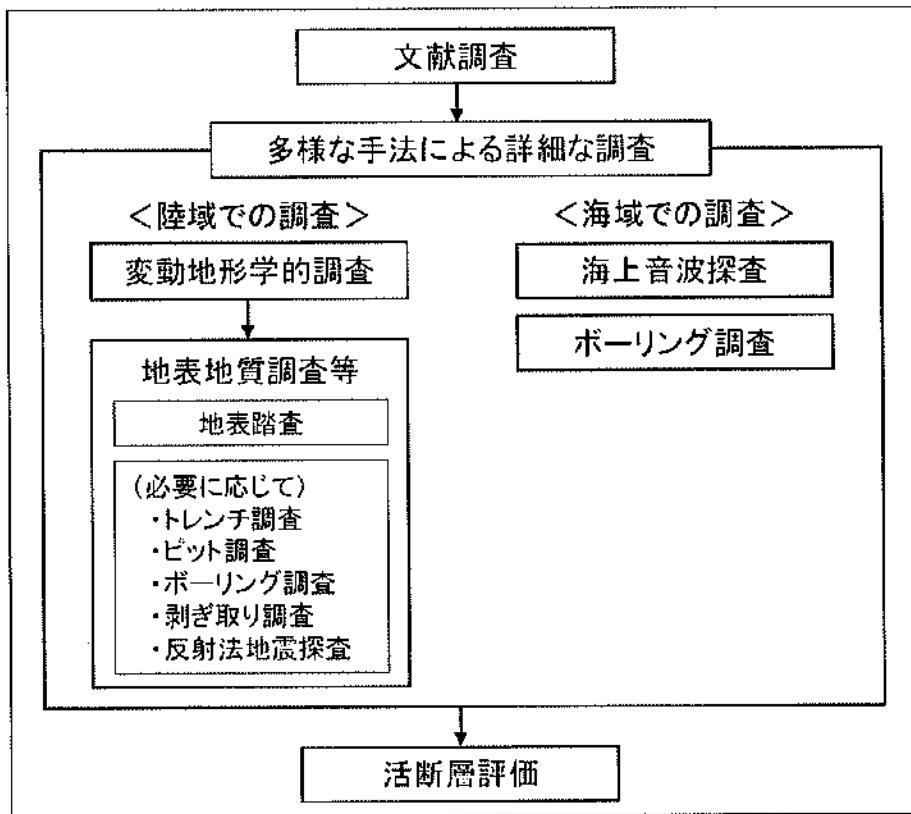
その際、地表地震断層の長さの過小評価は、震源断層の過小評価、ひいては震源として考慮する活断層の過小評価につながり得るということに留意する必要がある。そこで、参加人は、陸域及び海域を問わず全域を網羅的に調査して活断層を把握し、また、活断層の端部の評価にあたっては、長さを短く見積もることのないよう、詳細な調査により活断層の活動の痕跡の無いことが明確に確認できる箇所（上記ア（イ）の図表18内、下向きの太い水色の矢印が指している箇所）を特定し、そこまで活断層を延長することで、活断層の長さを保守的に評価している。

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、下記才（工）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、下記才（ウ）を参照）（疎丙59、17～18頁）。

ウ 調査の具体的な内容

参加人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20。疎丙24、添付書類六、疎丙59、19～31頁、疎丙61、「原子力発電所の耐震安全性」5～7頁、疎丙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20 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収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（疎丙24、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考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（疎丙24、添付書類六、6-3-3～6-3-4頁）。

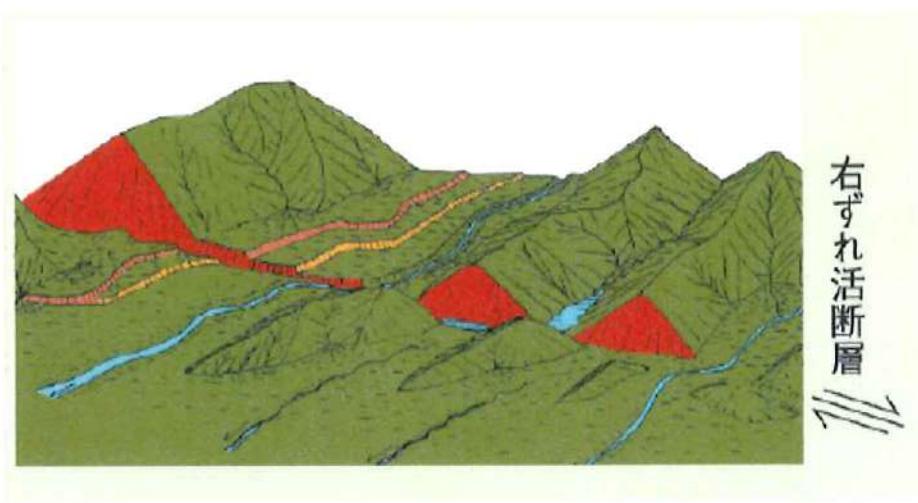
以下、陸域（下記a）と海域（下記b）に分けて説明する。

a 陸域における調査

(a) 陸域では、まず、変動地形学的調査²³を実施し、敷地周辺の変動地形・リニアメント²⁴（図表21）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。

²³ 変動地形とは、長い地質時代の間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（疎丙59、24頁）。

²⁴ 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（疎丙59、24頁）。



(疎丙61, 6頁より)

【図表21 リニアメントの例】

具体的には、参加人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22）²⁵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がある地形を抽出し、必要に応じて航空レーザー測量²⁶等による詳細な検討も行った。

空中写真判読においては、主に参加人撮影の縮尺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）²⁷及び井上ほか（2002）²⁸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

²⁵ 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（疎丙59, 25頁）。

²⁶ 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（疎丙59, 25頁）。

²⁷ 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）」

²⁸ 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。



(文部科学省ウェブサイトより)

【図表22 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、さらにトレチ調査²⁹（図表23）、ピット調査³⁰、ボーリング調査³¹（図表24）、剥ぎ取り調査³²、反射法地震探査³³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。

²⁹ トレチ調査とは、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（疎丙59、27頁）。

³⁰ 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（疎丙59、27頁）。

³¹ 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（疎丙59、27頁）。

³² 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（疎丙59、27頁）。

³³ 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（疎丙59、27頁）。



(疎丙61, 7頁より)

【図表23 トレンチ調査】



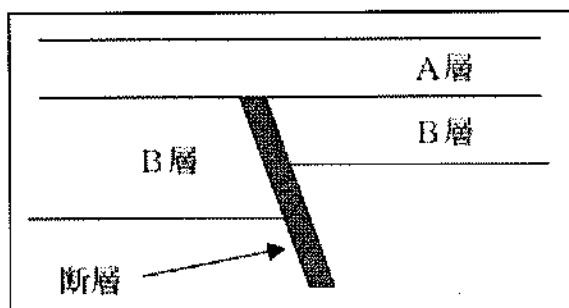
(文部科学省ウェブサイトより)

【図表24 ボーリング調査】

(c) 参加人は、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25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25 上載地層法のイメージ】

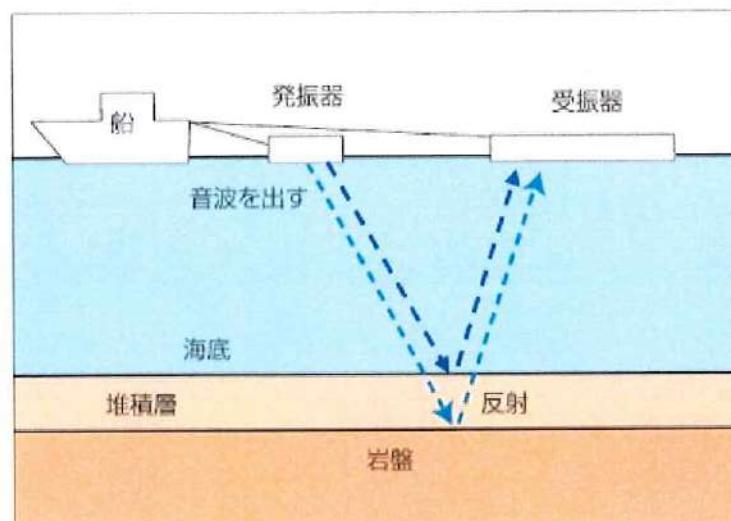
(d) そして、参加人は、地表地質調査等において、上記のような変位・変形の有無を地表近くで直接確認できる場合は、トレンチ調査、ピット調査、剥ぎ取り調査を、後期更新世以降の地層が堆積層に厚く覆われているなどして変位・変形の有無を地表近くで直接確認できない場合には反射法地震探査を、活断層の活動性を評価するため堆積層の分布状況や堆積した年代を把握したり、活断層の有無等を調べたりする場合にはボーリング調査を、それぞれ実施するなど、各種の調査手法を適切に組み合わせることで、断層の有無や活動性を詳細に把握した。

b 海域における調査

(a) 一方、海域では、参加人は、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、後者の参加人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け取る受振器で観測、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³⁴（図表26。疎丙59、29頁）。



【図表26　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

³⁴ 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。

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³⁵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) 参加人は、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25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27に示す。これは疎丙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³⁶、B層³⁷、C層³⁸、R層³⁹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

³⁵ 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、減衰しにくいため深部の調査に適している。

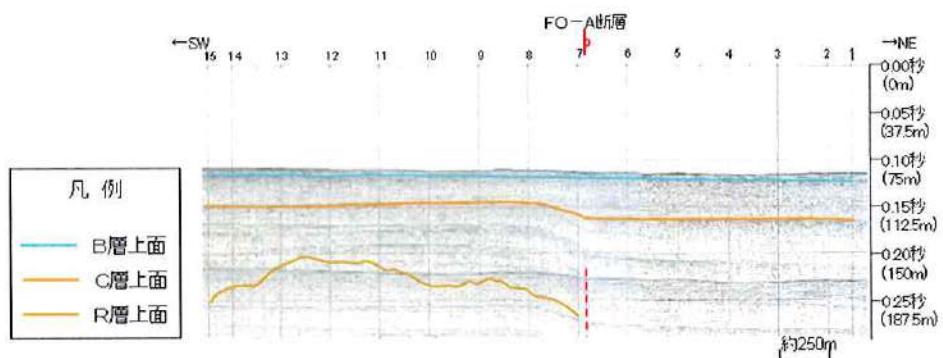
³⁶ 完新世（現在から約1万年前まで）に堆積したと考えられる地層を指す。

³⁷ 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。

³⁸ 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。

³⁹ 後期更新世より前の岩盤等を指す。

地層（同図の橙色の線（C層上面））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。



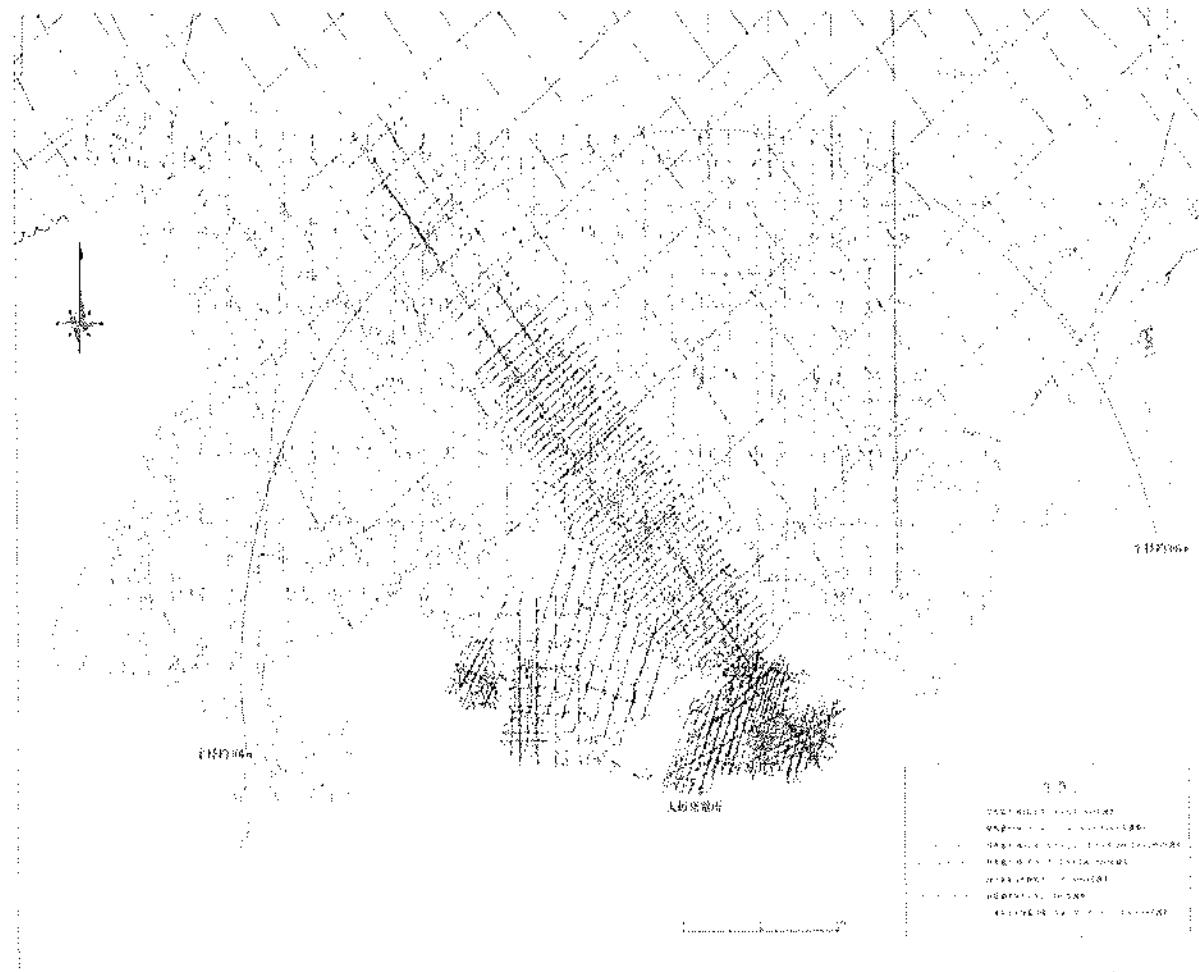
【図表2-7 海上音波探査記録の例】

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2-8（疎丙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、参加人は、図表2-8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28 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、参加人は、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て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 調査結果に基づく評価（基本的な考え方）

(ア) 上記のとおり行った網羅的な調査の結果をもとに、参加人は、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(FO-A～FO-B断層について下記オ(ア)、熊川断層について下記オ(イ)、上林川断層について下記オ(エ))。

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(下記オ(ウ))。

(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)ア(ウ))。

(ウ) なお、参加人は、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（疎丙58、80頁、113頁等）。

オ 調査結果に基づく評価（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（疎丙59、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。

参加人は、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る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。

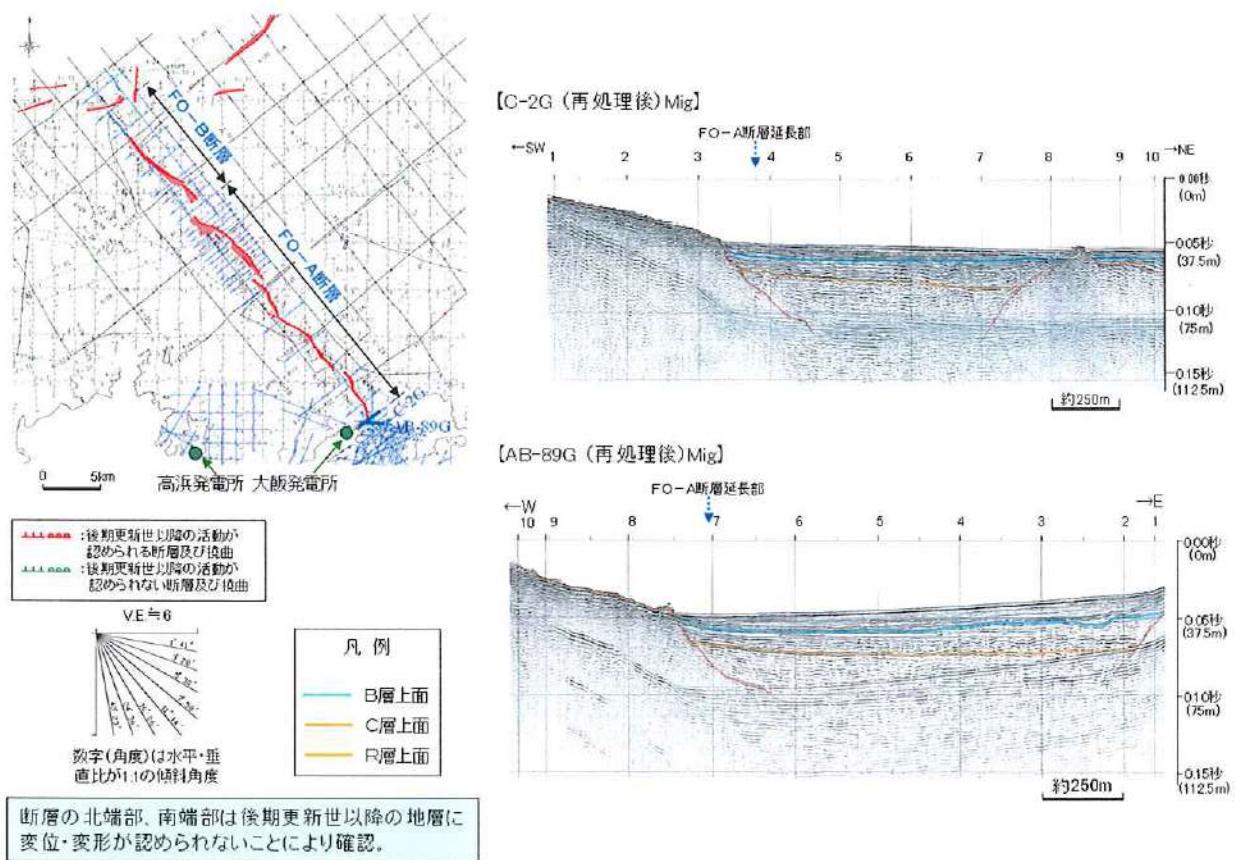
（疎丙24、添付書類六、6-3-74～6-3-76頁、疎丙59、34～37頁、疎丙62、170～177頁）

具体的には、参加人は、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、

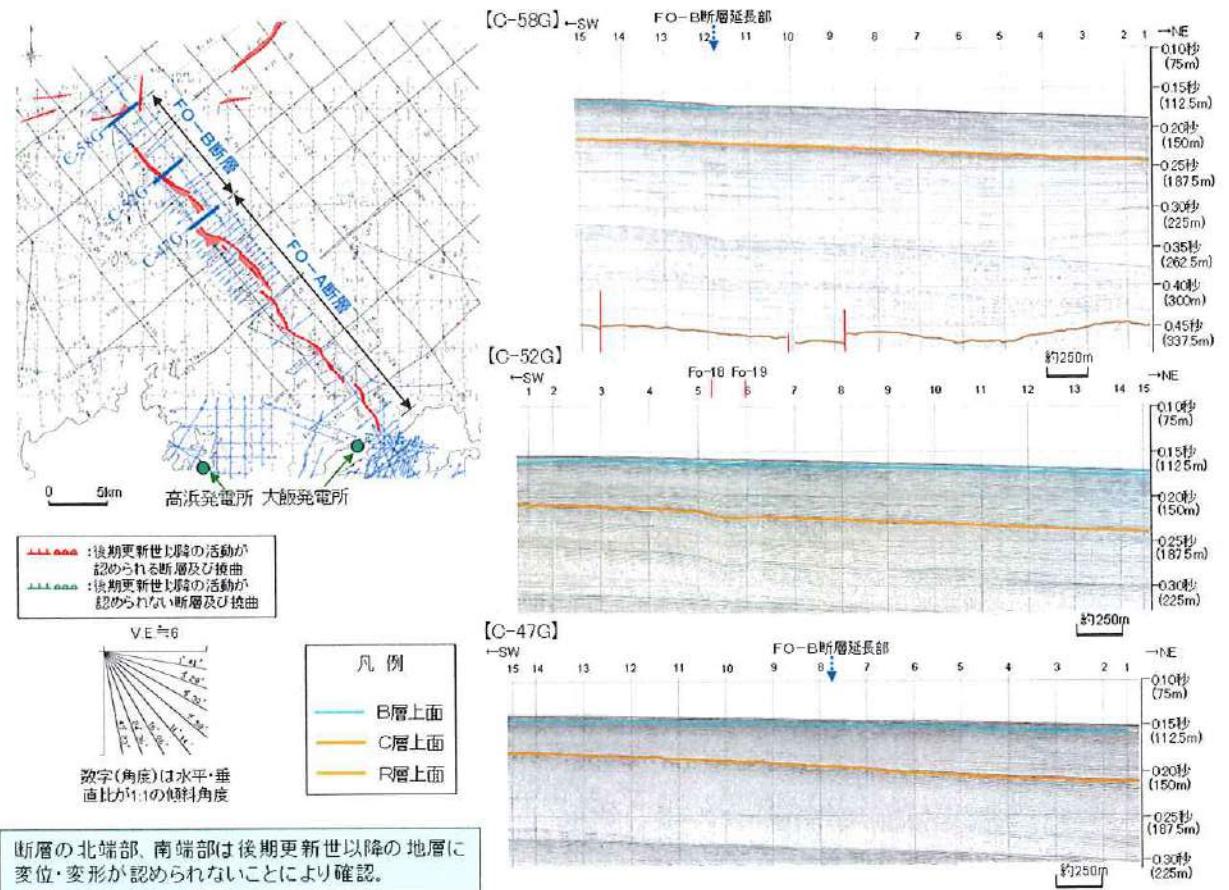
海上音波探査を行い、後期更新世以降に堆積したと考えられるB層の中で最も古く堆積した地層に断層活動による痕跡が認められない、つまりこの地層に段差がない箇所を端部とした。

その結果、FO-A断層の南東端についてはC-2G測線を端部と評価し（図表29（疎丙59, 35頁, 疎丙62, 172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）、FO-B断層の北西端についてはC-58G測線を端部と評価した（図表30（疎丙59, 36頁, 疎丙62, 176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）。

なお、図表30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29 FO-A断層に関する調査結果】



【図表30 FO-B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。

- 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28），海上音波探査を実施した（疎丙62, 160頁, 171～177頁）。
- 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30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。

参加人は、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。

c 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。

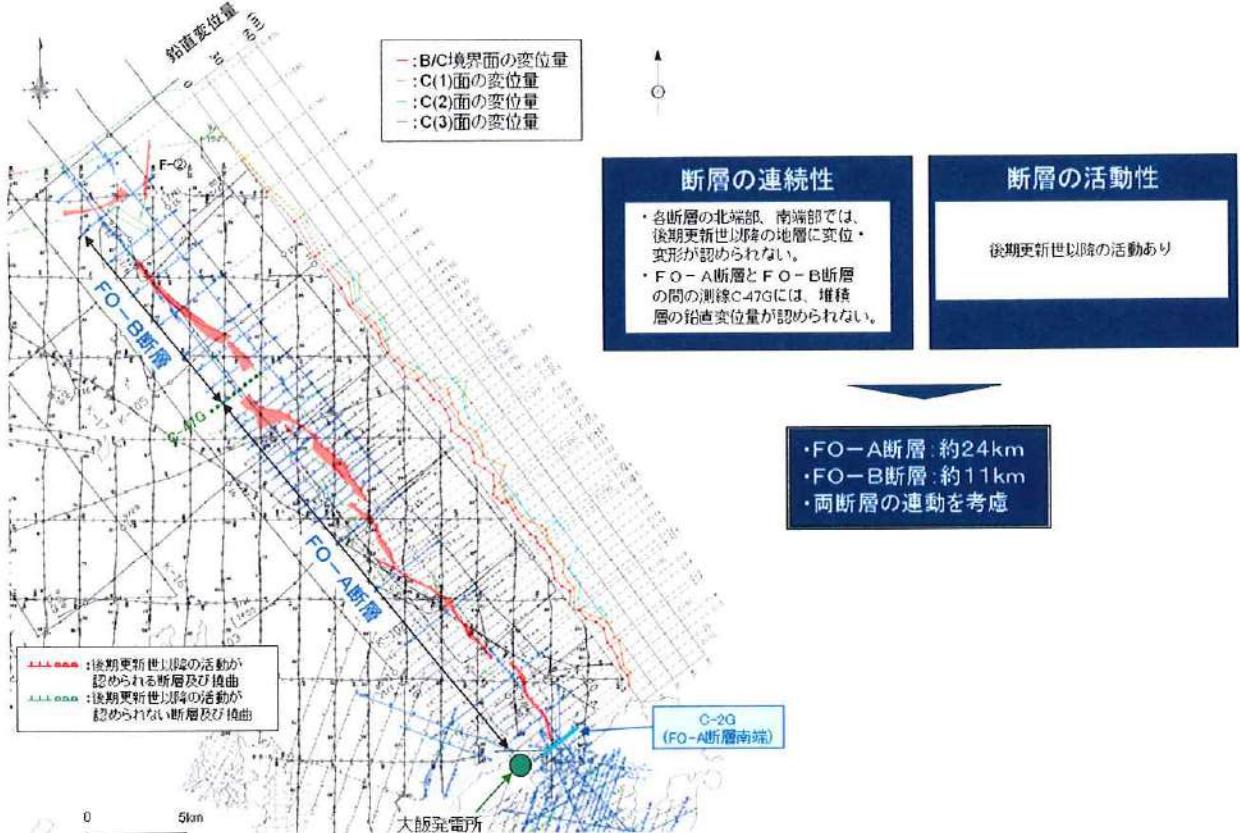
具体的には、図表29の左上に記載の平面図内の右下に「C-2G」として右上（北東）－左下（南西）方向の青い線が引かれているが、これがC-2G測線である。そして、この測線の音波探査記録が、同図の右上に記載の断面図（「[C-2G...]」）である。この断面図において、上記bと同じく、上から2本目の橙色の線はB層の下面（かつC層の上面）を示している。

参加人は、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。

d 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31（疎丙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(\longleftrightarrow)の左上端が触れている右上-左下方向の測線)及びC - 2 G測線(図内で「C - 2 G」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。

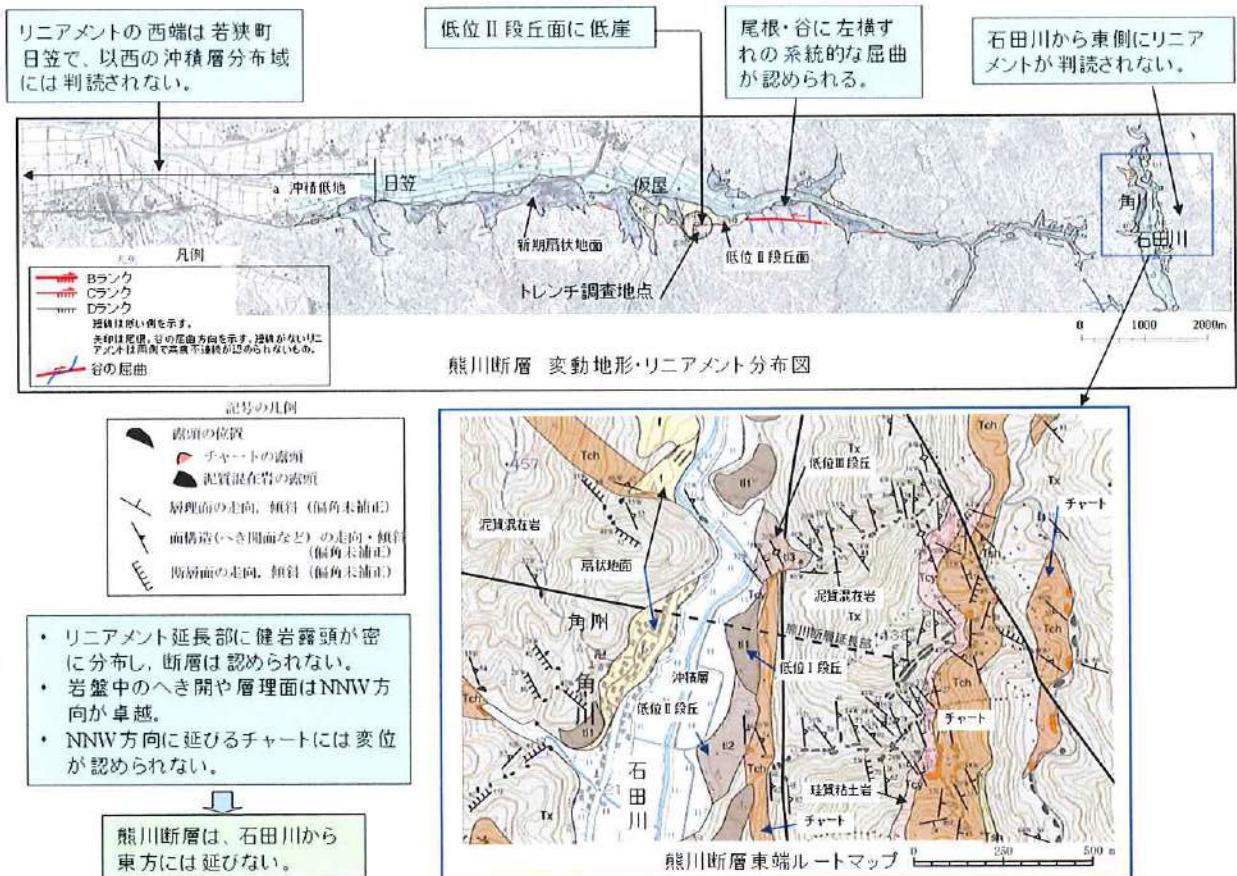


(イ) 熊川断層

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。

参加人は、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（疎丙24、添付書類六、6-3-19～6-3-25頁、疎丙59、38～40頁、疎丙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32。疎丙62、43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3 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）bの図表3 3の下の図、右下にある「No. 2測線」）とした（疎丙62, 63頁）。

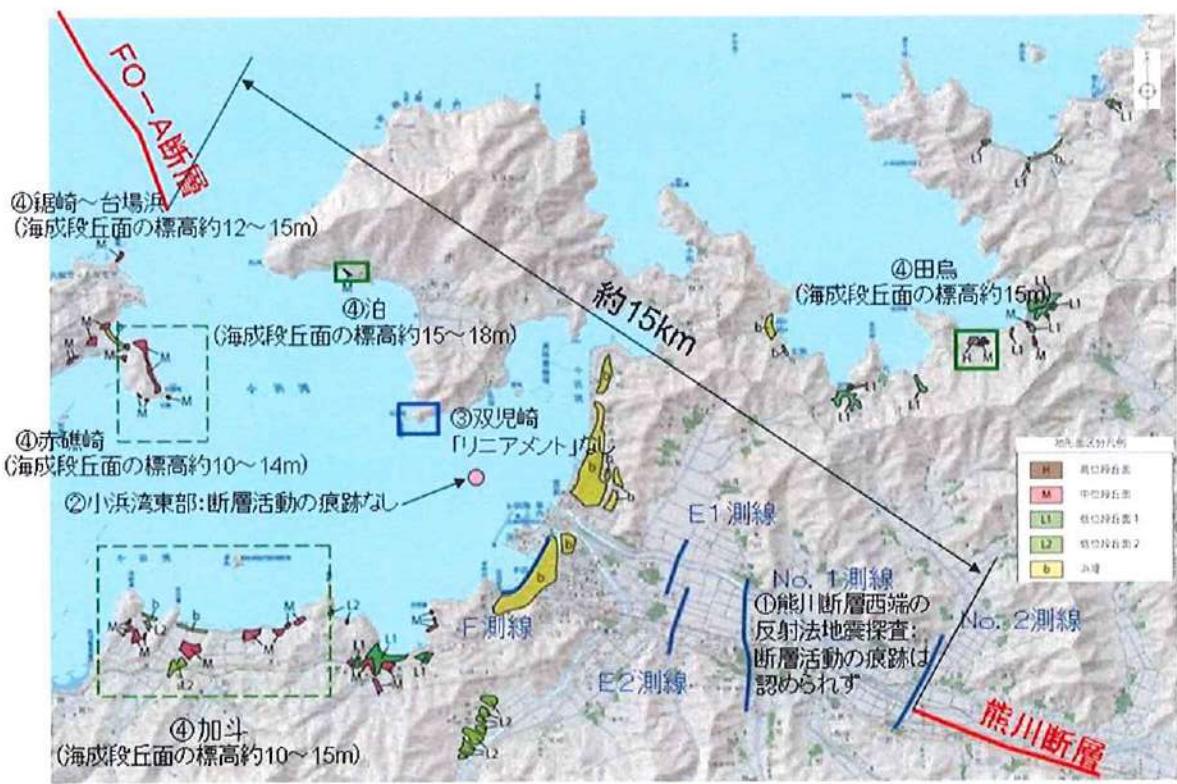
(ウ) FO-A～FO-B断層と熊川断層の運動

a FO-A～FO-B断層と熊川断層については、参加人が実施した

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。

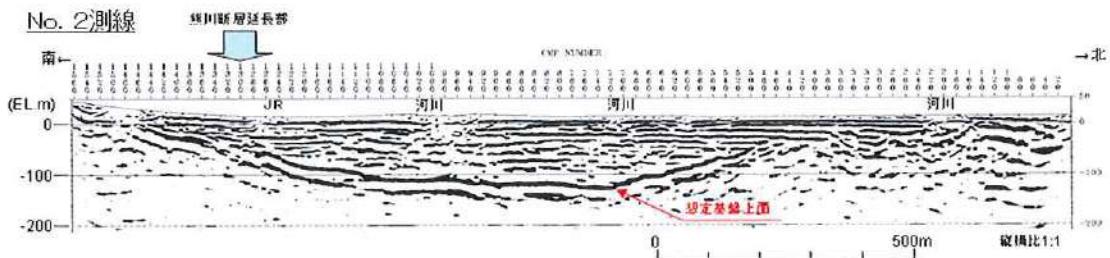
具体的には、図表33のとおり、①熊川断層西端の反射法地震探査（下記(a))、②小浜湾における海上音波探査及び②' 小浜湾周辺のボーリング調査（下記(b))、③双児崎のリニアメント調査（下記(c))、④小浜湾東側段丘面調査（下記(c)及び(d))を実施したが、次に述べるとおり、いずれの調査からも、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとの結果は認められなかった。



【図表3 3 小浜湾等の海域・陸域調査】

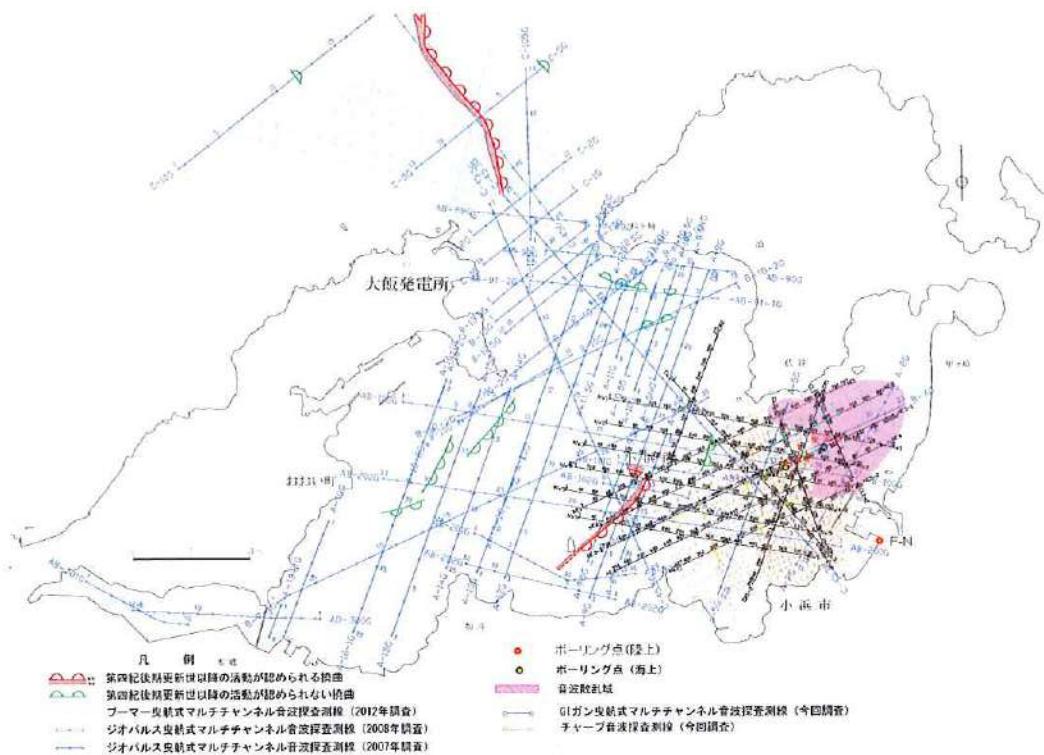
(a) ①熊川断層西端の反射法地震探査では、図表3 3の下の図の「E1」、

「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3-4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3-4 熊川断層西端の反射法地震探査結果（No. 2測線）】

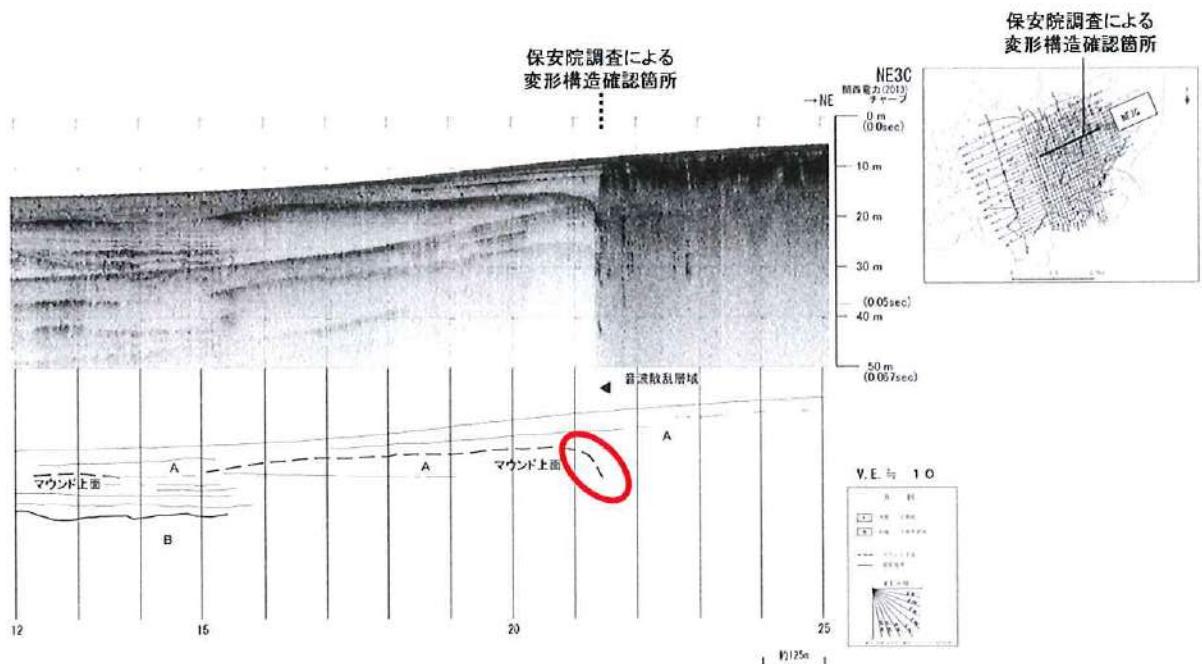
(b) 次に、②小浜湾における海上音波探査と②' 小浜湾周辺のボーリング調査では、参加人は、小浜湾内において約400m間隔で測線を縦横に配置して海上音波探査を実施するとともに、同湾内でボーリング調査を実施した。当該調査における海上音波探査の調査測線及びボーリング調査のボーリング点の位置は、図表3-5のとおりである。



【図表3.5 小浜湾における海上音波探査及び波ーリング調査】

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3.6。疎丙24、添付書類六、6-3-443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ところ、こうした状況が認められなかったこと（同6-3-450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6-3-449頁等）、(iv) 海上波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つたこと（同6-3-458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「NE 3 C」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。

（疎丙24、添付書類六、6-3-443頁に一部加筆）

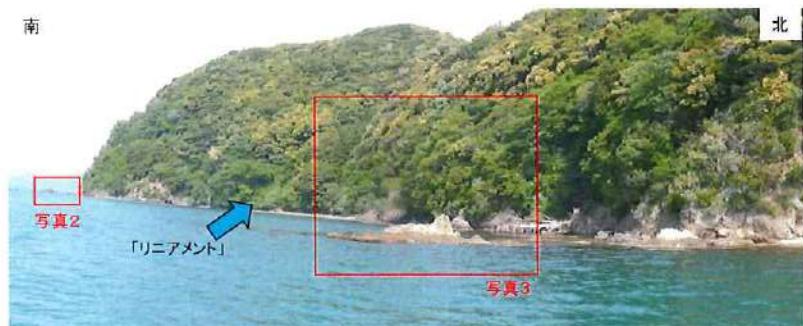
【図表 3-6 海上音波探査記録及び地質断面図（「NE 3 C」測線の例）】

(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、参加人は、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。

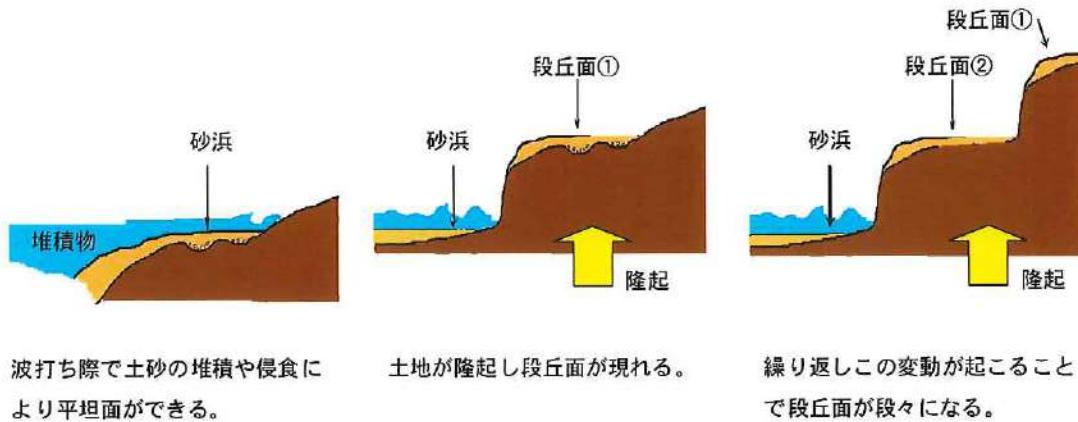
また、FO-A～FO-B断層と熊川断層との間に、原子力安全・保安院の指摘（上記b冒頭段落の（Ⅲ）の指摘）のとおりに、両断層と同様のずれ方をする断層が存在するとした場合、当該断層もまた、断層の東側が西側に対して沈降するはずである。この点、図表37に示すとおり、その両側に位置する同年代に形成された岩盤であるベンチ（波打ち際で波浪によりできた平坦面）の高さは、いずれも標高約30～50cmであり、そのような高度差は認められなかつた。



【図表37 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38），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38 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，図表33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）等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。

c また、参加人は、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)⁴⁰ (疎丙59, 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。

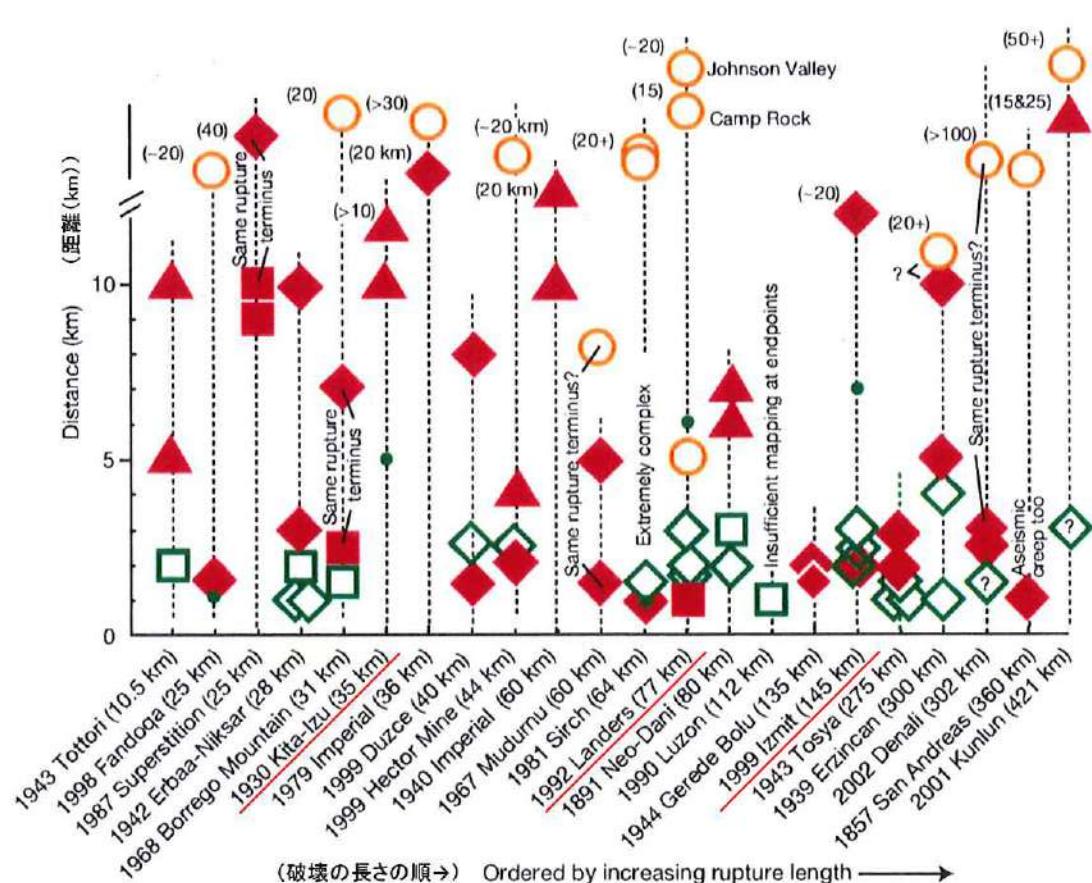
すなわち、図表39は、横軸に、地震名と地震時に動いた断層の総延長（複数の断層が連動した場合は最も離れている断層の端部間の距離）を示し（右にいくに従い断層の総延長が長くなる）、縦軸に、地震の際の連動の有無と断層間の離隔距離との関係を記号により示している（赤色の■、◆、▲は連動しなかった断層間の離隔距離、緑色の□、◇、・は連動した断層間の離隔距離を示している）。例えば、「1999 Izmit (145km)」は、地震時に複数の断層が連動し、総延長145kmの断層が活動したこと、その際、ギャップ（断層が伸びている方向に飛んでいる）が7kmの断層（図表緑色・）と、ステップ（断層が伸びている方向と横に飛んでいる）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39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

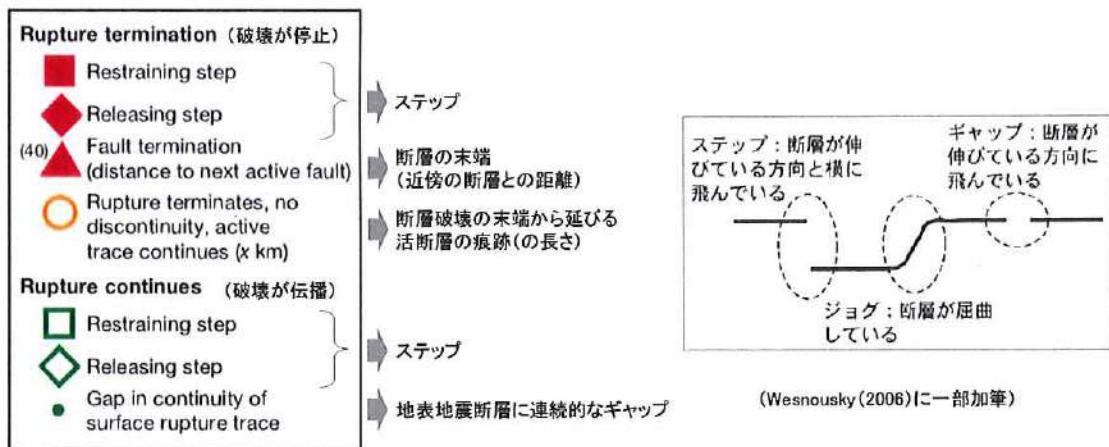
⁴⁰ Steven G. Wesnousky (2006) 「Predicting the endpoints of earthquake ruptures」 Nature, Vol. 444, 358-360頁

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、参加人は、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とを確認している。

(疎丙59、46～47頁、疎丙63の1、「大飯発電所、高浜発電所 FO-A～FO-B断層と熊川断層の運動に関する調査結果 コメント回答」115頁)





【図表3 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】

d 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、参加人は、両断層は連動しないものと評価した。

（以上a～dについて、疎丙24、添付書類六、6-3-74～6-3-79頁、疎丙59、41～47頁。なお、調査結果の詳細については、疎丙62、182～185頁、疎丙63の1、疎丙63の2、「同 別添資料集」、疎丙64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」、疎丙64の2、「同 別添資料集」、疎丙65、「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）

e しかしながら、参加人は、地震動評価にあたっては、以下で詳述するとおり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))。

f なお、上記a～eで述べたとおり、参加人は、原子力規制委員会の議論を踏まえ、十分に保守的な地震動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を設定したものであるが、ここで原子力規制委員会における本件発電所に関する審査会合の議論を敷衍して述べる。

①原子力規制委員会に設置された「大飯発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」の第3回評価会合（平成25年1月16日）において、参加人の大飯発電所の敷地内で確認された破碎帯の活動性（活断層であるか）について議論されていたところ、出席者の東洋大学社会学部教授の渡辺満久氏（以下、「渡辺氏」という）は、同会合に提出した資料（疎丙66、「大飯原子力発電所敷地内の活断層（2）」）を基に、同発電所敷地内の破碎帯の活動性に影響を及ぼすものとしてFO-A～FO-B断層と熊川断層を挙げ、「これが去年の秋の活断層学会で発表した内容です。海域の活断層（引用者注：FO-A～FO-B断層）と陸域の活断層（同：熊川断層），ここ（同：FO-A～FO-B断層と熊川断層の間の区間）に何もないということになっていましたけれども、恐らくつながっていて、一つの長大な断層があるだろうというふうに発表しました。・・・どういうことかというと、ここまでFO-Aが来ています。・・・音波探査を見ると、こちら側（同：南西側）が隆起して、こちら側（同：北東側）が沈降するというパターン、地層の変形が見えていて、・・・何となく見かけはつながってそうな気がしていて、これは音波探査ではらちが明かないので、周辺の地形を見ていたわけです。・・・12～13万年前の段丘があって、ここにはずっとベンチがついています。そういうものはこちらには全くありません。これ

は明らかにこちら側が隆起傾向にあって、こちら側が沈降傾向にあるということを示していて、このFO-A断層のこちら側が隆起、こちら側が沈降と、全く調和的であると。だとすると、これはもうこういうふうにつながっていると見るべきである、というのが学会で発表した内容です」（疎丙67、「大飯発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合 第3回評価会合 議事録」46頁）として、海上音波探査の結果ではなく、小浜湾付近の地形（東西の高低差）を根拠に、両断層はつながっていると評価すべきである旨述べた。

②また、同じく原子力規制委員会に設置された「大飯発電所3・4号機の現状に関する評価会合」（以下、「評価会合」という）の第4回会合（平成25年5月10日）において、参加人が、大飯発電所の基準地震動に関連して、小浜湾内で国が実施した海上音波探査結果等からFO-A～FO-B断層と熊川断層の運動性は認められない旨を説明したところ、出席者の島崎邦彦原子力規制委員会委員（当時。以下、「島崎委員」という）は、広島大学教授の中田高氏（以下、「中田氏」という）から評価会合に提出された資料（疎丙68、「広島大学名誉教授 中田高様からの資料提供」）について、「ここには何が書いてあるかというと、『水没している岩棚は北東側で沈んでいて、図のリニアメントは、北東側低下の左横ずれ断層と調和的である』というコメントをされています」（疎丙69、「大飯発電所3・4号機の現状に関する評価会合 第4回 議事録」63頁）と説明し、また、渡辺氏及び中田氏から評価会合に提出された資料（疎丙70、「小浜湾周辺の活断層－若狭湾の原子力発電所と活断層－」）について、「今、問題になっているのは、こちら辺の場所だと思いますが、ここから、まさにずっと行って、この双子崎（引用者注：正しくは「双児崎」）はここですね。こういう直線で、全ての記録

を丹念に見ていただくと、何らかの変状が認められる。それは、・・・渡辺さん、中田さんも指摘されている参考資料5（同：疎丙70号証）にあるとおりであります」（疎丙69、同頁）と説明した。その後、島崎委員は、「とりあえず3連動については、今日で議論が深まったかと思いますけど、まだ細かく議論をされるということもありますので。私の意見だけ申し上げますと、これは万一ではないですね。やはり3連動ありきで御議論いただきたいと思っています。・・・それで、何がポイントかというと、万一というときは、このぐらいやればいいだろうという形で済んでしまうんですけども、やはりそこに抜かりがあるんではないかと思うんですね。・・・本来、北（同：FO-A～FO-B断層）ですでて、南（同：熊川断層）ですでて、真ん中だけが頑張っているということはあり得ませんので、・・・やはりきちんとそこら辺は考えていただいて、抜けのないようにしていただきたいと思っております。もちろん言いたいことがあると思いますので、どうぞ言ってください。よろしいですか」（疎丙69、69～70頁）として、FO-A～FO-B断層と熊川断層の間の双児崎にリニアメントと呼ばれる地形のずれが認められることとされていることを根拠に、両断層の連動を考慮して地震動を評価すべきである旨述べた。

③これらの発言を踏まえ、参加人は、原子力規制委員会の「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合」（以下、「審査会合」という）の第27回審査会合（平成25年10月2日）、第41回審査会合（平成25年11月1日）及び第59回審査会合（平成25年12月18日）において、小浜湾等で実施した海上音波探査、リニアメント調査、周辺地形の調査等の結果に基づき、FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動性について、両断層が連続していることを示す地質構造は

確認できなかったことを説明した。

- ・第27回審査会合では、参加人が、小浜湾付近の調査結果等から、FO-A～FO-B断層と熊川断層の間に上記①で指摘されたような断層の北東側が沈降し、南西側が隆起するとの地形の特徴がないことや、双児崎に上記②で指摘されたようなリニアメントが存在しないこと（疎丙71、「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」20～44頁）を説明するとともに、海上音波探査結果からFO-A～FO-B断層と熊川断層が連続するような活構造（断層活動による痕跡）は認められなかっこと等（同45～134頁）を説明した。この参加人からの説明に対し、上記の評価会合で3連動の可能性があるとの資料を提出していた、出席者の国立大学法人高知大学総合研究センター特任教授の岡村眞氏らと参加人との議論があり、その後、島崎委員は、「いろいろ十分なデータを取っていただいたかのようではありますけれども、まだ手がつけられる範囲であるので、やはりみんながそうだねというようなデータを取っていただければ、議論は収束すると思いますので、是非その方向で御検討いただきたいと思います」（疎丙72、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第27回 議事録」93頁）として、参加人の調査データが不十分であることを指摘しつつも、追加データ次第では3連動の議論は解決する旨述べた。
- ・第41回審査会合では、海上音波探査の結果等に関する第27回審査会合での出席者からのコメントに対応して、参加人は、小浜湾東部での海上音波探査、ボーリング調査等の追加調査・検討結果を基に、改めて、断層活動による痕跡は認められなかっこと（疎丙64の1、51～229頁）等を説明した。参加人の説明を受けて、岡

村眞氏や産業技術総合研究所活断層・地震研究センター長の岡村行信氏らと参加人との間で議論があり、その後、島崎委員は、「先ほどの岡村センター長（引用者注：岡村行信氏）の言い方になると、その変動（同：小浜湾東部での地質構造）が・・・今日の議論では、少なくとも変動が何かということは、まだ完全には解決していないというふうに思っておりますので、さらに、どういう手を使ってこれを解決するかというのは、ひょっとしたらシミュレーション（同：地質構造を解明するための解析）かもしれないし、ほかにも何かあるかと思うんですが、それから、幾つか、それ以外にも議論された点があると思いますので、それは、とりあえず今日の議論はここまでということにさせていただいてよろしいですか」（疎丙73、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第41回 議事録」48頁）として、3連動についての議論は結論に至らなかったため、次回以降、継続して議論する旨述べた。

- ・第59回審査会合では、第41回審査会合での出席者からのコメントに対応して、参加人は、熊川断層北西端付近での反射法地震探査等の追加調査・検討結果（疎丙63の1, 68~96頁），FO-A断層南端に関する再検討結果（疎丙63の1, 97~111頁），小浜湾東部での海上音波探査，ボーリング調査等の追加検討結果（疎丙63の1, 4~67頁, 116~125頁）を説明し、さらに、これまでの調査結果からFO-A～FO-B断層と熊川断層の離隔は約15kmあり、断層の離間距離と連動に関する既往の研究から、FO-A～FO-B断層と熊川断層は連動しないこと（疎丙63の1, 112~115頁）等を改めて説明した。参加人の説明を受けて、島崎委員は、「それで、今、3連動かどうかという話になっていますけれども、非常

に構造（引用者注：断層の可能性を示す地質構造）は弱いので、見たところ、必ずこう曲がる（同：断層活動により地層に変位を与える）という感じでは多分ないと思うんですよ。たまたま時々あるというぐらいの弱い活動だけでも、特にここが古い活動であるというのであれば、これはひょっとすると、最初のこれはこれで終わっていて、3運動しなかったんだけども、最近は少し3運動するようになって、この構造が弱まっているという、そういう解釈もあり得ます・・・非常に微弱ですので無視してもいいかなとも思うんですが、ちょっと気になっているということで申し上げたので、検討していただきましょう。もうちょっとといい記録が欲しいなというのが一番のあれなんですけど、今さらしようがないかもしれない。ですが、もう少し見えると、ここのところがはっきりするというのが申し上げたかったことです。気になったら調査していただければと思いますが」（疎丙74、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第59回 議事録」61頁）として、参加人が行った詳細な調査の結果によれば地質構造としては3運動の可能性が低いことは認めた上で、更なる調査データが出てくれば、結論がより明確になるとの見通しを述べた。

④そして、第59回審査会合では、上記の地質構造に関する審議の後、地震動評価についての審議が行われ、参加人は、「3運動についても、我々、基本的には2運動で十分であるが、3運動も一つの不確かさのケースとして今後検討が必要かということで、今回こういうケースを設定してお示ししてございます」、「最後にお示しした100ページのところのいわゆる700ガルの基本ケース、Ss-1（引用者注：2運動の評価による基準地震動）を上回るものについては、追加としてSsにする必要があるというふうに考えてございます」

(同77頁)として、参加人は、基本的には2連動で十分と考えているものの、あえて「不確かさの考慮」として3連動の地震動評価も行うとの方針を示した上で、この方針に至った理由について、地質調査の結果、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連続するような地質構造等は認められなかつたが、「3連動の有無につきましても、我々、調査をもうし尽くした感がございまして、これ以上分析はしたところで、不確実さを100%活動しないという御理解を得るには、少し時間がかかる可能性もあります」(同78頁)と説明した。この参加人の説明に対して、島崎委員から異論を唱える発言は見られなかつた。また、原子力規制庁安全規制管理官(地震・津波安全対策担当)の小林勝氏は、「今回、3連動なのか、2連動なのかという議論もいろいろさせていただいたんですけど、結果的にそこはまだ平行線だというふうに私は思っています。今回あえて3連動させて、なおかつ、不確かで(同:「不確かさで」の誤記と思われる)3kmをやつたという位置づけになりますよね。もちろん先ほど言った議論も残っていますけど、そういうことで基本的に地震動自体はレシピの1.5倍ですね、これで決まると思いますけど、不確かさでここまでやっていただくということは私は適切ではないかなど、個人的なあれですけど、思います」(同87頁)と述べ、地質調査の結果、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連続するような地質構造等は認められないが、基準地震動の策定に際しては、保守的な条件設定としてあえて3連動を考慮するとの参加人の説明に理解を示した。

以上のとおり、FO-A～FO-B～熊川断層の3連動については、その連動性はないとする参加人の説明に対し、当初、各会合の出席者らから否定的な意見が多く出されたが、その後、参加人が小浜湾周辺

の陸域及び海域において実施した各種調査結果について説明した結果、専門家から連動性を示す地質構造が見られないことについて一定の理解が示された。しかしながら、参加人は、地震動評価においては、より一層保守的な評価をすべく、基本ケースの段階から3連動を考慮することとしたものである。

このような経緯があったことから、「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」（疎丙6）の15頁においては、「規制委員会は、審査の過程において、申請者（引用者注：参加人）が当初、FO-A～FO-B断層と熊川断層の同時活動を考慮する必要はない」と評価していたため、敷地の前面に存在するFO-A～FO-B断層と熊川断層との間に断層の有無が不明瞭な区間が相当あり、連動破壊を否定することは難しいことから、検討用地震の選定に際しては、敷地に与える影響が大きくなるよう、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動する場合を考慮することを求めた。これに対して、申請者は、これらを反映して検討用地震の選定に係る評価を示した」と記載されている。

要するに、参加人は、FO-A～FO-B断層と熊川断層との連動性（3連動）について、地質調査の結果、両断層が連続するような地質構造等は認められないものの、原子力規制委員会の審査を受けている参加人の判断として考慮することとしたものである。このような議論全体を見れば、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動する（3連動）との想定は、極めて保守的な評価であるというべきである。

(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、北東から南西方に向に延びる断層である。上林川断層は、既存文献（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）の「三峠・京都西山断層帶の長期評価について」）では長さ約26kmとされていた。

参加人は、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。

（疎丙24、添付書類六、6-3-31～6-3-41頁、疎丙6、13～14頁、疎丙59、48～50頁、疎丙62、15～40頁）

具体的には、以下のとおりである。

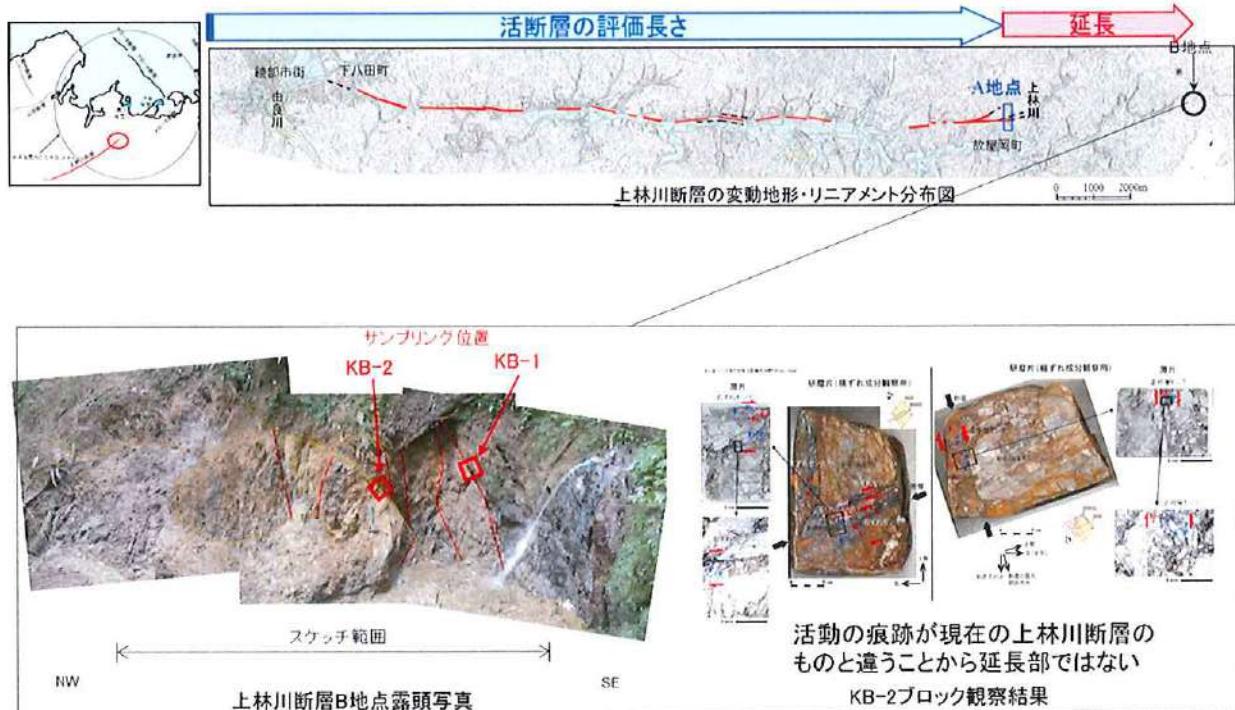
a 北東端の評価

上林川断層の北東端については、まず、変動地形学的調査（疎丙59、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（疎丙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、参加人は、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（疎丙59、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（疎丙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（疎丙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40。疎丙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40 上林川断層の北東端の評価】

b 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41、疎丙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。

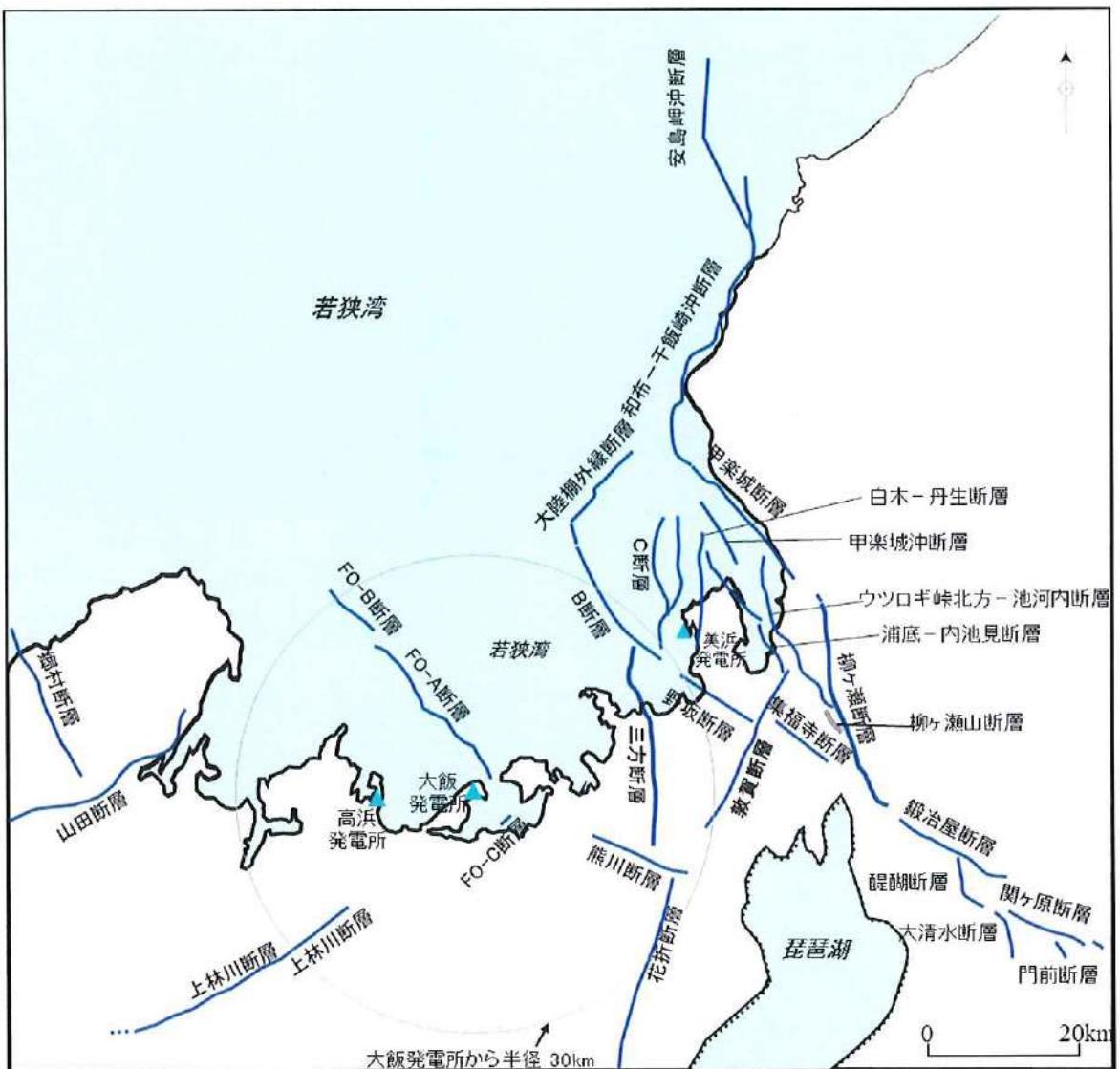
【図表4-1 上林川断層の南西端の評価】

(才) 小括

このように、参加人は、「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。

力 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4-2のとおりである（疎丙58、6頁）。



(疎丙 58, 6 頁に一部加筆)

【図表 4 2 震源として考慮する主な活断層】

参加人は、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 4 3），「敷地ごとに震源を特定して

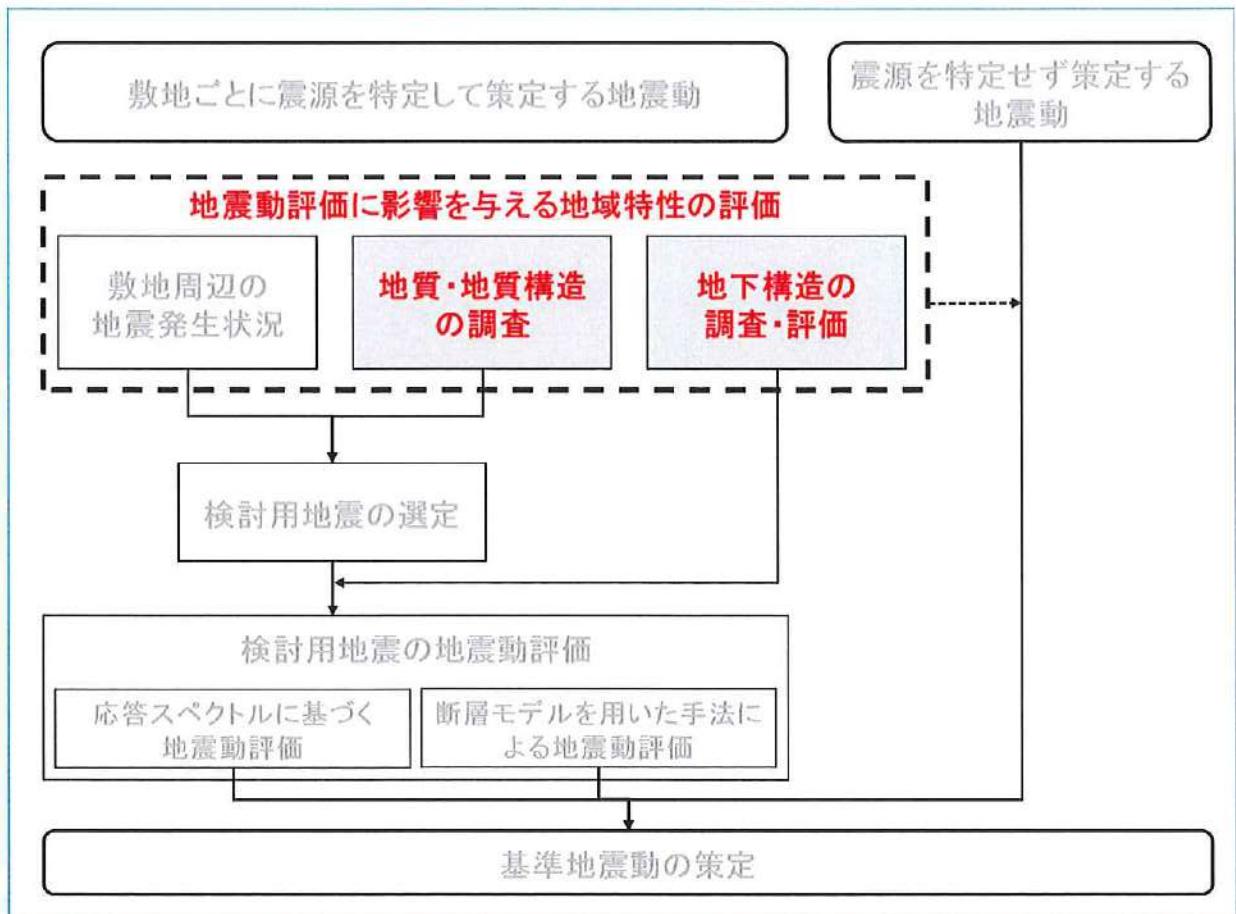
策定する地震動」の評価に用いる「検討用地震」の候補とした（疎丙 58, 7 頁）。

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	有馬一高槻構造線	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 4 3 敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震】

3 地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価



参加人は、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5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6）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。

以下、この調査・評価について、具体的に説明する。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、震源として考慮する活断層（上記2（1）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）、疎乙3、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、疎乙3、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、疎乙3、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、疎乙3、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（疎丙75、「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) 参加人による調査・評価

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、参加人は、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。

参加人は、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、参加人は、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（下記第5の1（2））、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（2）才で述べたとおりである。

（疎丙62、15～71頁、169～177頁、182～185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。

参加人は、FO-A～FO-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⁴²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°（断层面が鉛直）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（疎丙62、10～11頁）各断層が東西軸に対して斜め方向の走向であるところ（図表4-2を参照）、広域応力場の圧縮方向に対して断層の走向が斜め方向である場合、一般的に断層型は横ずれ断層となる⁴³ことから、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⁴⁴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（疎丙76、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

⁴² 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。

⁴³ 断層は、広域応力場や、広域応力場と断層の走向との関係によって動く方向が異なり、正断層、逆断層、横ずれ断層に分類される。つまり、正断層は地殻が引き延ばされているとき（引張応力場）、逆断層は横から強く押されているとき（圧縮応力場）に、横ずれ断層は斜め横方向からの圧縮又は引張を受けているときに、それぞれできると考えられている。

⁴⁴ 地震本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（『レシピ』）」（疎乙6）には、横ずれ断層の場合、傾斜角は90°が基本となることが記載されている（疎乙6、4頁）。

層の傾きが90°（断層面が鉛直）と評価した。

（ウ）断層の幅（地震発生層の深さ）

上記第2の3（3）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4-4）。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。

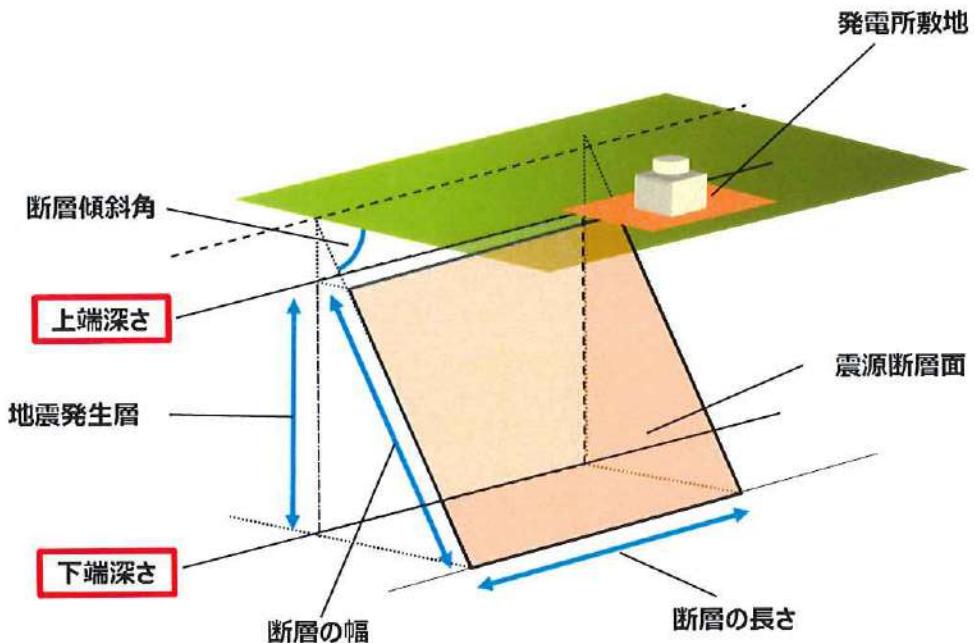
ここで、一般的に、地盤は深くなるほど（深さ20km程度までは）固くなり、硬い地盤ほど地震波（P波・S波）の速度が速くなるとされている。具体的には、内陸地殻内地震は、P波速度約6.0km/s以上の地層で発生するとされていることから、このP波速度約6.0km/s以上となる地層の上端を把握できれば、地震発生層の上端深さを評価することができる。

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、参加人は、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层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。参加人は、そのような保守的な条件設定において、下記の評価を行った。



【図表4.4 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】

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4.5。疎丙77、「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）⁴⁵における地震波速度トモグラフィ⁴⁶による検討（図表4.6。疎丙77, 118頁）

⁴⁵ 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ー」地球惑星科学関連学会合同大会予稿集

⁴⁶ 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。

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。下記ウで述べる）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。

■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 $V_p=6.0\sim6.2\text{km/s}$ 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、 $V_p=6.0\sim6.2\text{km/s}$ 層に対応している。

○新宮一舞鶴測線(2004)の探査結果

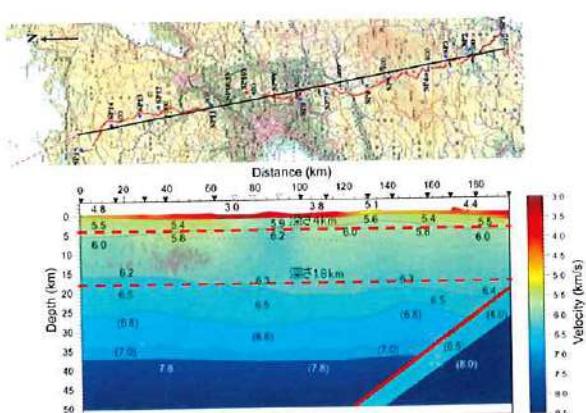


Fig. 9 P-wave velocity structure for the Nagaoka-Iwakuni seismic reflection profile. Numerically show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low frequency earthquakes, respectively, after Hidemoto and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

○藤橋一上郡測線(1989)の再解析結果

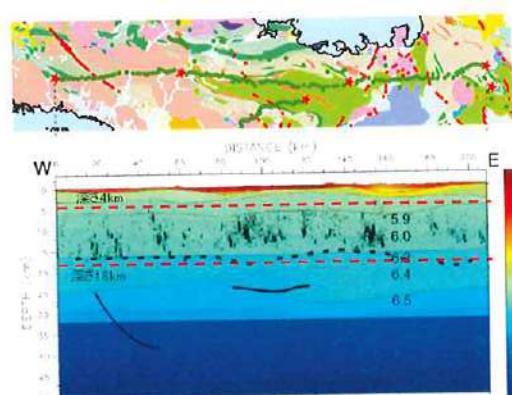


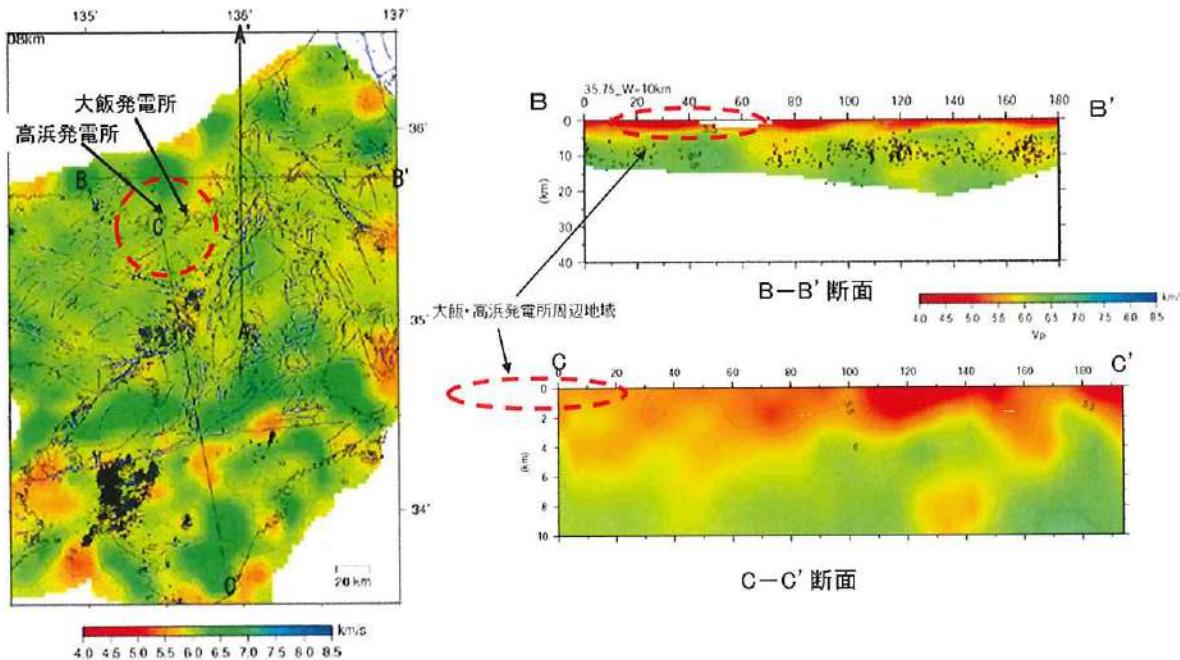
Fig. 16 藤橋一上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

【図表4 5 「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4-6 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6.0~6.2km/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⁴⁷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。

参加人は、上記の結果と、下記工(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

⁴⁷ 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。

の幅が広くなるよう)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、参加人は、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)⁴⁸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)⁴⁹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4.7、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、疎丙78、「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)、参加人は、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~

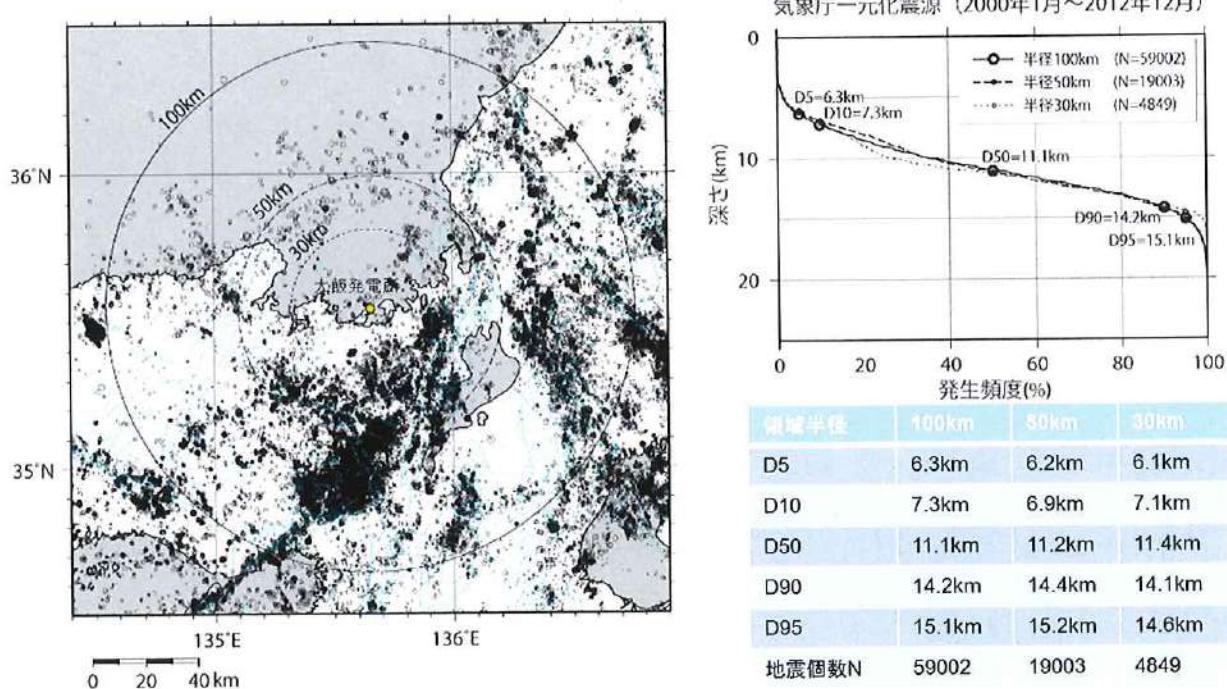
⁴⁸ 廣瀬一聖・伊藤潔「広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定」京都大学防災研究所年報第49号B、307~321頁。なお、同研究においても、「近畿地方北部では、内陸の深い地震活動の深さは、4~5kmから17~18kmである」との記載がある(317頁)。

⁴⁹ 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

3km深い、18kmを下端深さと設定した。(疎丙58、61~62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深いとされている。



(疎丙58、61頁より)

【図表4-7 微小地震記録を用いた検討】

c 断層の幅

以上のとおり、参加人は、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、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、参加人は、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。

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。

参加人は、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。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ところから、震源の位置を把握することが重要となる。

参加人は、上記2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（岩石等）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。

参加人は、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）⁵⁰の知見をもとに、Q値を $50f^{1.1}$ （fは地震波の周波数⁵¹で、周波数毎にQ値は変化する）と設定した（疎丙58、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⁵²。

(ウ) 小括

上記のように、参加人は、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把握するとともに、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。

ウ 地盤の增幅特性（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

⁵⁰ 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。

⁵¹ 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）。

⁵² 佐藤智美「伝播経路モデルの考え方」日本建築学会2006年地盤震動シンポジウム、23-34頁。

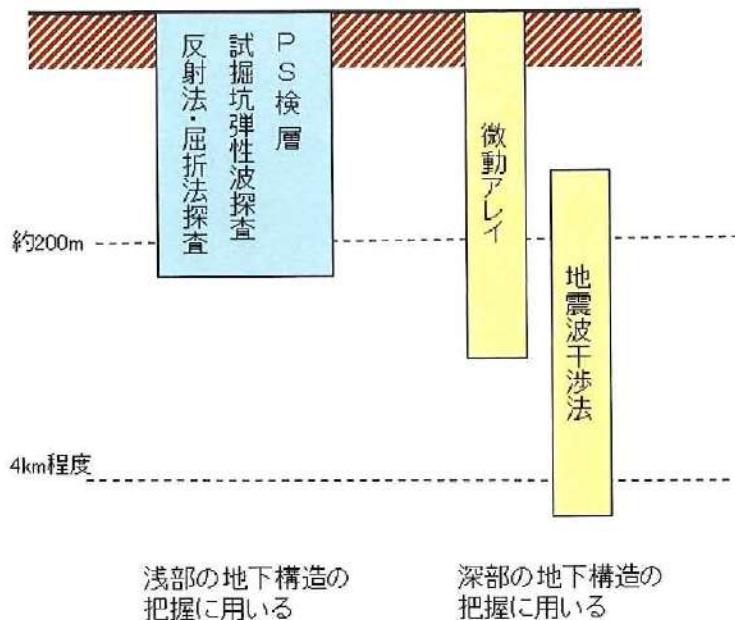
かい（地震波の伝わる速さが小さい）地層へ伝播する際に増幅されるため、相対的な硬さ（地震波の速度）の差があると、地震波は、相対的に軟らかい地層に伝播する際に増幅される。通常は、地表に近づくに従って地層は相対的に軟らかくなるため、地中の硬い岩盤を伝わってきた地震波は、いくつかの地層を通って地表に到達するまでに順次増幅される。このような特性を地盤の増幅特性（サイト特性）といい、その増幅の程度は、速度構造（地震波の伝わる速さが異なる地層の並び）の影響を受ける。

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、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、参加人は、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4.8。疎丙24、添付書類六、6-5-7～6-5-8頁、疎丙77、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（疎丙79、「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」）。



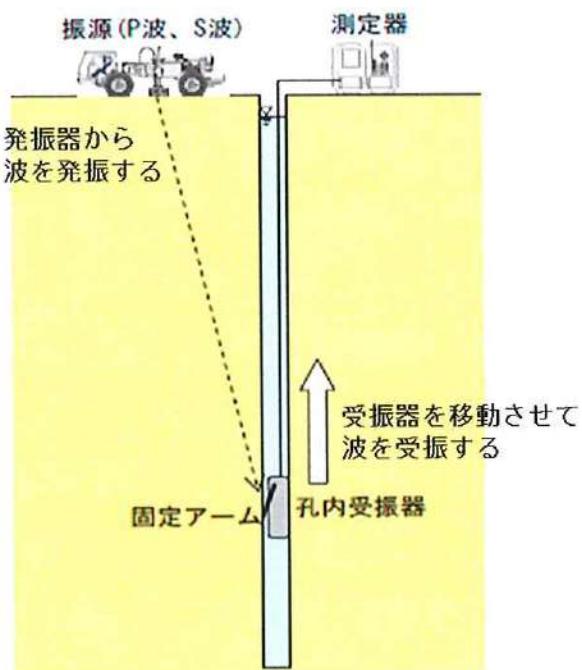
【図表4 8 地下構造の把握に係る各種調査】

(ア) 浅部地盤の速度構造に関する調査

参加人は、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（疎丙77、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4 9）。



【図表4-9 P-S検層の例】

参加人は、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。(疎丙77, 7頁)

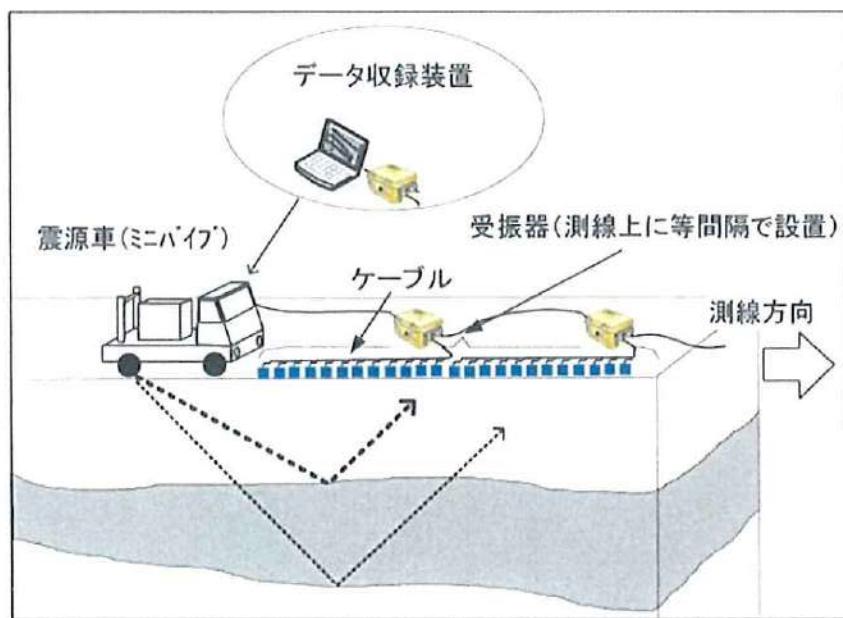
b 試掘坑弾性波探査

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。

参加人は、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（疎丙77, 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50）。



【図表50 反射法地震探査】

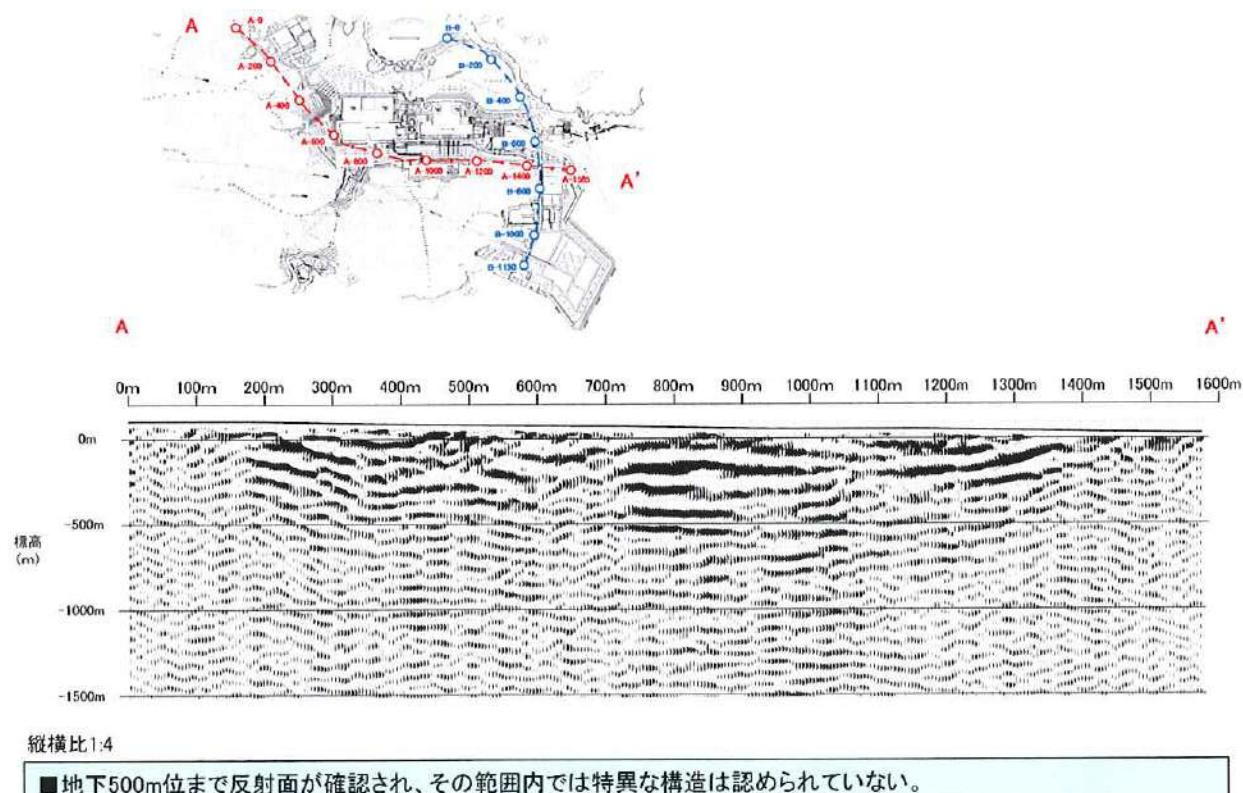
参加人は、本件発電所敷地内に設定した測線に沿って受振器を設置した上で、発振器を搭載した震源車により振動を発生させ、地中から反射してくる波を受振器で観測した（疎丙77、41頁）。

本件発電所敷地での反射法地震探査では、敷地内にA、B 2本の測線を配置し（図表51及び52のそれぞれ上側の図。疎丙77、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

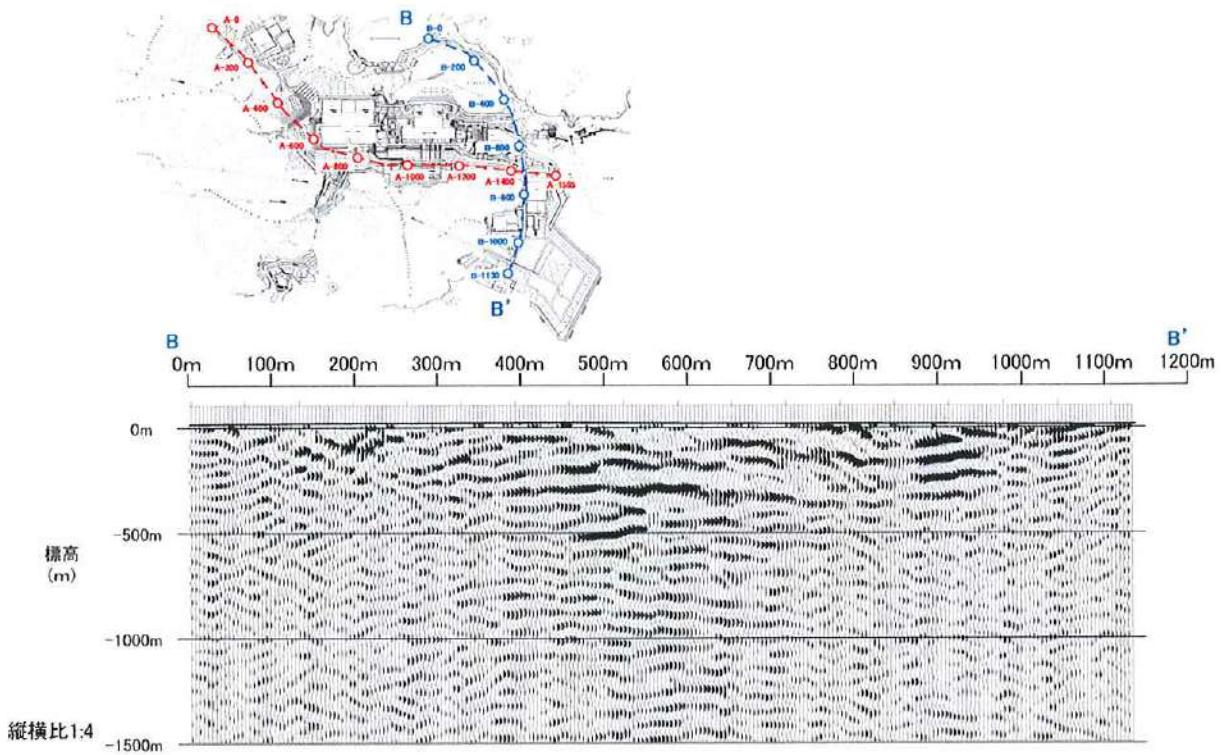
ることで地中の反射面（すなわち波の速度が変化する境界面）の位置、構造（速度構造）を評価した。

A, B両測線の解析結果は、図表5 1及び5 2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、疎丙77、41～56頁）



【図表5 1 反射法地震探査結果（A測線）】



【図表 5-2 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（疎丙77、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⁵³を設定した（疎丙24、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（疎丙77、51頁、56頁、63頁）。

⁵³ 上記第 2 の 5 (2) を参照。

そして、以上の各調査の結果を総合して、参加人は、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）c）を作成することとした（疎丙24、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

参加人は、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（疎丙77、64～115頁）。

a 地震波干渉法

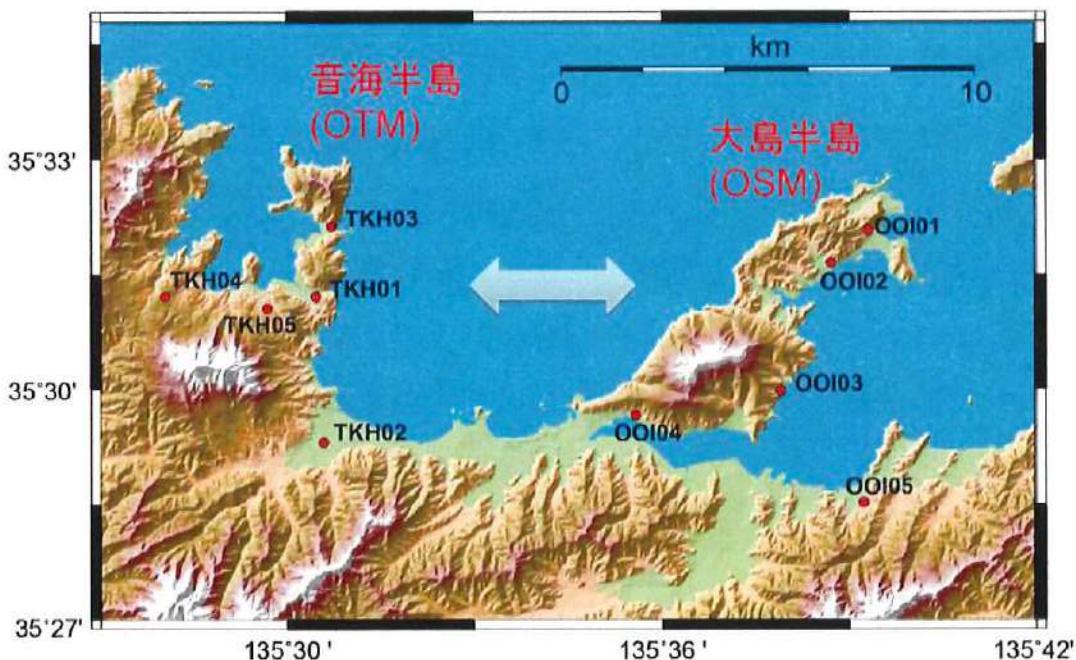
地震波干渉法とは、地表の離れた2点で常時微動を長期間連続的に観測してデータ解析を行い、2点間の波の伝わり方を求める調査手法をいい、この結果から2点間における地盤の速度構造を求めることができる。

具体的には、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」⁵⁴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

⁵⁴ 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記第5の3）で参加人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。

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。

参加人は、大島半島（本件発電所側）及び音海半島（高浜発電所側）の各5地点に地震計を設置した（図表53。疎丙58, 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（疎丙77, 83頁, 101~102頁）。



【図表53 常時微動観測のための地震計の設置位置】

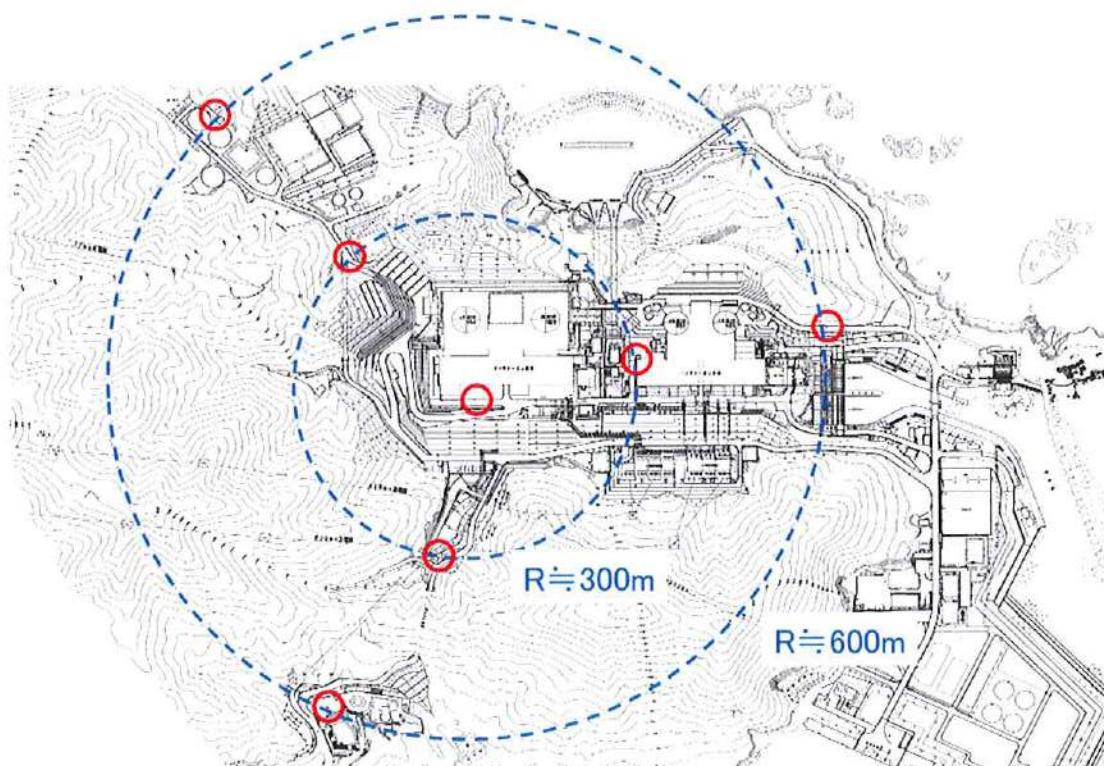
b 微動アレイ観測

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する調査手法をいい、得られた結果をデータ解析すること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ことができる。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。

参加人は、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54の赤丸）、ここで得られた波形から位相速度を求めた（疎丙77、65～70頁）。

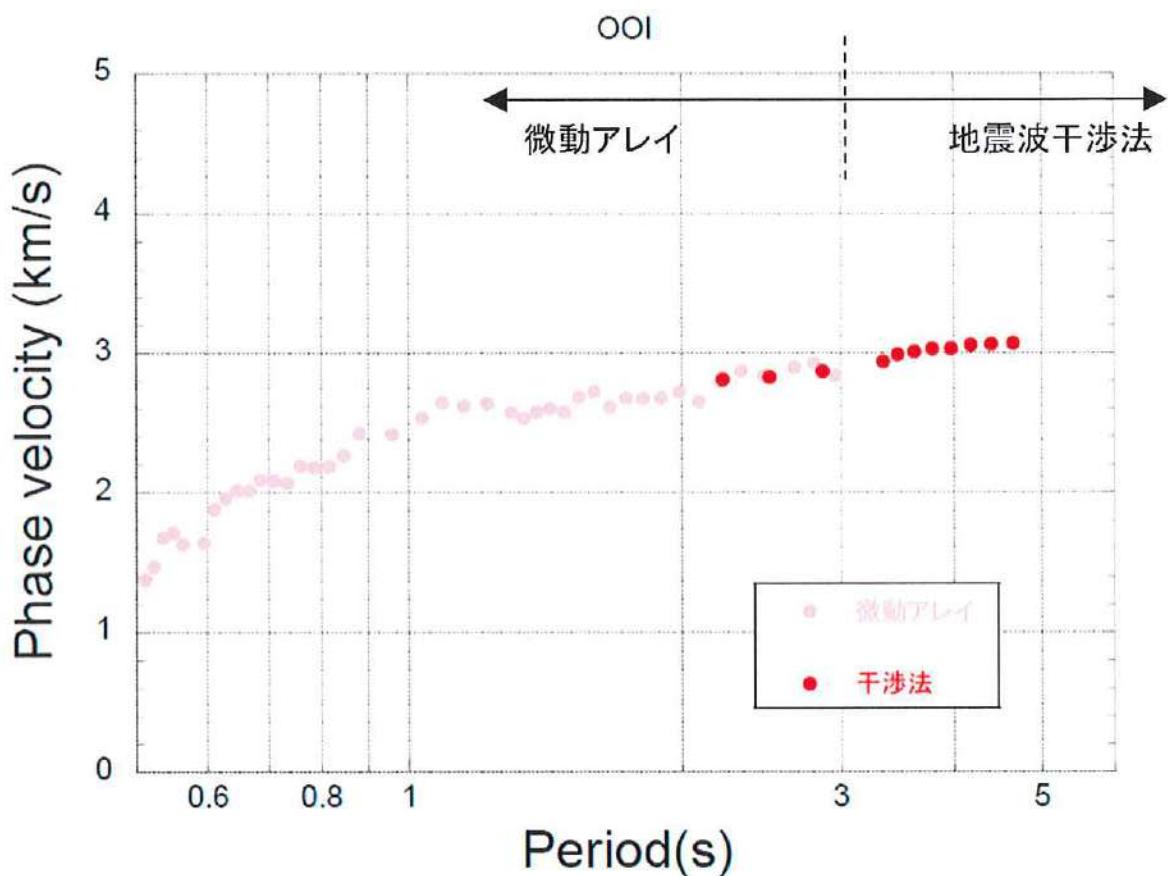
■大飯発電所敷地内で半径約600m・300mの微動アレイ観測を行う。



【図表54 微動アレイ観測のための地震計の設置位置】

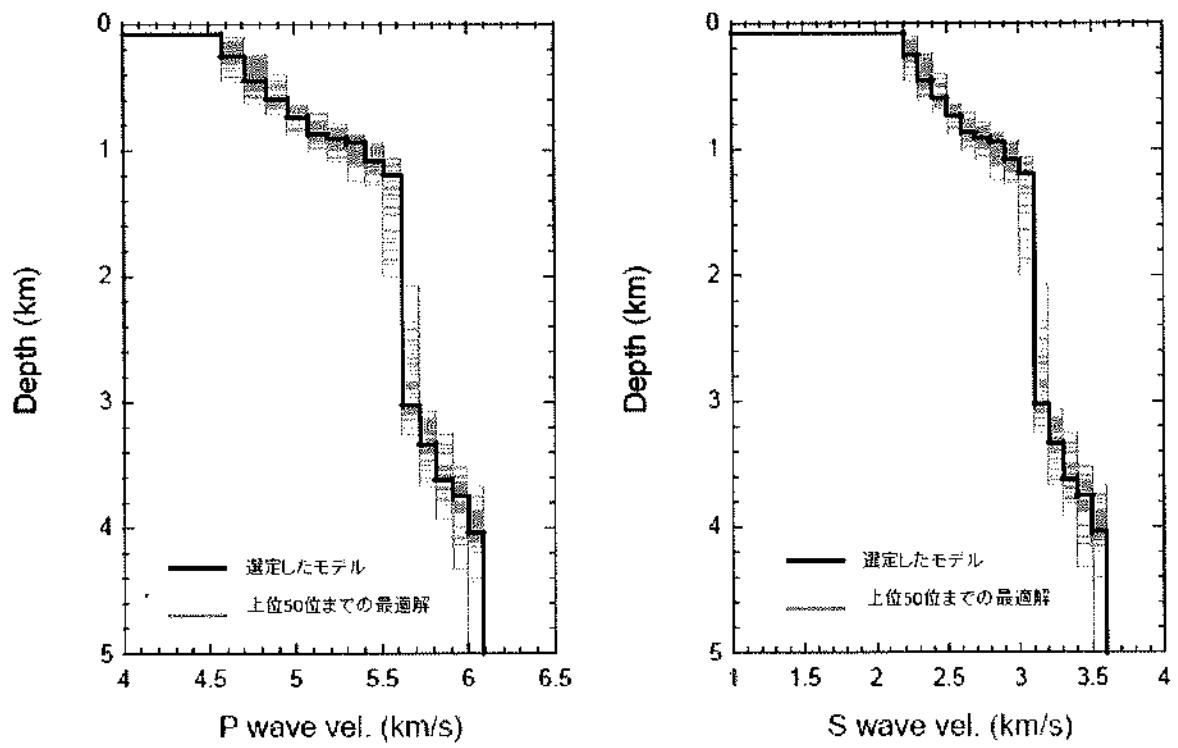
c 観測結果の解析

上記の、地震波干涉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55（疎丙77、104頁）である。



【図表 5-5 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))】

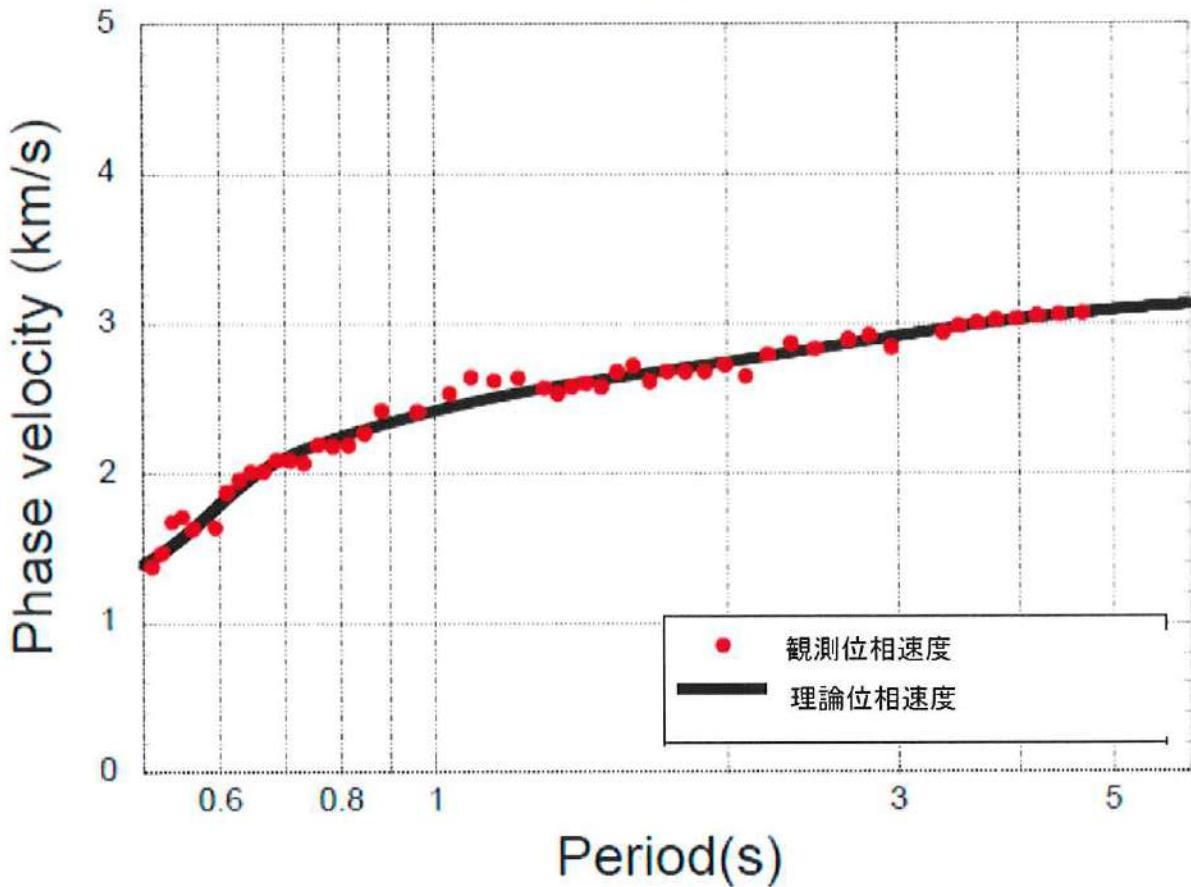
この位相速度に合うような地盤の一次元の速度構造モデル、すなわち、波の速度が変化する境界面（速度構造）が地表面と平行となっているモデルを解析により求めた結果、本件発電所敷地の地盤の速度構造モデルは、図表 5-6（疎丙77, 107頁）のとおりとなった（同図内の「選定したモデル」の線。横軸が地震波の速度 (km/s)、縦軸が地中の深さ (km) であり、深くなるほど地震波の速度 (P 波速度, S 波速度) が速くなっている）。



【図表 5-6 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 5-5）と比較したところ、下記の図表 5-7（疎丙77、110頁）のとおりとなった。



【図表 5-7 速度構造モデル（図表 5-6）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 5-5）との比較】

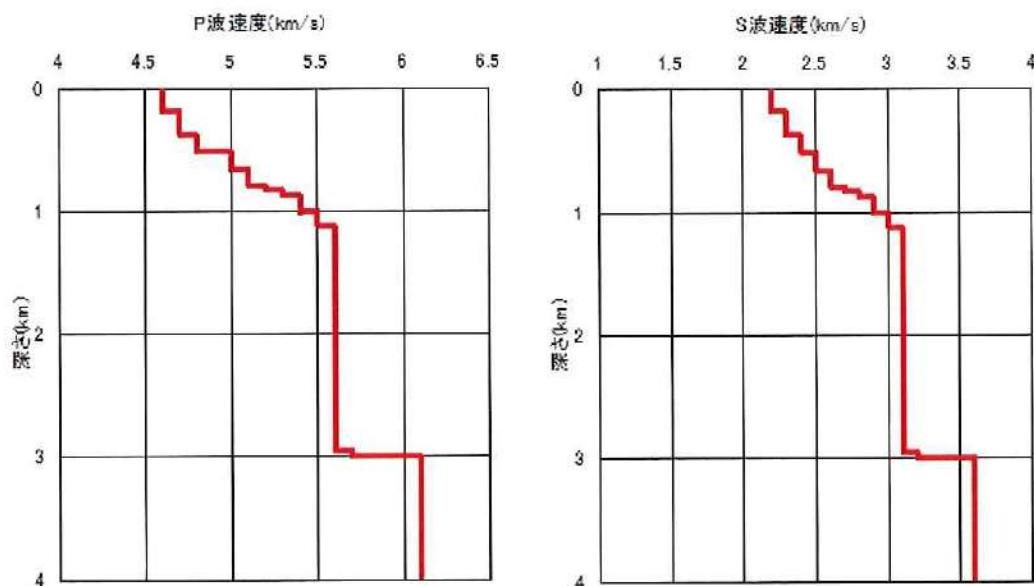
図表 5-7 に示されるとおり、一次元の速度構造モデルの諸元から算出した位相速度（同図内の「理論位相速度」の黒い線）は、観測結果による位相速度（同図内の「観測位相速度」の赤い点）と良く一致している。このことから、実際の本件発電所敷地の地盤の速度構造が、この一次元の速度構造モデル（波の速度が変化する境界面が地表面と平行となっており、局所的に地震波の集中をもたらすような特異な構造がない、成層のモデル）によって精度良く評価されていることを確認した。

(ウ) 小括

上記のように、参加人は、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58（疎丙24、添付書類六、6-5-72頁の第5.4.10図）のとおり設定した⁵⁵。

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增幅特性（サイト特性）を評価することができる。



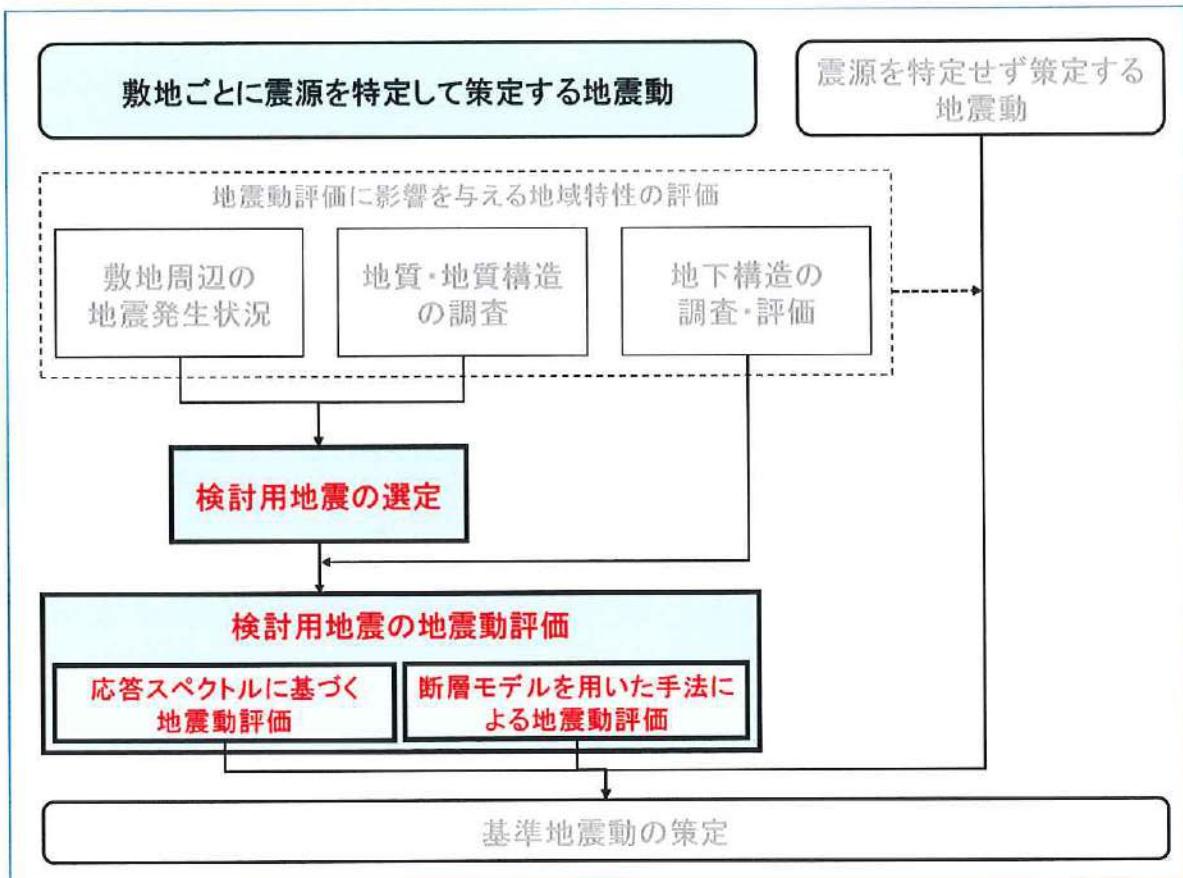
【図表58 本件発電所の地震動評価に用いる地下構造モデル
(左：P波速度、右：S波速度)】

⁵⁵ 例えば、P波速度について説明すると、図表5-6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5-8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5-6及び5-8のそれぞれ右のグラフ）も同様である。

エ　まとめ

以上のように、参加人は、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。

第5 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価



参加人は、第4で述べた本件発電所周辺の地域特性を踏まえ、検討用地震（FO-A～FO-B～熊川断層による地震、及び上林川断層による地震）を選定し（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（「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価）。

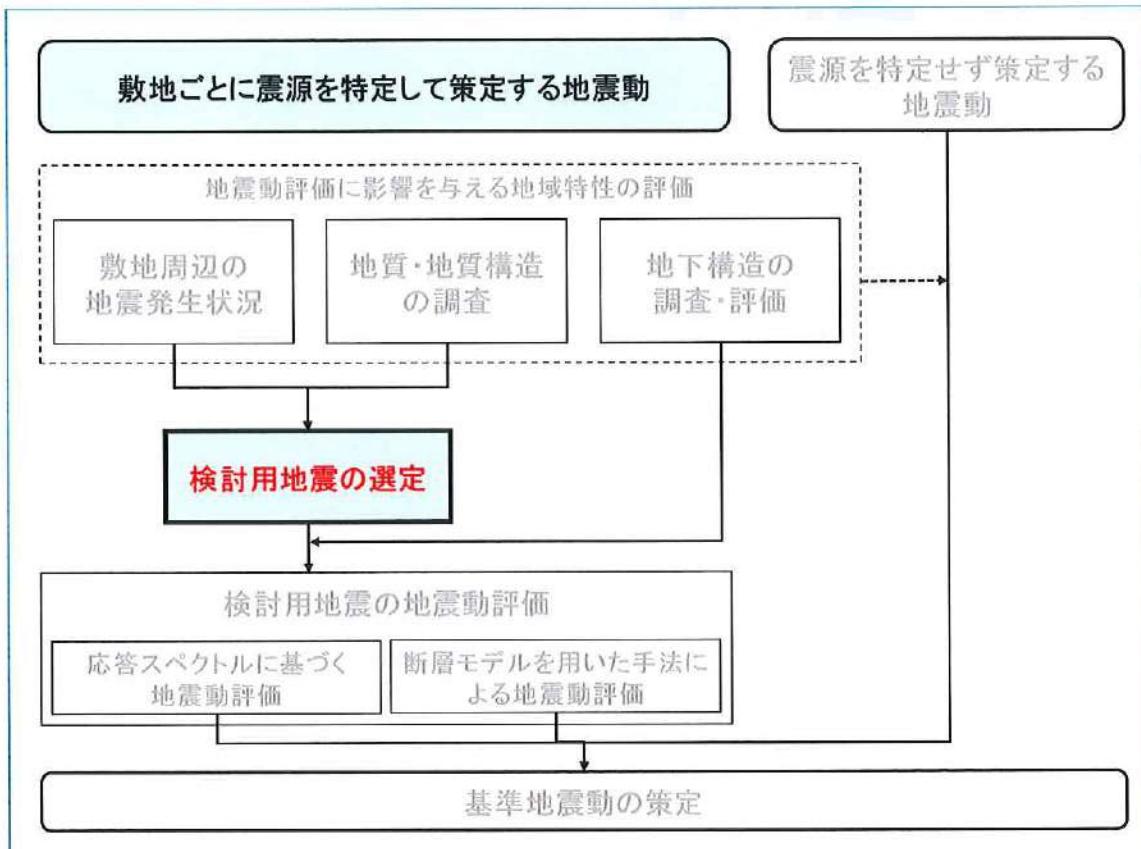
「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、実際には広がりをもった震源断層面から放出される地震波を、ある1点の震源から放出されるものと仮定し（点震源），距離減衰式を用いて、地震の規模、評価地点までの距離等の諸元から地震動の応答スペクトル（上記第2の6を参照）を求めて、地震動を評価するものである。

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の增幅特性（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、疎乙3、134～135頁）。

(2) 本件発電所における検討用地震の選定

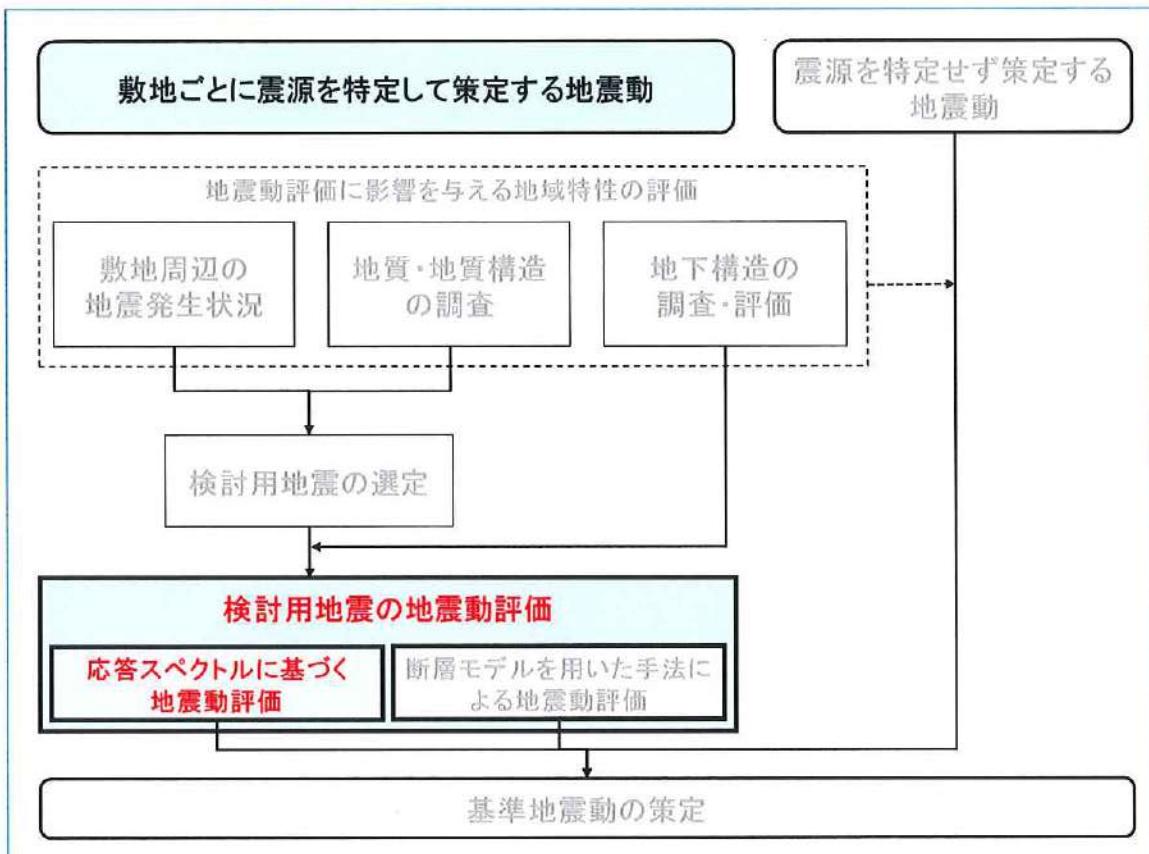
参加人は、上記第4の1（敷地周辺の地震発生状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された9個の地震及び上記第4の2（活断層の分布状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された18個

の地震を対象に、地震の規模及び敷地までの距離に基づいて敷地に与える影響を詳細に検討した。

その結果、本件発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震として、「FO-A～FO-B～熊川断層による地震」（上記図表43の16番）及び「上林川断層による地震」（上記図表43の11番）の2つを、検討用地震として選定した。

（以上について、疎丙24、添付書類六、6-5-9頁、丙5、9頁）

2 応答スペクトルに基づく地震動評価



一般に、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。この性質を利用し、地震の規模及び震源からの距離から、特定の地点で想定される地震動を経験的に求める手法を距離減衰式という。「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。

以下、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」について述べる。

(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变化等の地震動特性を適切に考慮して地震動評価を行うこと」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号④i, 疎乙3, 135～136頁）。

これを受けて、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（疏乙5。以下、「地震ガイド」という）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「参考する距離減衰式に応じて適切なパラメータを設定する必要があり、併せて震源断層の拡がりや不均質性・・・が適切に考慮されていること」を確認するとともに、②伝播特性及び地盤の增幅特性（サイト特性）の評価について、「参考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（疏乙5, 4頁, I 3.3.1(l)）。

（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、参加人は、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、Noda et al. (2002)⁵⁶の方法（以下、「耐専式」という。疏丙80、「岩盤における設計用地震動評価手法（耐専スペクトル）について」）を用いることとした（疏丙58, 63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（疏丙80, 2頁），本件発電所敷

⁵⁶ Noda et al. (2002) 「Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites」。

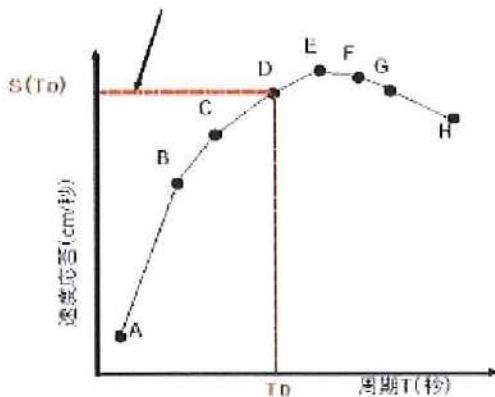
地盤と同様の岩盤上の20年間の地震記録（水平成分214個、上下成分107個）を統計的に分析すること（回帰分析）により得られた算定式である。同式は、上記部会において平成11年に策定されて以降、地震観測データを用いて適用性の検証、確認が継続的に行われており、信頼性を有する地震動評価手法である。

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} ）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つの周期に対する応答値（コントロールポイント）が算定される。この8つのコントロールポイントを、横軸に周期をとったグラフ上に書き出し（図表5.9内の「A」から「H」までの8つの点），それらを線で結ぶことにより、応答スペクトルが求められる（同図）。

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

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



【図表5 9 耐専式による応答スペクトルの作成】

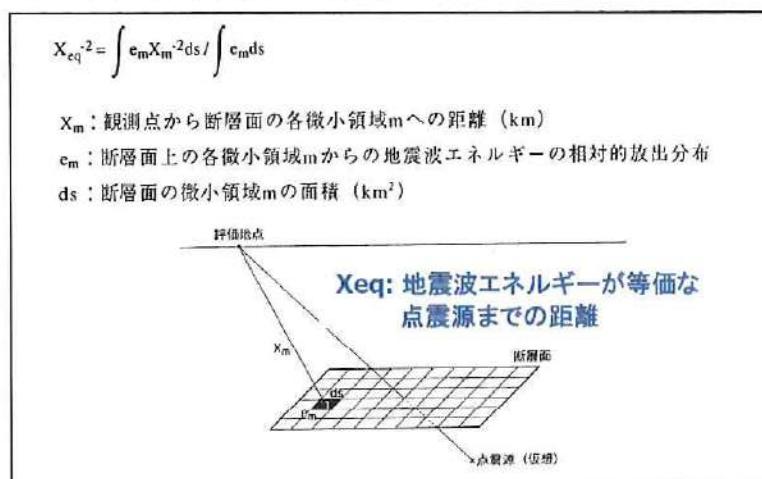
b 耐専式に入力する地震の規模 (M) については、松田時彦東京大学名誉教授が「活断層から発生する地震の規模と周期について」(疎丙81)で提案した、活断層長さ (L) と地震の規模 (M) との関係を表す経験式 ($\log L = 0.6M - 2.9$) (以下、「松田式」という。疎丙81, 271頁) を用いて、断層長さから求めた。(疎丙58, 63頁)

松田式は、地震本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(『レシピ』)」(疎乙6, 以下「レシピ」という)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(疎乙6, 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。参加人は、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⁵⁷。

c 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 (X_{eq}) 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

⁵⁷ 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)の基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(疎乙6, 5頁, (d), 構外)。参加人は、本件発電所の検討用地震として選定した、FO-A～FO-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)の図表4-3参照)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。

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60）。実際は広がりをもった震源断層面から放出された地震波を、ある1つの震源（点震源）から放出されるものと仮想することにより、等価震源距離という1つの数値の中で、震源断層面の広がりや断層面の不均質性（アスペリティ⁵⁸分布）の効果をも考慮することができる。



【図表60 等価震源距離】

(イ) 耐専式の適用が不適当な場合の取扱い（各種距離減衰式）

a 耐専式の適用性

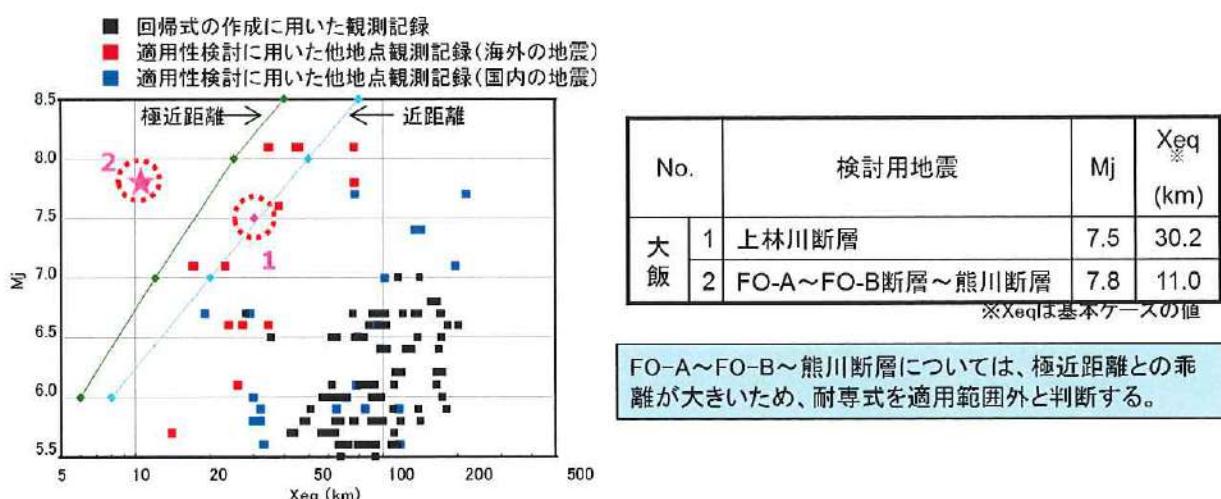
距離減衰式は、様々な観測地点で得られた多くの地震観測記録を回帰分析⁵⁹等によって統計的に処理するという経験的な手法によって作

⁵⁸ 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（疎丙85、「シナリオ地震の強震動予測」852頁）。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く、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）が周りよりも相対的に大きくなることで強い揺れが生起される領域のことをアスペリティとい。これに対し、震源断層面のうちアスペリティ以外の部分は、背景領域と呼ばれる。

⁵⁹ 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。

成されている。そのため、距離減衰式を用いる際には、その元となつた地震観測記録群の範囲（地震規模、震源からの距離等）を踏まえ、評価地点における地震動評価に用いることが適當かどうか（適用性）を確認した上で用いる必要がある（疎乙5、4頁、I 3.3.1(1)①1）。

耐専式については、その作成にあたって基礎とされた地震観測記録群のほか、作成後、同式の適用性の確認に用いられた地震観測記録群もあるが、これらの記録群には、等価震源距離が「極近距離」（マグニチュード8なら25km、マグニチュード7なら12km等）よりも著しく短い場合の地震観測記録は含まれていない（図表61、疎丙24、添付書類六、6-5-81頁、疎丙58、64頁、疎丙82、「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）。



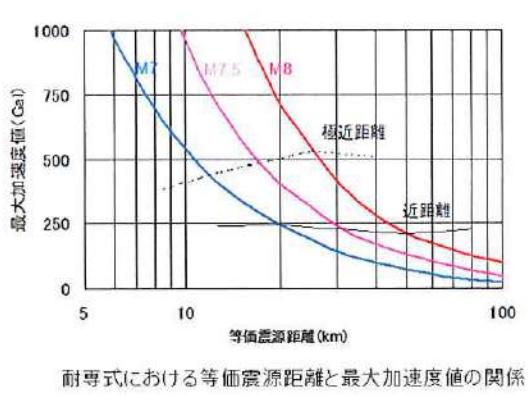
（疎丙58、64頁から抜粋）

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

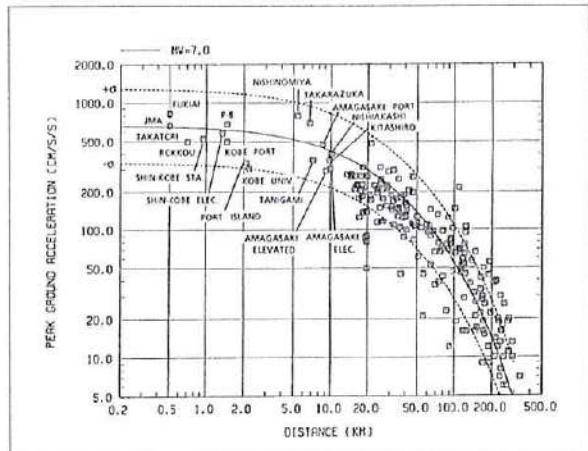
【図表61 耐専式の適用可否の検討】

また、等価震源距離が「極近距離」よりも著しく短い場合、耐専式では、等価震源距離が短くなるにつれて、実際の地震動に比べて大きな

評価結果が得られる傾向があるとされている（図表6-2）。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。



極近距離とは
近距離(約200～250Galの加速度となる点)の1/2程度



(疎丙83、「大飯発電所 地震動評価について」40頁から抜粋)

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

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

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

【図表6-2 耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係】

b 本件発電所における取扱い

本件発電所の地震動評価において、上林川断層による地震（マグニチュード7.5）は、等価震源距離が30.2kmであり、耐専式における「極近距離」に比べて十分長い一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震（マグニチュード7.8）は、等価震源距離が11.0kmと、「極近距

離」に比べて著しく短い（図表6-1）。

そこで、参加人は、上林川断層による地震の地震動評価には耐専式を用いることとしたが、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の地震動評価については、耐専式を用いず、耐専式以外の各種の距離減衰式（内山・翠川（2006）⁶⁰の関係式、片岡ほか（2006）⁶¹の関係式、Abrahamson and Silva（2008）⁶²の関係式等）により応答スペクトルを求めることとした（疎丙24、添付書類六、6-5-46頁、疎丙58、65頁等）。

なお、このように震源が近い地震について距離減衰式で求めた応答スペクトルについては、その取扱いに際して特別な留意を行っている。すなわち、「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、多くの地震観測データに基づき、数少ないパラメータにより行うものである一方、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、断層面積、傾斜角等の断層形状のみならず、破壊開始点、アスペリティ等の破壊のメカニズムも考慮する（具体的には、断層全体の形状や規模を示す巨視的震源特性、アスペリティ等の震源断層の不均質性を示す微視的震源特性、破壊過程等のその他の震源特性を考慮した震源特性パラメータを設定する）ことにより、詳細な地震動評価が可能なものである。このことから、平成18年耐震設計審査指針では、震源が評価対象地点に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を重視すべきであるとされ（疎乙4、262頁）、地震ガイドにおいても、同様に記載されている（疎乙5、3頁、I.3.1(2)）。

⁶⁰ 内山泰生、翠川三郎「震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式」日本建築学会構造系論文集、606号、81～88頁

⁶¹ 片岡正次郎ほか「短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式」土木学会論文集A、62、740～757頁

⁶² Abrahamson, N. and W. Silva 「Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations」Earthquake Spectra, Vol. 24, 67-97頁

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

(以上(イ)について、疎丙24、添付書類六、6-5-11～6-5-12頁、疎丙58、63～65頁)

イ FO-A～FO-B～熊川断層の地震動の応答スペクトル

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

(疎丙24、添付書類六、6-5-11～6-5-12頁、6-5-37頁、6-5-84～6-5-85頁)

以下では、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の応答スペクトルについて説明するが、当該説明を行うにあたって、基準地震動の策定（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）における各種パラメータの設定ケースについて述べておく。

参加人は、基準地震動の策定（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、「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。これらのケースでは、地震動評価に影響を与える各種パラメータについて、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、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」と呼んでいる。

この点、「基本ケース」及び「不確かさを考慮したケース」において考慮される不確かさは、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設定されている。このように「基本ケース」は、審査上「基本ケース」と呼称されているものの、レシピに従った「標準的・平均的な姿」とも異なることに留意する必要がある。

(ア) 基本ケース

参加人は、9個の距離減衰式（疎丙58、65頁）のそれぞれに、震源から敷地までの距離、地震の規模等、距離減衰式ごとに必要となるパラメータを入力して、応答スペクトルを求めた。

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

断層の上端（地震発生層の上端）の深さについては、上記第4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（下端深さは18kmと設定し、これにより断層の幅は15kmとした）。

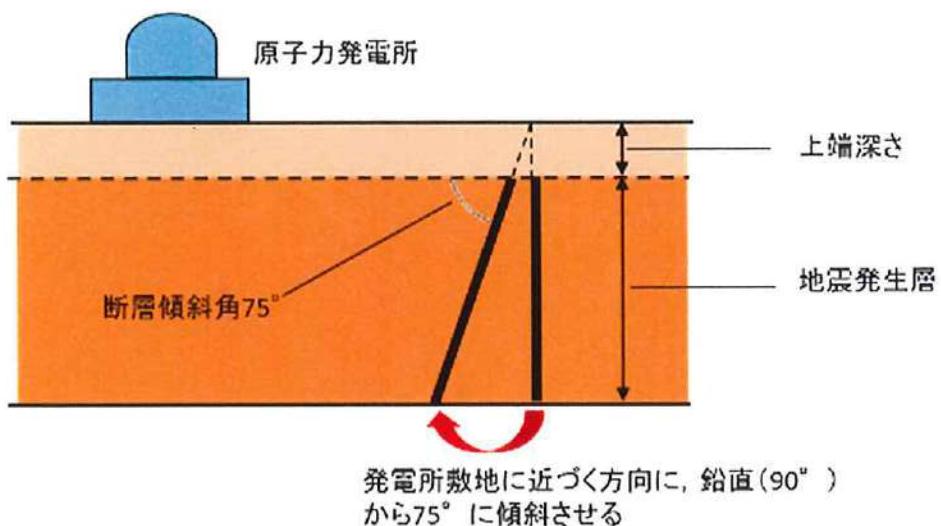
b また、地震の規模については、断層の長さ及び断層の幅（地震発生層の厚さ）の評価結果をもとに、断層面積から設定した。

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

（イ）不確かさを考慮したケース（傾斜角75° ケース）

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

すなわち、FO-A～FO-B～熊川断層は、上林川断層と同様、横ずれ断層であり、断層の傾きが90°（断层面が鉛直）であると評価される（上記第4の3（2）ア（イ））。しかし、FO-A～FO-B～熊川断層は、上林川断層と異なり、本件発電所敷地のごく近傍にあり、想定される地震が敷地に与える影響が大きいため、断層の傾きの違いが地震動評価に少なからず影響を及ぼす可能性があると考えられる。そこで、不確かさの考慮として、念のため、周辺の逆断層の断層傾斜角を参考に震源断层面の傾斜角を75°に変えることで、震源断层面と敷地との距離を近づける（地震動がより大きくなる）ケースを検討した（図表6-3）。



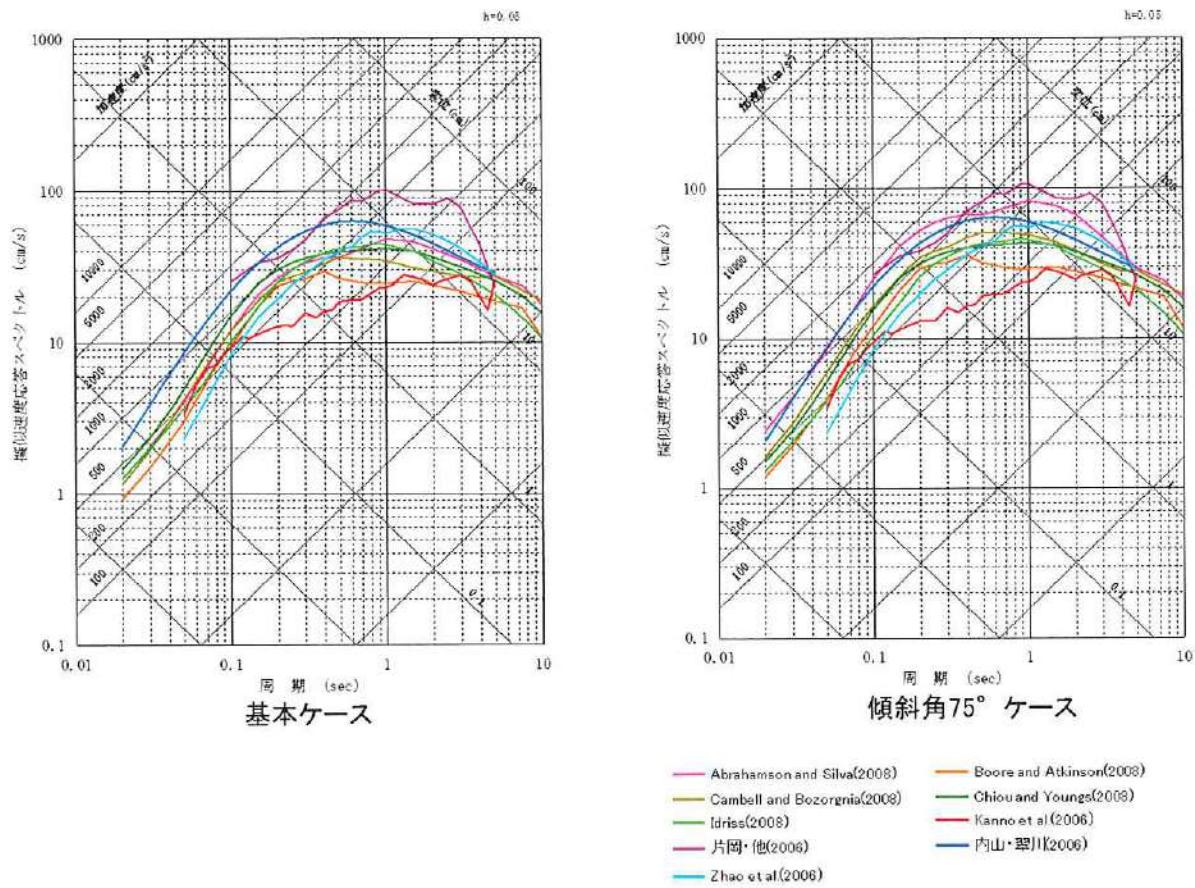
【図表 6 3 断層傾斜角】

(ウ) その他のパラメータ等

参加人は、各種の距離減衰式が提案されている論文（疎丙58、65頁を参照）において、地盤の硬さの差異を考慮する補正式が提案されている場合は、それを用いて本件発電所の地震動を適切に考慮した。

(エ) 応答スペクトル

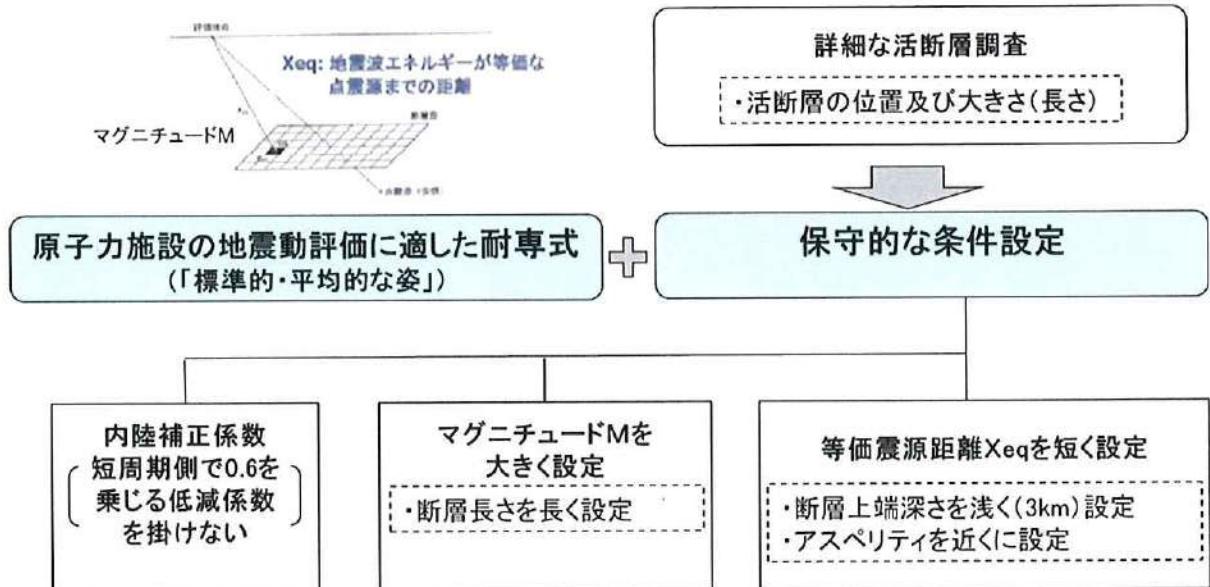
9個の距離減衰式により求めたFO-A～FO-B～熊川断層による地震の応答スペクトルは、図表64のとおりである（疎丙24、添付書類六、6-5-84～6-5-85頁、疎丙58、93頁）。参加人は、上記ア（イ）b述べたように、これらの応答スペクトルを「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性の検討に用いることとした（検討結果については下記第7の1（2）を参照）。



【図表6 4 F O-A～F O-B～熊川断層による地震（基本ケース・傾斜角75° ケース）の各種の距離減衰式による応答スペクトル】

ウ 上林川断層の地震動評価

参加人は、上林川断層による地震については、上記ア（イ）bのとおり耐専式を用いることとし、保守的な条件により設定した地震の規模と等価震源距離等のパラメータを耐専式に入力して、応答スペクトルに基づく地震動評価を行った（図表6 5）。



【図表 6-5 耐専式を用いる際の保守的な条件設定】

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

(疎丙24、添付書類六、6-5-11～6-5-12頁、6-5-37頁、6-5-82～6-5-83頁)

以下、具体的に説明する。

(ア) 地震の規模

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

参加人は、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4の2（2）オ（エ）），地震の規模を評価した。

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

（イ）等価震源距離

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

a 断層の上端（地震発生層の上端）の深さ

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

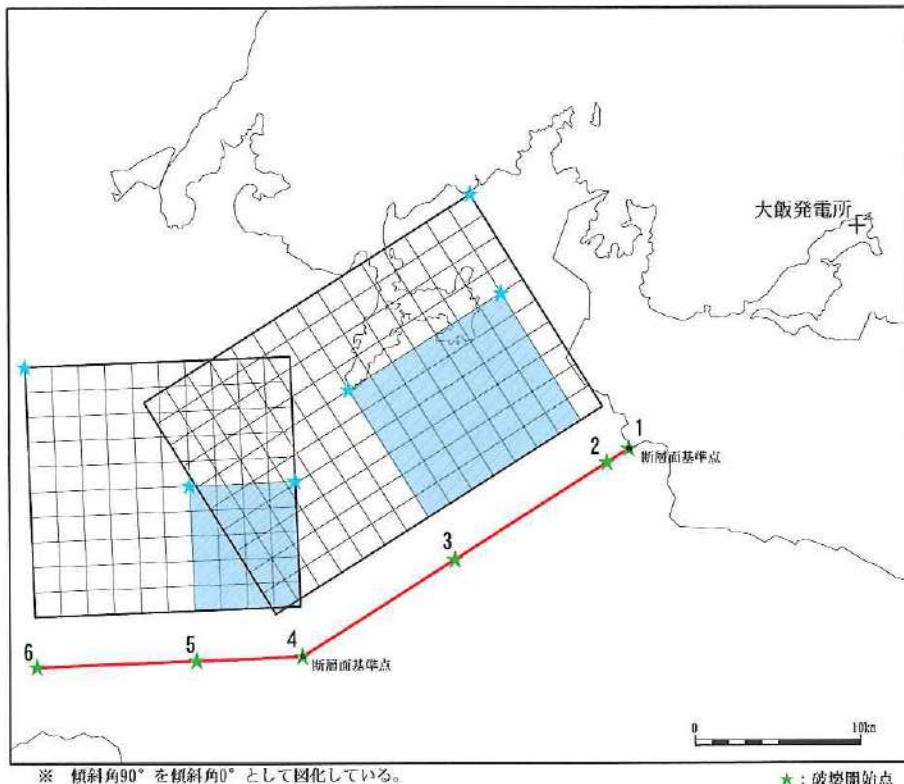
b アスペリティの配置

震源断层面におけるアスペリティの配置については、断层面の中央付近に設定することが基本とされている⁶³。しかしながら、参加人は、

⁶³ 参加人が断層モデルを用いた手法による地震動評価で参考するレシピ（疎乙6）においても、アスペリティが1個の場合の位置は、震源断层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

上林川断層について、詳細な調査に基づいてその位置を把握し、断層の長さと幅（上端深さ及び下端深さ）を保守的に評価した上で、アスペリティ位置を地震の発生前に正確に特定するのは困難であることを考慮し、等価震源距離が短く（本件発電所敷地に近く）なるよう、断層面のうち本件発電所敷地に近い位置にアスペリティを配置した（図表66。疎丙24、添付書類六、6-5-80頁、疎丙58、112頁）。

（疎乙6、9頁、(a)欄外）。



i) 断層配置図

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

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

また、図内に複数ある小さな星印は、破壊開始点（下記3（2）イ（イ）bで述べる）の位置である（赤い線の上に打たれた緑色の星印は、平面図上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、震源断层面における位置を示している）。

【図表6 6 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

c 断層傾斜角

次に、断層傾斜角については、上林川断層は、断层面がほぼ鉛直で地震時のずれ方向は水平方向が主である「横ずれ断層」（上記第2の3（2）の図表5、下の2つの図）であると評価し、断層傾斜角は鉛直（水平面から90°下向き）と評価した。

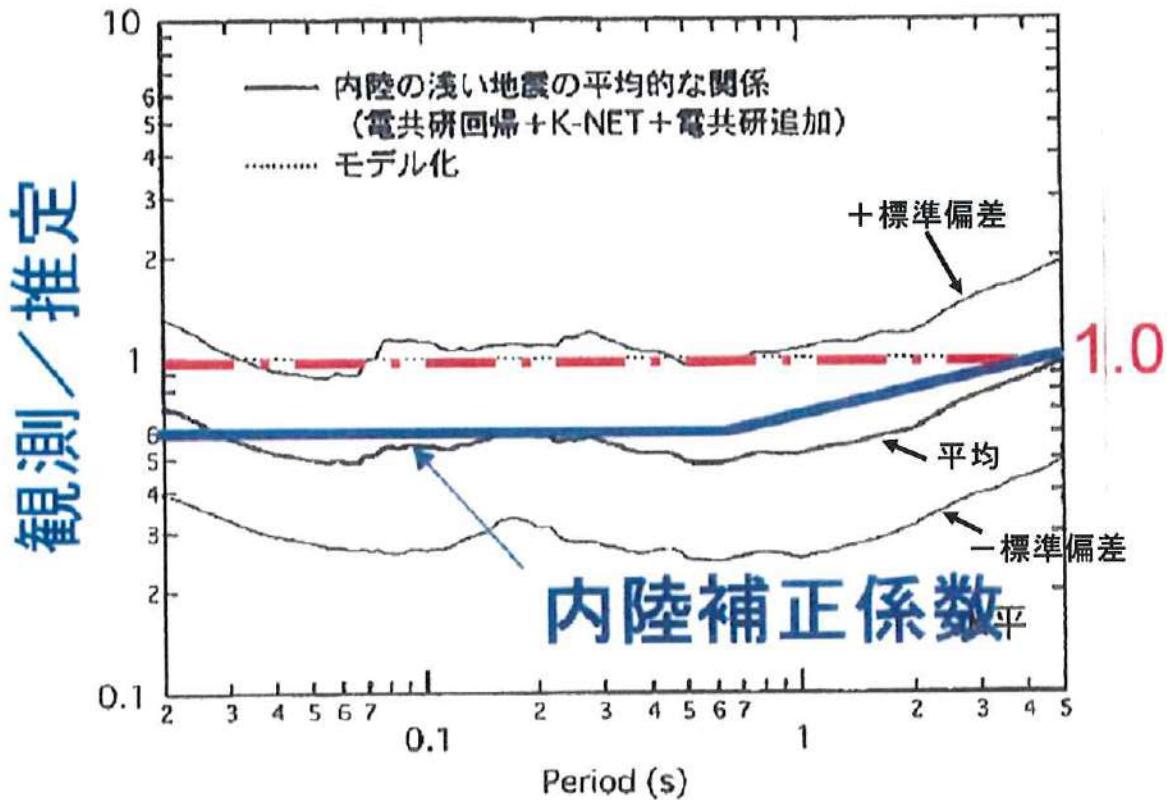
d 等価震源距離の評価

以上のような保守的な条件設定により、等価震源距離は30.2kmとなり、参加人は、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、参加人は、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参加人が対象としている内陸地殻内地震による地震動は、地震の規模の割に地震動、特に短周期側の揺れが小さめであることが分かっている。そのため、耐専式をそのまま適用すると、図表6.7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。

（疎丙80, 22頁の右下の図に一部加筆）

【図表 6-7 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（疎丙84、「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）⁶⁴。

⁶⁴ 具体的には、地震基盤における水平方向の地震動に対し、応答スペクトルの周期0.02秒から0.6秒にかけては補正係数0.6を、周期0.6秒から5秒にかけては周期に応じ、補正係数0.6から1.0に漸増させた補正係数を、それぞれ乗じることで、短周期領域の地震動を小さくすることができる。

本件発電所に影響を与える、若狭湾周辺地域で発生する地震は内陸地殻内地震であることから、本来この内陸補正係数を用いることができるところ、参加人は、あえてこの内陸補正係数を乗じないことで地震動を大きく見積もり、保守的な地震動評価を行った（疎丙24、添付書類六、6-5-11頁）。

(工) その他のパラメータ等

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增幅率を乗じることで、評価地点の岩盤の硬さに応じた応答スペクトルに補正されるようになっており（上記ア（ア）a）、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、参加人は、伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価結果（上記第4の3（2）イ及びウ）から、耐専式により得られる評価結果の補正の必要性の有無を確認した。

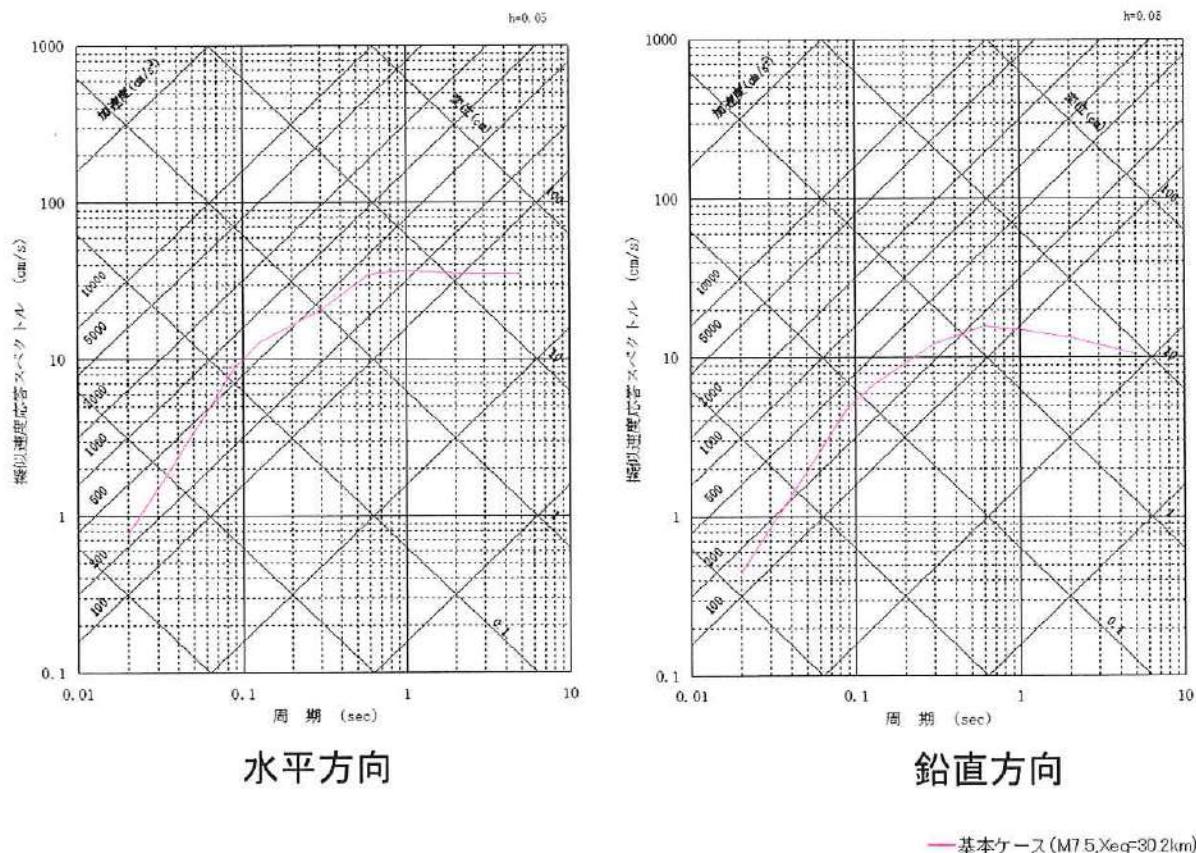
まず、伝播特性のうち、影響の大きい幾何減衰については地域性がないこと、また、内部減衰についても、Q値（岩石等の媒質に固有の値）は、本件発電所敷地周辺を含む若狭湾付近において、既往の研究成果から 50 f^{-1} と、国内における平均的な値であったことから、耐専式で得られる評価結果を補正する必要がないことを確認した。

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

(才) 地震動評価結果

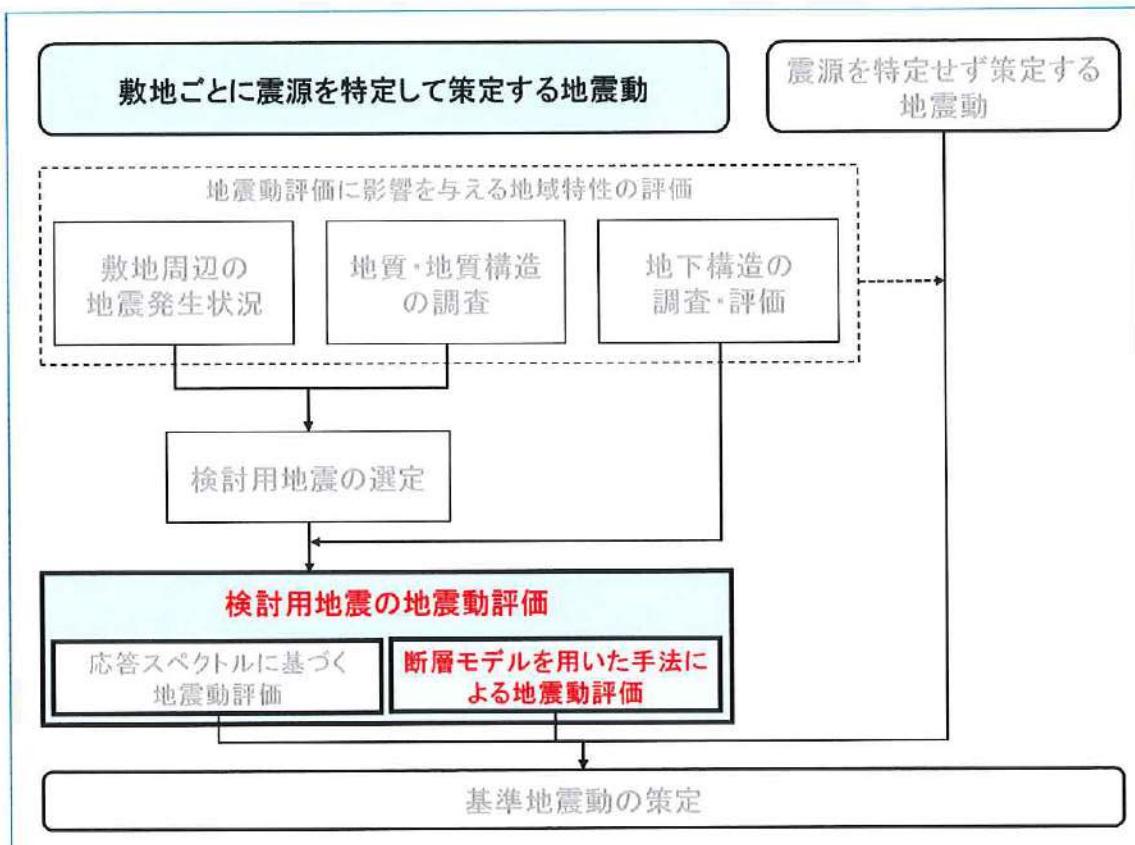
耐専式によって求められた、上林川断層による地震（基本ケース）の本件発電所敷地における地震動評価結果（応答スペクトル）は、図表6 8 のとおりである（疎丙24、添付書類六、6-5-82～6-5-83頁、疎丙58、115頁）。

以上の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第7の1 (1) で述べる。



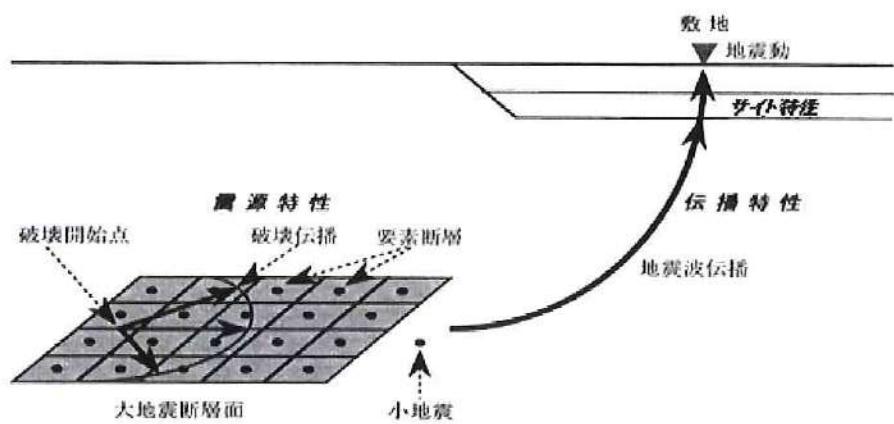
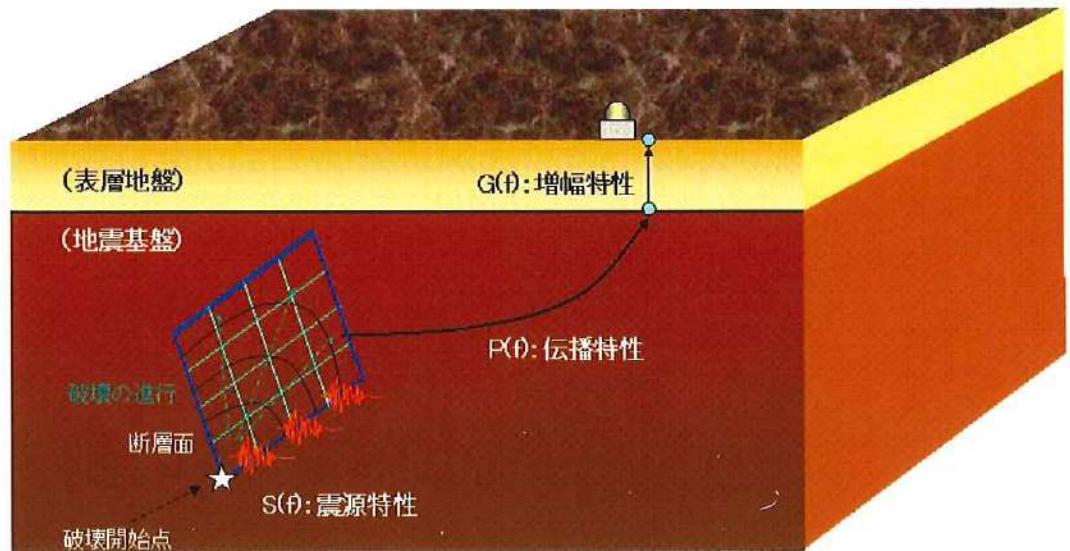
【図表 6 8 上林川断層による地震（基本ケース）の
耐専式による地震動評価結果】

3 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、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增幅特性（サイト特性）を考慮して行う地震動評価である（図表6-9）。

以下、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」について述べる。



【図表 6.9 断層モデルを用いた手法の模式図】

(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）、疎乙3、136頁）。

これを受け、地震ガイドは、まず、震源モデルの設定について、「震源断

層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法』（引用者注：「レシピ」（疎乙6）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（疎乙5、4～5頁、I 3.3.2(4)①）。

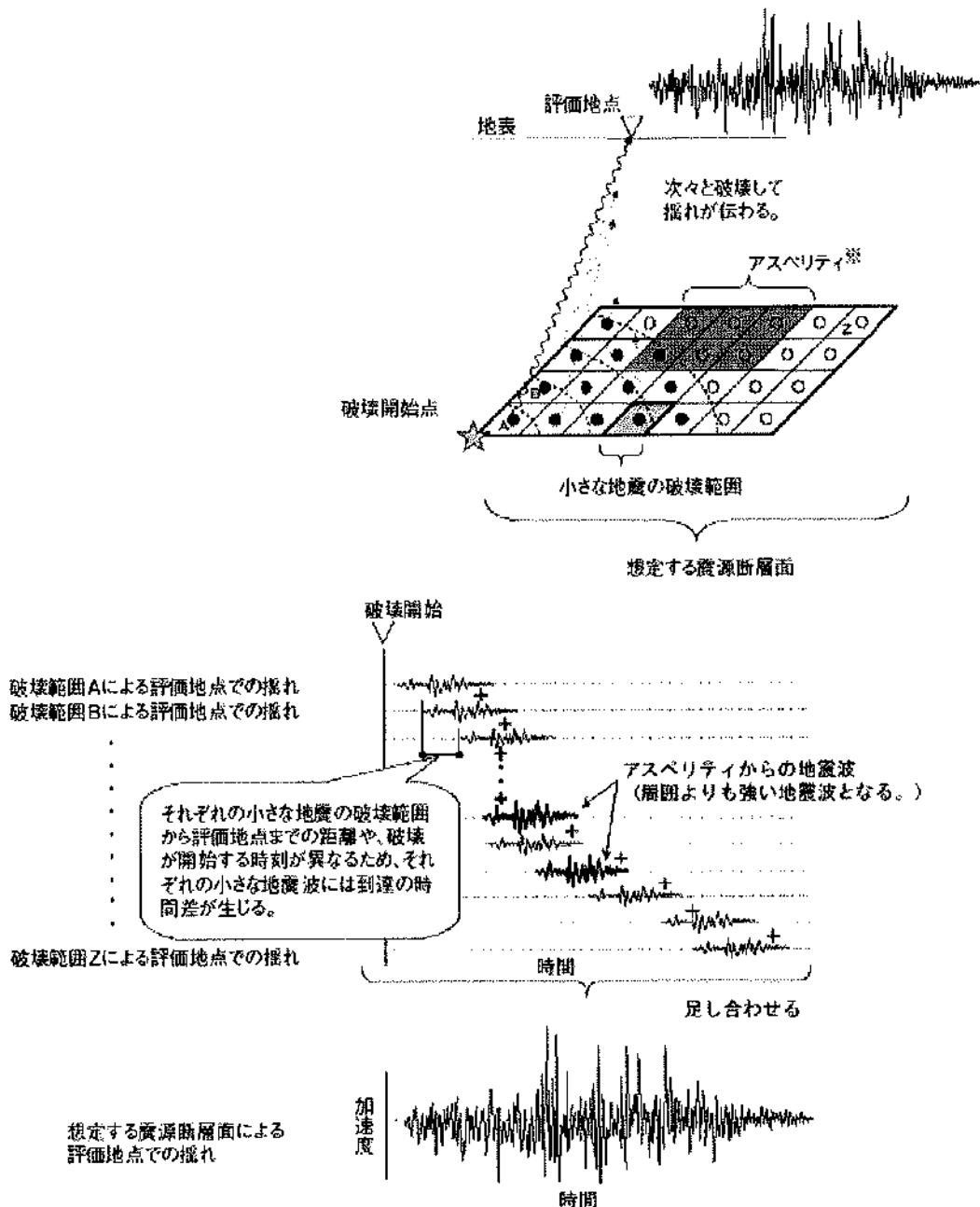
また、地震動計算において統計的グリーン関数法（下記（2）ア（ア））等を用いる場合について、「震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの增幅特性が地盤調査結果等に基づき評価されていること」を確認するとしている（疎乙5、5頁、I 3.3.2(4)③1）。

（2）本件発電所の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

ア 参加人の評価手法の概要

（ア）参加人は、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を、統計的グリーン関数法等⁶⁵を用いて行うこととした。統計的グリーン関数法は、震源断層をモデル化した上で小さな区画（要素）に分割し、その要素ごとのずれ（要素地震）による地震波によって生じる評価地点での小さな地震動（要素地震による地震動）を、各要素地震の地震波が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ことで、震源断層のずれ全体による評価地点での地震動を評価する手法である（図表70）。

⁶⁵ 参加人は、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。



【図表70 断層モデルを用いた手法による地震動評価のイメージ】

参加人は、まず、地震ガイドに例示されているレシピ（疎乙6）等を参考するなどして、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）。その上で、要素地震による評価地点での地震動は、モデル化した震源断層（の要素）

から発せられる地震波に、震源断層面から評価地点地下の地震基盤までの伝播特性と、地震基盤から評価地点（の解放基盤）までの増幅特性（サイト特性）を乗じて設定するものであることから、参加人は、地震波の伝播特性と地盤の増幅特性（サイト特性）を評価し（下記ウ）、これらを用いて地震動評価を行った（下記エ）。

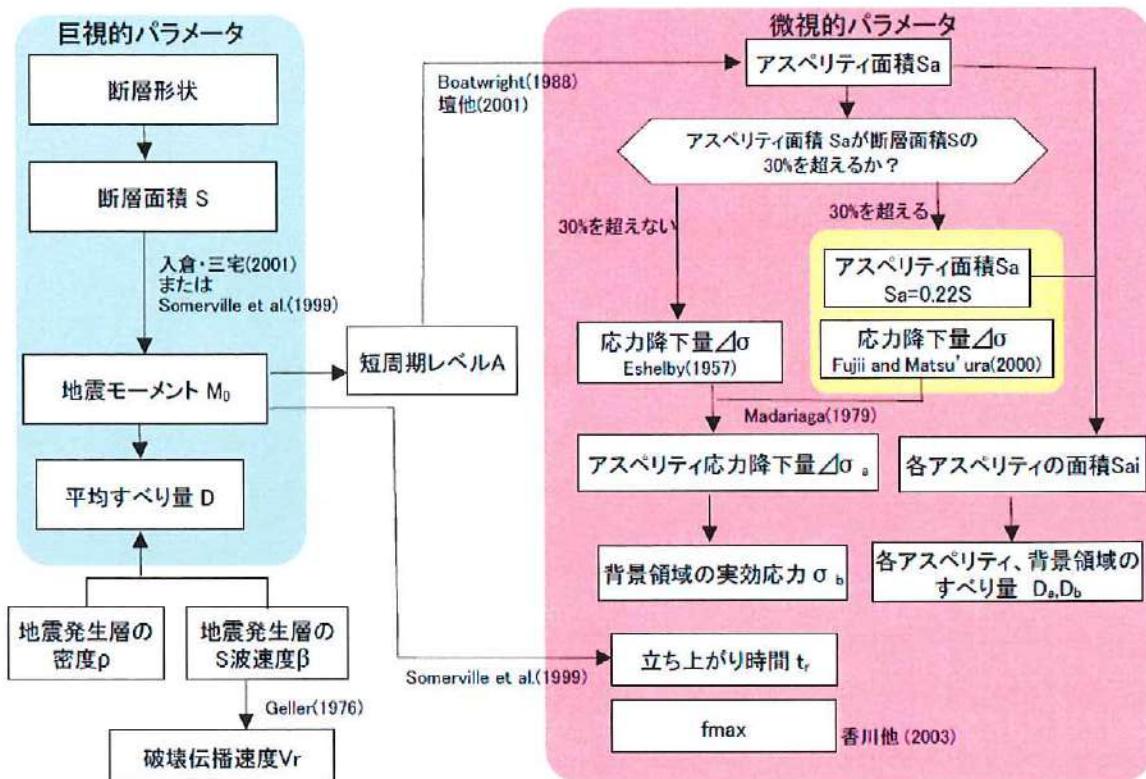
（イ）ここで、参加人が参照したレシピ（疎乙6）は、多数のパラメータが、パラメータ間の関係式を用いて設定されている一連の地震動評価手法であるが、このレシピは、実際の地震動を精度よく再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている。

このことは、地震ガイドにおいて、レシピが最新の研究成果として例示されている（疎乙5、4～5頁、I 3.3.2(4)①l）ことに加え、国の防災計画や地方公共団体の地域防災計画等の検討において実績の豊富な信頼性の高い手法として採用されていることからも裏付けられる。

イ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）

（ア）各パラメータの設定

参加人は、地震ガイドに例示された地震本部のレシピ等を参考するなどして、震源断層パラメータを設定した（図表71。疎丙24、添付書類六、6-5-75頁、疎丙58、66頁）。



【図表 7.1 「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の流れ】

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

a 震源断層面積 (S)

(a) 基本ケース

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

断層の長さについては、FO-A～FO-B～熊川断層については63.4kmと設定し、上林川断層については39.5kmと設定した (上記第4の2(2)工)。また、断層の幅については、FO-A～FO-

B～熊川断層及び上林川断層のいずれについても、地震発生層の上端深さを3km、下端深さを18kmと設定して地震発生層の厚さを15kmとし、断層傾斜角を90°（鉛直）したことから、断層の幅を15kmと設定とした（上記第4の3（2）ア）。

この結果、震源断層面積は、FO-A～FO-B～熊川断層は951km²、上林川断層は592.5km²となった（疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、疎丙58、80頁、113頁等）。

この面積は、保守的な条件設定をしない場合と比べて相当大きくなっている、例えば、FO-A～FO-B～熊川断層の面積は、FO-A～FO-B断層の2連動のみ、断層上端深さ4kmの場合の約2倍である⁶⁶。

（b）不確かさの考慮

さらに、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c（b）で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、断層面を90°から75°に傾斜させると（上記2（2）イ（イ）の図表6-3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（疎丙24、添付書類六、6-5-40頁、疎丙58、87頁）。

⁶⁶ FO-A～FO-B～熊川断層については、FO-A～FO-B断層の2連動（断層長さ35.3km）で断層上端深さ4km（断層幅14km）の場合で494.2km²であった。また、上林川断層については、断層長さ26kmで断層上端深さ4km（断層幅14km）の場合で364km²であった。

b 地震モーメント (M_0)

(a) 基本ケース

次に、上記 a の震源断層面積から地震モーメントを求めた。

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

レシピでは、入倉・三宅（2001）⁶⁷（疎丙85）で提案されている、震源断層面積と地震モーメント (M_0) との関係式⁶⁸ ($M_0 \geq 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ の場合は $S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}$)。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。

参加人は、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⁶⁹、この関係式を用いて震源断層面積から地震モーメントを求め

⁶⁷ 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

⁶⁸ 疎丙85号証861頁、図8の「Step3」の式（レシピでは、疎乙6号証4頁、(3)の式）。

⁶⁹ レシピでは、「(3)式（引用者注：入倉・三宅式）を適用するのは、 $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (\text{N} \cdot \text{m}) \dots$ 以上 $M_0 = 1.8 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m}) \dots$ 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」（疎乙6、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リング則が変わるため、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」（疎乙6、4～5頁、(c)、欄外）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。参加人は、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4の3 (2) ア (ウ)）、FO-A～FO-

た。上記 a のとおり震源断層面積を保守的に大きく設定した結果、震源断層面積から求められる地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となり、FO-A～FO-B～熊川断層については $5.03 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、上林川断層については $1.95 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ となった（疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、疎丙58、80頁、113頁等）。

この地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となっており、例えば、FO-A～FO-B～熊川断層の地震モーメントは、FO-A～FO-B断層の2連動のみ、断層上端深さ4kmの場合の3倍を超える⁷⁰。

(b) 不確かさの考慮

さらに、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースを設定しているところ、その場合の地震モーメントは、 $5.59 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ となった（疎丙24、添付書類六、6-5-40頁、疎丙58、87頁）。

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

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。

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。

⁷⁰ FO-A～FO-B～熊川断層については、断層面積が 494.2 km^2 の場合（FO-A～FO-B断層の2連動で断層上端深さ4kmの場合）で $1.36 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ であった。また、上林川断層については、断層面積が 364 km^2 の場合（断層長さ26kmで断層上端深さ4kmの場合）で $0.66 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ であった。

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）⁷¹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。

参加人は、この関係式を用いて地震モーメントから短周期レベルを求めた。上記bの地震モーメントが保守的に大きな値となった結果、地震モーメントから求められる短周期レベルも大きな値となり、FO-A～FO-B～熊川断層については $1.96 \times 10^{19} N \cdot m/s^2$ 、上林川断層については $1.43 \times 10^{19} N \cdot m/s^2$ となった（疎丙24、添付書類六、6-5-39頁、6-5-44頁等、疎丙58、80頁、113頁等）。

（b）不確かさの考慮

平成19年（2007年）新潟県中越沖地震の短周期レベル（A）が平均的な短周期レベル（A）（壇ほか（2001）で提案されている関係式によって地震モーメント M_0 から想定される短周期レベル）の1.5倍程度であったとの新たな知見⁷²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

⁷¹ 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

⁷² 平成19年（2007年）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。

存する可能性を示すデータは特段得られていないことから、当該知見については、これを基本ケースとする必要はなく、別途不確かさとして考慮するのが適切であると判断し、短周期の地震動レベルが1.5倍となるケースも設定することとした⁷³（具体的には、アスペリティの面積については基本ケースの設定値を保持したまま、アスペリティの応力降下量を大きくすることで、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7-6及び7-7の「不確かさを考慮したケース」。疎丙24、添付書類六、6-5-36頁）。

加えて、下記4（2）工における不確かさの組合せに関する追加検討においては、破壊伝播速度を 0.87β に上げる（下記gに記載のとおり、破壊伝播速度が大きくなると、敷地での地震動も一般的には大きくなる）とともに短周期の地震動レベルを1.25倍とするケースも設定することとした（疎丙24、添付書類六、6-5-36頁、疎丙58、77～78頁）

d アスペリティ面積 (S_a)

(a) 基本ケース

続いて、上記cの短周期レベルからアスペリティ面積 (S_a) を求めた。

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

もっとも、この方法では、断層が長大で面積が大きくなるほど、

⁷³ 前の脚注で述べた①ないし③の知見のうち、②及び③の要因については、柏崎刈羽原子力発電所敷地の地下構造特性によるものであり、本件発電所敷地においては同発電所と同様の地下構造による影響は認められず、これらを考慮する必要はない。

既往の調査・研究成果と比較してアスペリティ面積が過大評価となる傾向にあるとされている（疎乙6, 9~10頁, (b)）。この点、FO-A～FO-B～熊川断層については、関係式による算定の結果が、アスペリティ面積比（震源断層全体に占めるアスペリティの面積）が30%を超えたため、中央防災会議においてアスペリティの総面積は断層総面積の20~30%に分布するとの知見が示されていることを考慮し、レシピに示されたSomerville et al. (1999)⁷⁴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、FO-A～FO-B～熊川断層で 209.22km^2 、上林川断層で 158.31km^2 となった（疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、疎丙58、81頁、113頁等）。

(b) 不確かさの考慮

また、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を 75° にしたケースも設定しているところ、断层面を 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、 220.63km^2 となった（疎丙24、添付書類六、6-5-40頁、疎丙58、88頁）。

⁷⁴ Somerville, P. ほか「Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion」, Seismological Research Letters, 70, 59-80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)⁷⁵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 ($\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16) (M_0/S^{1.5})$)⁷⁶ (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)⁷⁷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（疎乙6, 12頁, (d)）(方法②)。

以上を踏まえ、参加人は、FO-A～FO-B～熊川断層について

⁷⁵ 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

⁷⁶ 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（疎乙6, 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。

⁷⁷ 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

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、疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、疎丙58、80頁、113頁等)

f アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$)

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

レシピでは、Madariaga (1979)⁷⁸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 ($\Delta \sigma_a = (S/S_a) \times \Delta \sigma$) (疎乙6, 11頁, (21-1)式)⁷⁹。

参加人は、この方法により、アスペリティ面積比と震源断層全体の応力降下量からアスペリティの応力降下量を求めた（疎丙24、添付書

⁷⁸ 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

⁷⁹ なお、アスペリティの応力降下量については、震源断層全体の応力降下量の場合（上記eの方法①）と同様に、アスペリティを円形のものと仮定し、アスペリティの等価半径 r を疎乙6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 、震源断层面の等価半径 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（疎乙6, 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」（疎乙6, 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。

類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁等, 疎丙58, 81頁, 113頁等)。

なお, アスペリティが複数ある場合の各アスペリティの応力降下量は, レシピにおいて, 「アスペリティが複数ある場合には, 特にその震源域の詳しい情報がない限り, 各アスペリティの応力降下量はアスペリティ全体の応力降下量に一致し, すべて等しいと仮定する」(疎乙6, 11~12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, 疎丙58号証の81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である。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(0.72 β)とされており, 本件発電所の地震動評価においても0.72 β としている(下記(ウ)の図表76及び77の「基本ケース」。疎丙24, 添付書類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁, 疎丙58, 69頁, 80頁, 113頁等)。

(b) 不確かさの考慮

破壊伝播速度が大きくなると, 断層の破壊が震源断層面上でより速く広がるため, より短い時間に多くの地震波が敷地に到達することとなり, 敷地での地震動も一般的には大きくなる。そこで, 参加

人は、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（0.87 β ）としたケースを設定した（下記（ウ）の図表7-6及び7-7の「不確かさを考慮したケース」。疎丙24、添付書類六、6-5-36頁、6-5-42頁、6-5-45頁、疎丙58、84頁、114頁）。

h すべり量 (D)

すべり量（「ずれ（の）量」、「食い違い（の）量」ともいう）とは、文字どおり、想定される1回の地震における震源断層のずれの大きさを表すパラメータであり、その値は、震源断层面の移動距離（単位はcm）で示される。すべり量は、地震モーメント（M₀）、震源断層面積（S）、剛性率（μ）（変形のしにくさを表し、地盤の密度とS波速度から求められる）と相関関係があり、 $D = M_0 / (\mu \cdot S)$ の関係式（なお、この関係式は物理量に関する理論式であり、地震の観測記録等から導かれる経験式ではない）で示される。

参加人は、上記a及びbで求めた震源断層面積及び地震モーメントと、剛性率（本件発電所敷地周辺の地下構造調査により得られた地盤の密度及びS波速度から求めた）から、上記関係式により、すべり量を求めた。例えば、FO-A～FO-B～熊川断層のすべり量は、151.2cmとなった（断層傾斜角を75°にしたケースのみ、159.4cmとなつた）。（疎丙24、添付書類六、6-5-39頁、6-5-40頁、6-5-44頁等、疎丙58、80頁、87頁、113頁等）

(イ) その他のパラメータ設定

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

設定した。

a アスペリティの配置

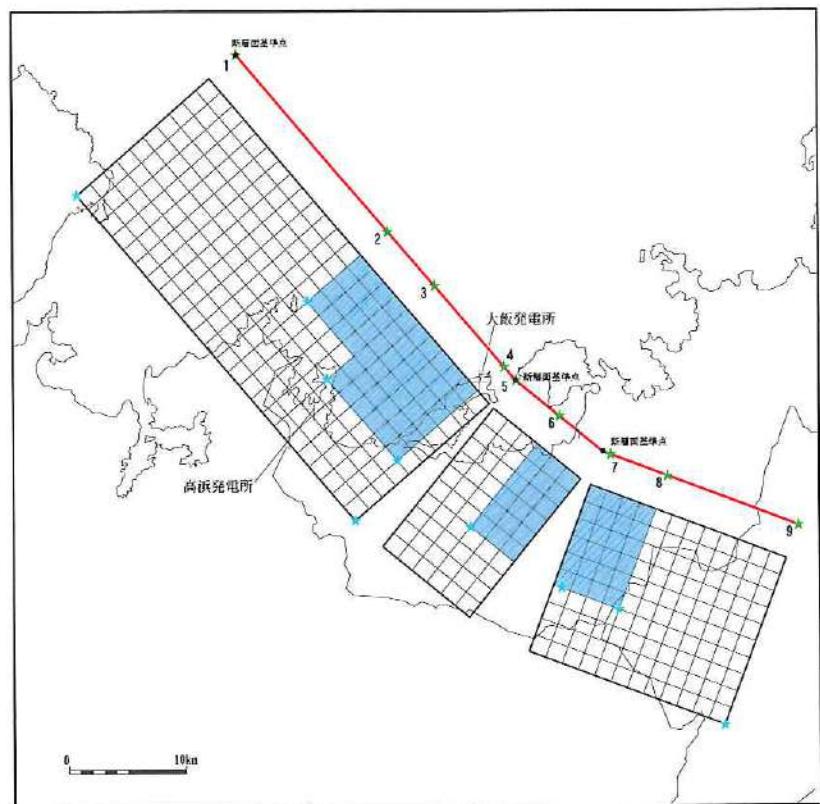
(a) 基本ケース

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

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

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

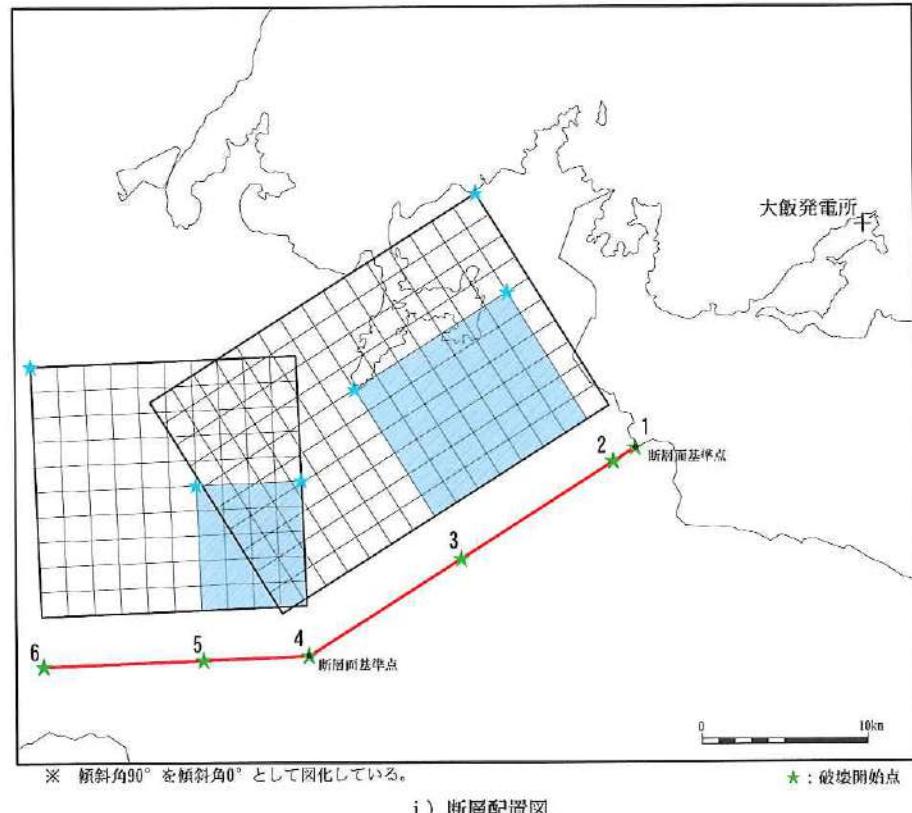
（図表72及び73。これを下記（ウ）の図表76及び77の「基本ケース」として設定した。疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-76頁、6-5-80頁、疎丙58、79頁、112頁）



i) 断層配置図

*: 破壊開始点

【図表 7 2 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のモデル図（基本ケース）】



i) 断層配置図

【図表7 3 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

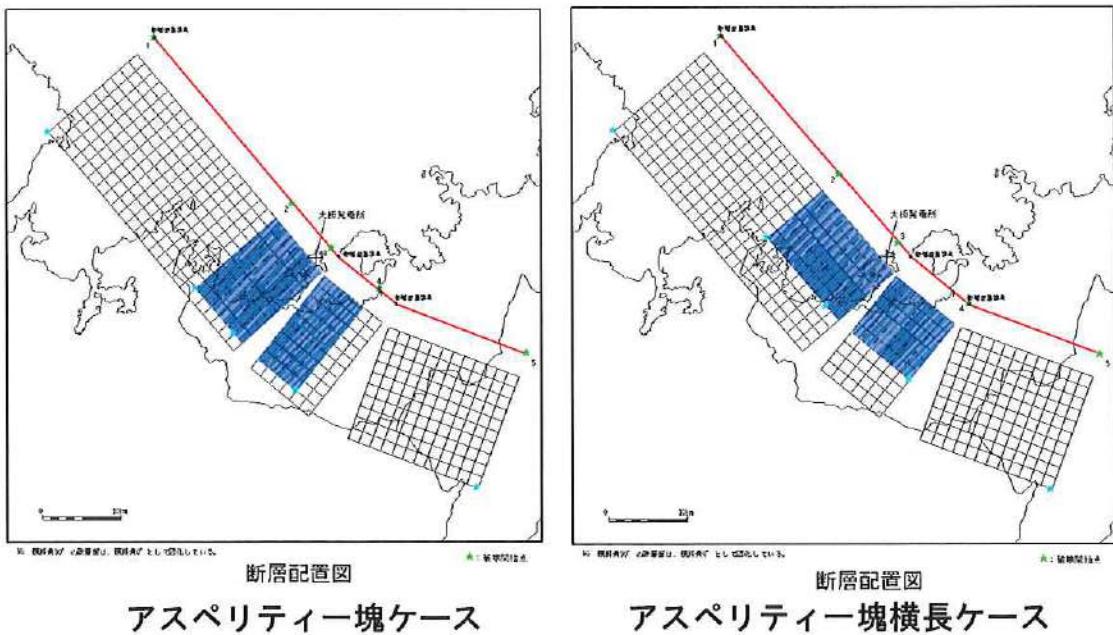
(b) 不確かさの考慮

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

まず、アスペリティは震源断層の中ですべり量が大きい部分であることを踏まえると、震源として考慮する活断層のうちFO-A～FO-B～熊川断層については、詳細な調査から断層を示す地質構造が確認されなかったFO-A～FO-B断層と熊川断層の間に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ると示されている（疎乙6, 9頁, (a)）。また、一方の断層のアスペリティが、断層を示す地質構造が確認されなかった区間をまたいでもう一方の断層のアスペリティに寄せ集まって1箇所に固まって存在することも想定し難い。したがって、地震動評価における基本ケースとしては、そのような制約の中で（想定し難い前提を排除した中で）、地震動が大きくなるように本件発電所敷地に最も近い位置にアスペリティを寄せた配置とした（これを下記（ウ）の図表76の「基本ケース」として設定した。）。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、また十分に保守的な評価という観点から、念のため、現実に起こるとは想定し難いような配置も検討することとし、基本ケースを超えて、更に不確かさを考慮するケースとして、FO-A～FO-B断層と熊川断層の間の区間をまたいでアスペリティを一塊に寄せ集め、正方形又は長方形にして本件発電所敷地近傍に配置するケースを設定することとした（図表74。これを下記（ウ）の図表76の「不確かさを考慮したケース」として設定した。疎丙24, 添付書類六, 6-5-36頁, 6-5-78～6-5-79頁, 疎丙58, 89頁, 91頁）。



【図表 7-4 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のモデル図

(アスペリティー塊ケース・アスペリティー塊横長ケース)】

b 破壊開始点

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

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

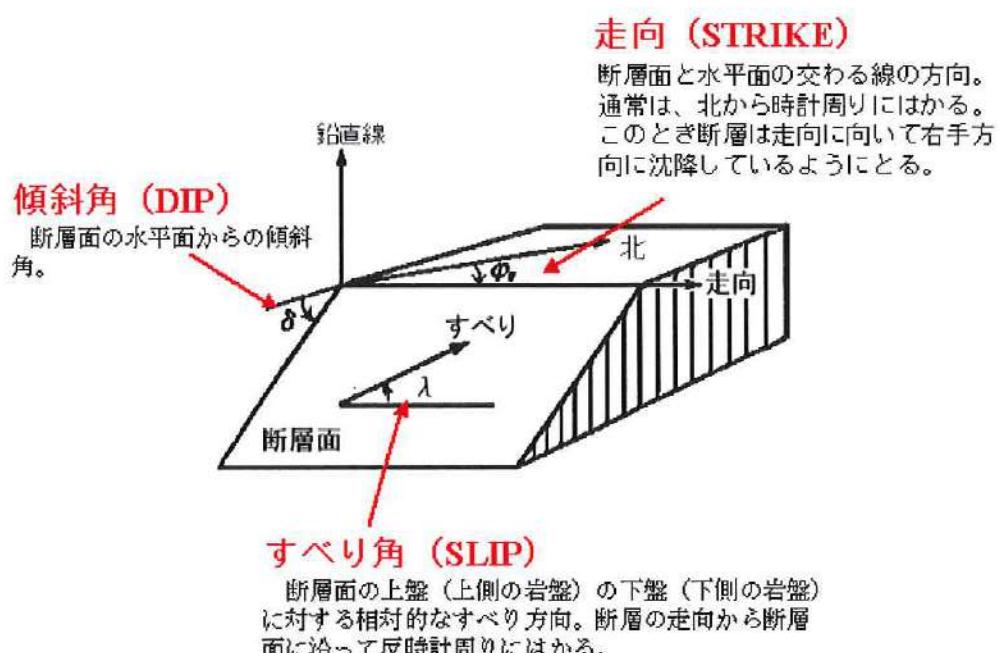
そこで、参加人は、破壊開始点を、断層の端やアスペリティの端といった本件発電所敷地から遠い位置に置くなど、複数の位置（F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について5箇所ないし9箇所、上林川断層について6箇所）に設定した（疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-76頁、

6-5-80頁等、疎丙58、79、112頁等)。

c 断層傾斜角及びすべり角

(a) 基本ケース

断層傾斜角とは、震源断層面と水平面とのなす角度の小さい方をいう。また、すべり角とは、震源断層の上盤側の、下盤側に対する相対的なずれの方向をいう(断層の走向から断層面に沿って反時計回りの角度で示す)。(図表75)



【図表75 断層の模式図(断層傾斜角、すべり角等)】

上記第4の3(2)ア(イ)で述べたとおり、FO-A～FO-B～熊川断層及び上林川断層は、詳細な地質調査の結果、いずれも断層傾斜角は鉛直(水平面から90°下向き)としており、すべり角(断層のずれの方向)は水平(FO-A～FO-B～熊川断層は0°、上林川断層は180°)としている(下記(ウ)の図表76及び77の「基本ケース」。疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44

頁等、疎丙58、78頁、80頁、110頁、113頁等)。

(b) 不確かさの考慮

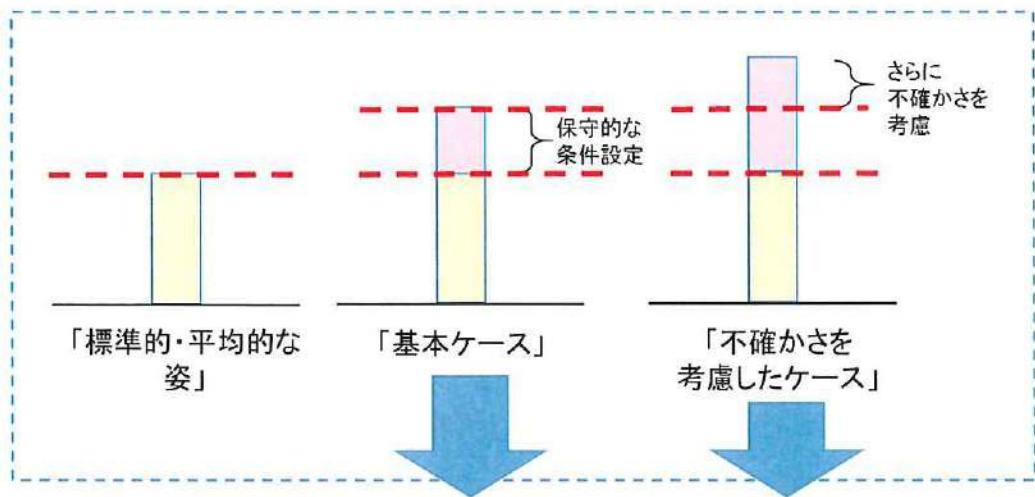
もっとも、断層傾斜角は鉛直から多少傾斜する可能性があり、また、すべり角(断層のずれの方向)についても断层面の傾きや広域応力場の向きによって水平から多少傾斜する可能性が考えられ、特に震源断層が発電所敷地に近い場合には、これらの不確かさが発電所敷地での地震動に影響する可能性がある。

このことから、参加人は、検討用地震に係る断層のうち本件発電所敷地に近く長大なFO-A～FO-B～熊川断層の断層傾斜角とすべり角について、合理的な不確かさを想定することとした。具体的には、FO-A～FO-B～熊川断層について、断層傾斜角を水平面から75°下向きにしたケース(上記2(2)イ(イ)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76の「不確かさを考慮したケース」。疎丙24、添付書類六、6-5-36頁、6-5-40頁～6-5-41頁、疎丙58、82頁、87頁)。

(ウ) パラメータ設定のまとめ

参加人は、上記(ア)及び(イ)のとおり、震源断層パラメータを設定した。

図表76及び77は、主な震源断層パラメータの設定をまとめたものである(疎丙58、70頁も参照。なお、図表76の上部に記載の「標準的・平均的な姿」、「基本ケース」、「不確かさを考慮したケース」のグラフについては、下記4(2)ア(ウ)で説明する)。



断層パラメータ	基本ケース	不確かさを考慮したケース
断層の長さ	63.4km (3連動を考慮) (標準的・平均的な姿は、35.3km (2連動を考慮))	
断層の幅	15km (上端深さ：3km, 下端深さ：18km) (標準的・平均的な姿は、14km (上端深さ：4km, 下端深さ：18km))	
短周期の地震動レベル	レシピ平均	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、レシピ平均×1.5倍
断層傾斜角	調査結果に基づき、90°	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°	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)	既往の知見を参考にして、 0.87β
アスペリティ配置	敷地近傍に配置 (なお、レシピでは、断层面の中央付近に配置するのが基本とされている)	<ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍に正方形に一塊にして配置 敷地近傍に長方形に一塊にして配置
破壊開始点	断层面およびアスペリティの下端に複数設定 (5~9箇所)	

【図表 7 6 断層モデルを用いた手法による地震動評価における

震源断層パラメータの設定 (FO-A～FO-B～熊川断層による地震)】

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

【図表 7.7 断層モデルを用いた手法による地震動評価における震源断層パラメータの設定 (上林川断層による地震)】

ウ 地震波の伝播特性、地盤の增幅特性（サイト特性）の評価

参加人は、統計的グリーン関数法等を用いて地震動計算をするにあたって、地震波の伝播特性、地盤の增幅特性（サイト特性）を適切に評価した。具体的には、まず、地震波の伝播特性には幾何減衰と内部減衰があり、幾何減衰が大きな部分を占める。参加人は、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、地盤の增幅特性（サイト特性）については、詳細な調査結果から、本件発電所敷地及び敷地周辺の地盤の速度構造を精度良く把握するとともに、局所的に地震波の集中をもたらすような特異な構造が見られないことを確認した。

(上記第4の3 (2) イ及びウ)

工 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增幅特性(サイト特性)を設定した上で(上記ウ)、これらをもとに、参加人は、統計的グリーン関数法等を用いて「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を行った。

震源断層パラメータについて様々な不確かさを考慮することとした結果、本件発電所敷地に近いFO-A～FO-B～熊川断層による地震については、図表78のとおり、64ものケースを設定して保守的に評価した。また、上林川断層による地震についても、図表79のとおり、18のケースを設定して保守的に評価した。

(疎丙24、添付書類六、6-5-38頁、疎丙58、78頁、111頁)

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

※1 黄色部分は、不確かさを独立して考慮したパラメータであり、青色部分は、不確かさを重畠して考慮したパラメータである。図表79も同じ。

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

(疎丙58, 78頁に一部加筆)

【図表78 F O-A～F O-B～熊川断層による地震の地震動評価ケース】

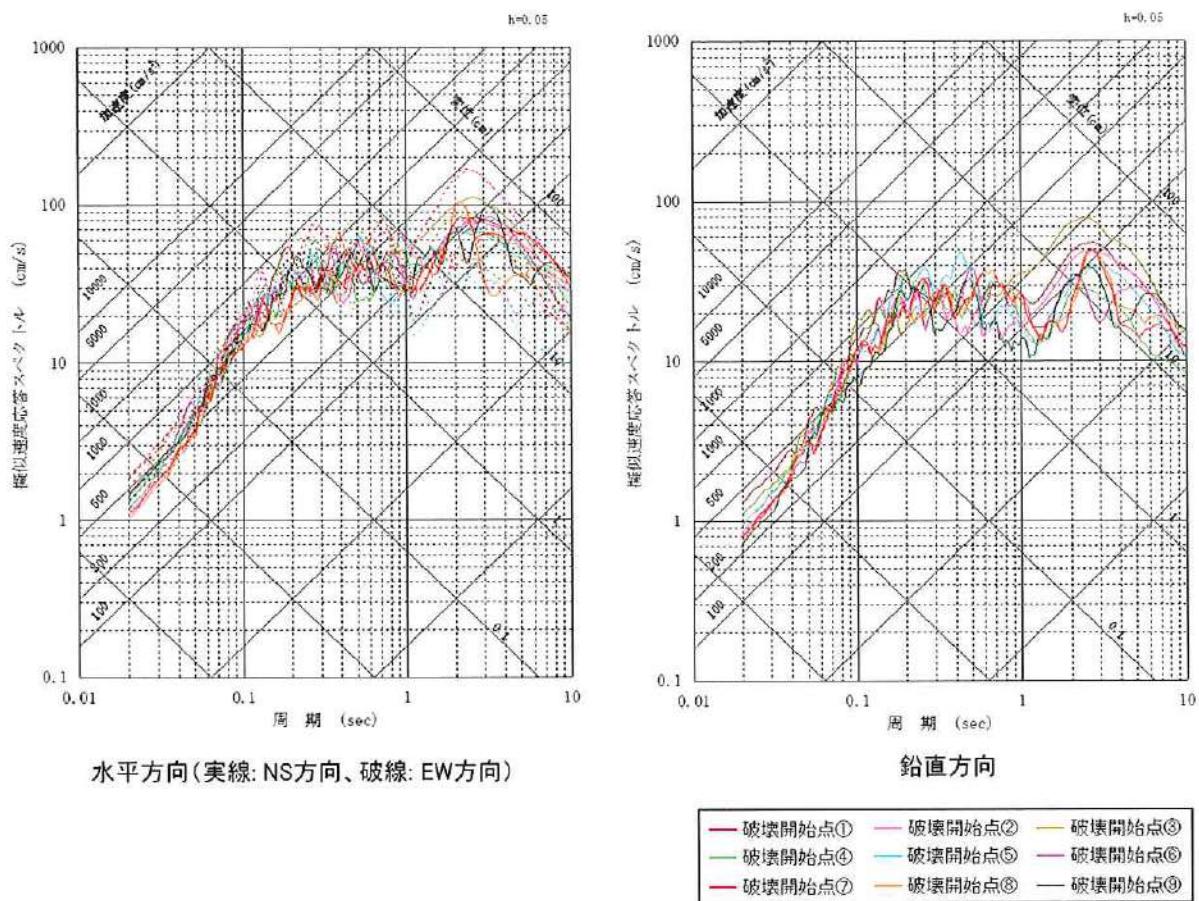
考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	6箇所
短周期の地震動レベル	レシピ平均 ×1.5倍	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	6箇所
破壊伝播速度 V_r	レシピ平均	$V_r=0.87\beta$	敷地近傍に配置	6箇所

(疎丙58, 111頁に一部加筆)

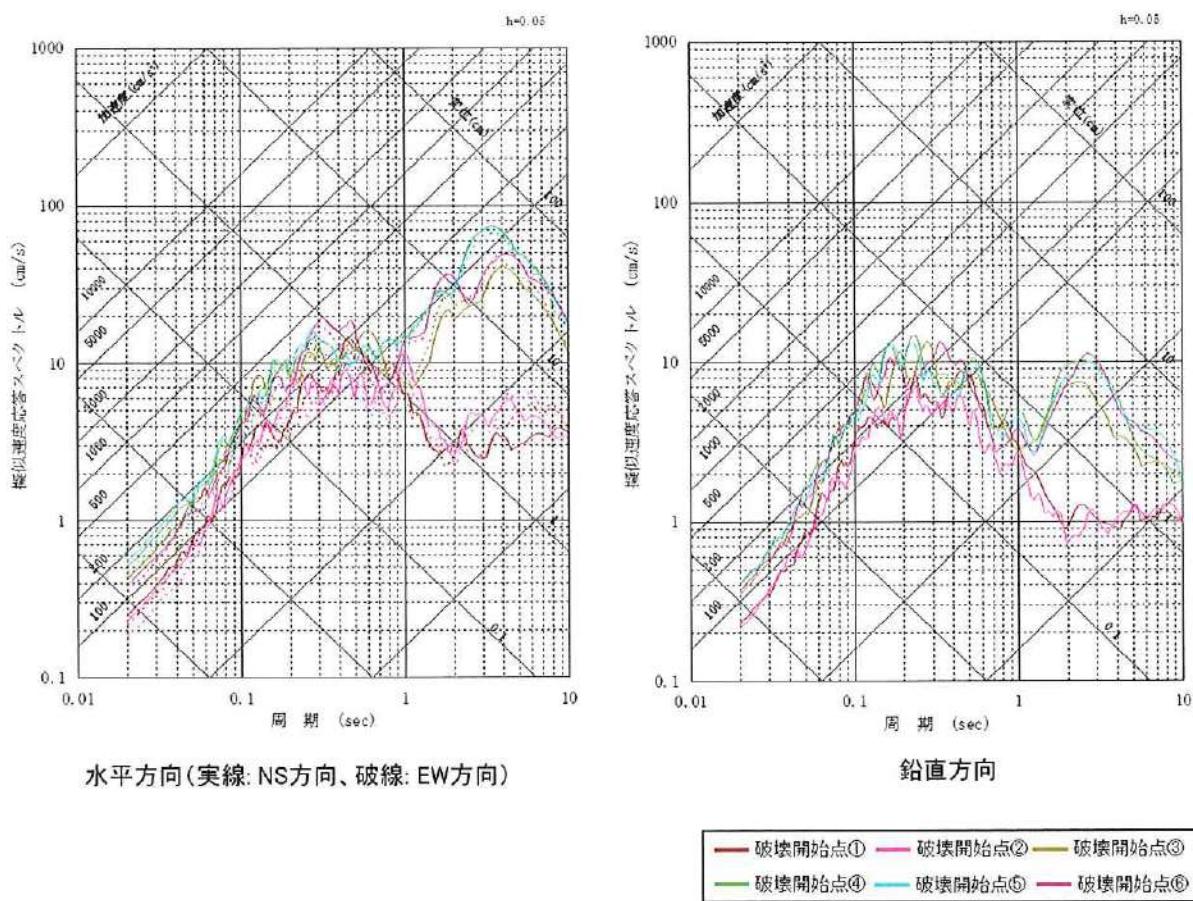
【図表79 上林川断層による地震の地震動評価ケース】

(イ) 以上の設定をもとにした地震動評価の結果（応答スペクトル）は、図表80（F O-A～F O-B～熊川断層による地震）及び図表81（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、疎丙24、添付書類六、6-5-87～6-5-119頁等、疎丙58、94頁、116頁等）。

以上の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第7の1(2)で述べる。

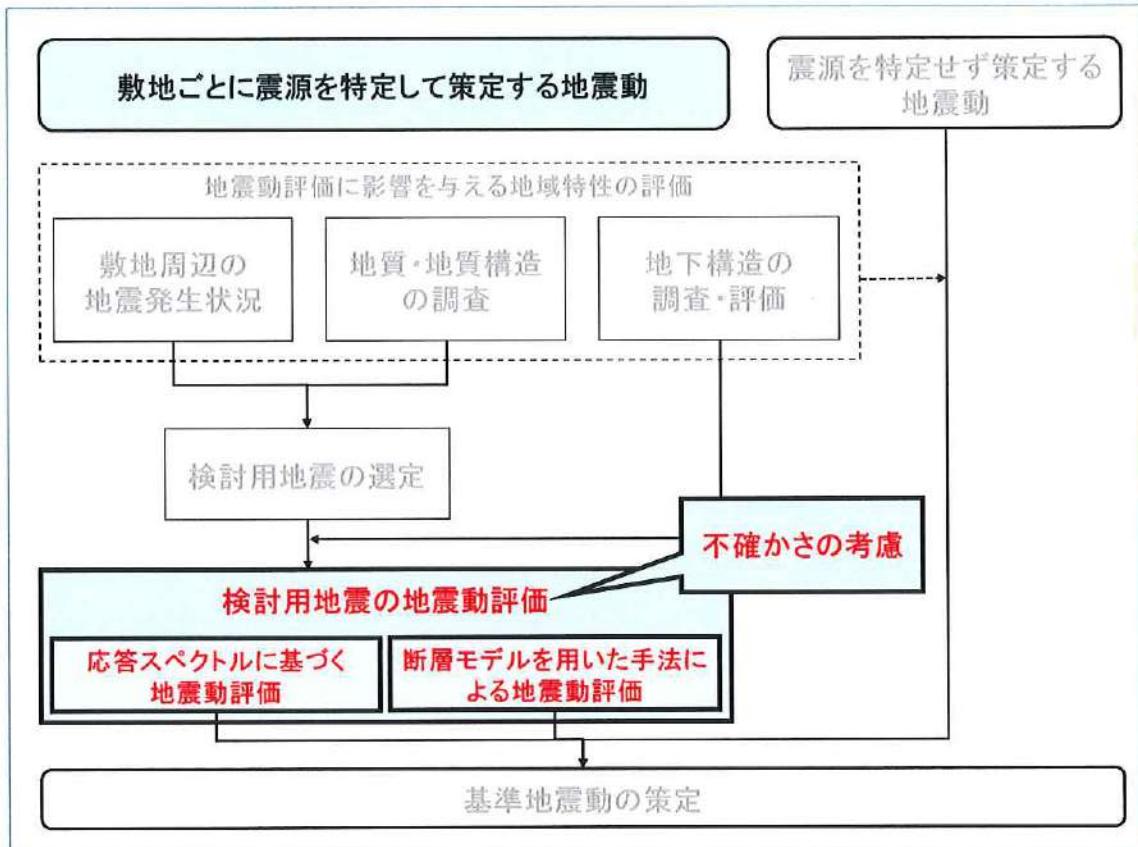


【図表 8 0 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震（基本ケース）の
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】



【図表 8.1 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】

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、参加人は、十分に不確かさを考慮して保守的に評価を行っている。

本項では、両評価での不確かさの考慮について、改めて具体的に説明する。

(1) 設置許可基準規則等

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

て考慮すること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号⑤、疎乙3, 136頁）。

これを受け、地震ガイドは、不確かさの考慮について、「アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていること」、「震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確実さ要因を偶然的不確実さと認識論的不確実さに分類して、分析が適切になされていること」等を確認するとしている（疎乙5, 6~7頁, I 3. 3. 3 (2)）。

（2）本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮

ア 不確かさの考慮の基本的な考え方

（ア）参加人は、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いるところ、地震等の自然現象にはばらつきがあることから、これを本件発電所敷地で適用するにあたっては、詳細な調査結果を踏まえ、敷地周辺の地域性を把握し、不確かさを考慮した上で、十分に保守的な条件設定により基準地震動を策定しており、これにより自然現象のばらつきに対応している。

（イ）参加人は、上記の設置許可基準規則等における要求事項を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動評価で用いた耐専式及び各種の距離減衰式と、断層モデルを用いた手法による地震動評価で参照したレシピにおける、地震動評価に大きな影響を与えるパラメータについて不確かさを考慮し、それぞれ評価を行った⁸⁰。

⁸⁰ なお、不確かさを考慮するパラメータは、本件発電所敷地の地震動評価に与える影響の大きさから選択しており、FO-A～FO-B～熊川断層と上林川断層とでは、考慮したパラメータは全く同じ

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

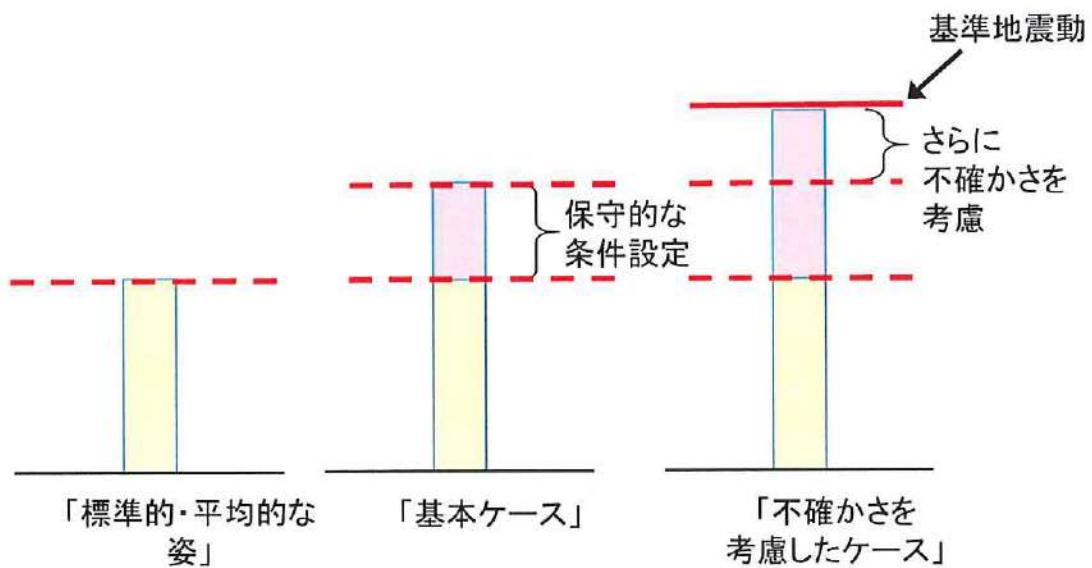
また、断層モデルを用いた手法による地震動評価では、地震モーメント（⑤）の設定に影響する断層の長さ、地震発生層の上端・下端深さ（断層の幅）、断層傾斜角（傾斜により断層の幅が広がり、かつ本件発電所敷地に更に近い位置になる）や、応力降下量（短周期の地震動レベル）（⑥）、アスペリティの位置、破壊開始点の位置（⑦）、すべり角（⑧）、破壊伝播速度（⑨）等が、地震動評価に大きな影響を与えるため、これらについて不確かさを考慮した評価を行った（下記ウ）。

（ウ）なお、参加人は、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。

上記2（2）イで述べたとおり、これらのケースでは、地震動評価に影響を与える各種パラメータについて、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と「不確かさを考慮したケース」と呼んでいる（図表8-2）。この点、「基本ケース」及び「不確かさを考慮したケース」において考慮される不確かさは、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設定されている。このように「基本ケース」は、審査上「基

ということではない。

「本ケース」と呼称されているものの、レシピに従った「標準的・平均的な姿」とも異なることに留意する必要がある。



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

【図表8.2 「基本ケース」と「不確かさを考慮したケース】

イ 応答スペクトルに基づく地震動評価における不確かさの考慮

(ア) 基本ケースの保守性

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

(イ) 不確かさを考慮したケース

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

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

（以上イについて、上記2（2）イ及びウ、疎丙24、添付書類六、6-5-37頁）

ウ 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(ア) 基本ケースの保守性

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

ては、詳細な調査によってもその位置を事前に把握することは困難であるため、アスペリティを断層の存在が確認されていない区間を含めて設定する等して本件発電所敷地により近い位置に設定するとともに、破壊開始点については、本件発電所敷地に地震波が短い時間でより多く重なり合うように、震源断層面又はアスペリティの下端に配置することとした。また、破壊開始点については、複数配置して検討することとした。

(いわゆる「基本ケース」)

(イ) 不確かさを考慮したケース

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

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

その上で、参加人は、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において大きな影響を与えるパラメータのうち、断層傾斜角(④)、短周期の地震動レベル(⑥)、すべり角(⑧)、破壊伝播速度(⑨)については、それぞれ独立して不確かさを考慮することとした。すなわち、これらのパラメータは、その性質上、事前の詳細な調査や、地震に関する過去のデータによる経験則等から地震発生前におおよそ把握できるもの

(認識論的な不確かさ)であるが、上記のとおり、各パラメータについて相当な保守性を持たせた値、場合によっては科学的・専門技術的知見から合理的に考慮できる範囲を超えた値を設定して不確かさの考慮を行っているため、これらの複数のパラメータが同時に基本ケースを超えて大きな値になることは考えにくいことから、それぞれ独立して考慮することとした。

これに対し、アスペリティの位置(③)、破壊開始点の位置(⑦)については、性質上、地震発生後の分析等により初めて把握できるものであり、地震発生前の把握が困難（事前の詳細な調査等からは特定が困難）なもの（偶然的な不確かさ）であることから、不確かさを重畠させて考慮することとした。（上記3(2)エ(ア)の図表78及び79）

（以上ウについて、上記3(2)イ及びエ、疎丙24、添付書類六、6-5-35頁、6-5-36頁、6-5-38頁、疎丙58、70頁、78頁、110～111頁）

エ 不確かさの組合せに関する追加検討

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

これは、上記の各パラメータのうち、断層傾斜角とすべり角は、地質調査の結果等から相対的に不確かさは小さい（したがって重畠させる必要性は小さい）と考えられること、一方、破壊伝播速度については、短周期側の地震動への影響は断層傾斜角やすべり角と同程度であるものの、

長周期側の地震動に最も大きな影響を及ぼすパラメータであることから、この破壊伝播速度を、短周期の地震動レベルと重畠させて考慮することとしたものである。また、アスペリティの位置と破壊開始点については、上記ウ（イ）の各ケースと同様に、ここでも重畠させて検討する。

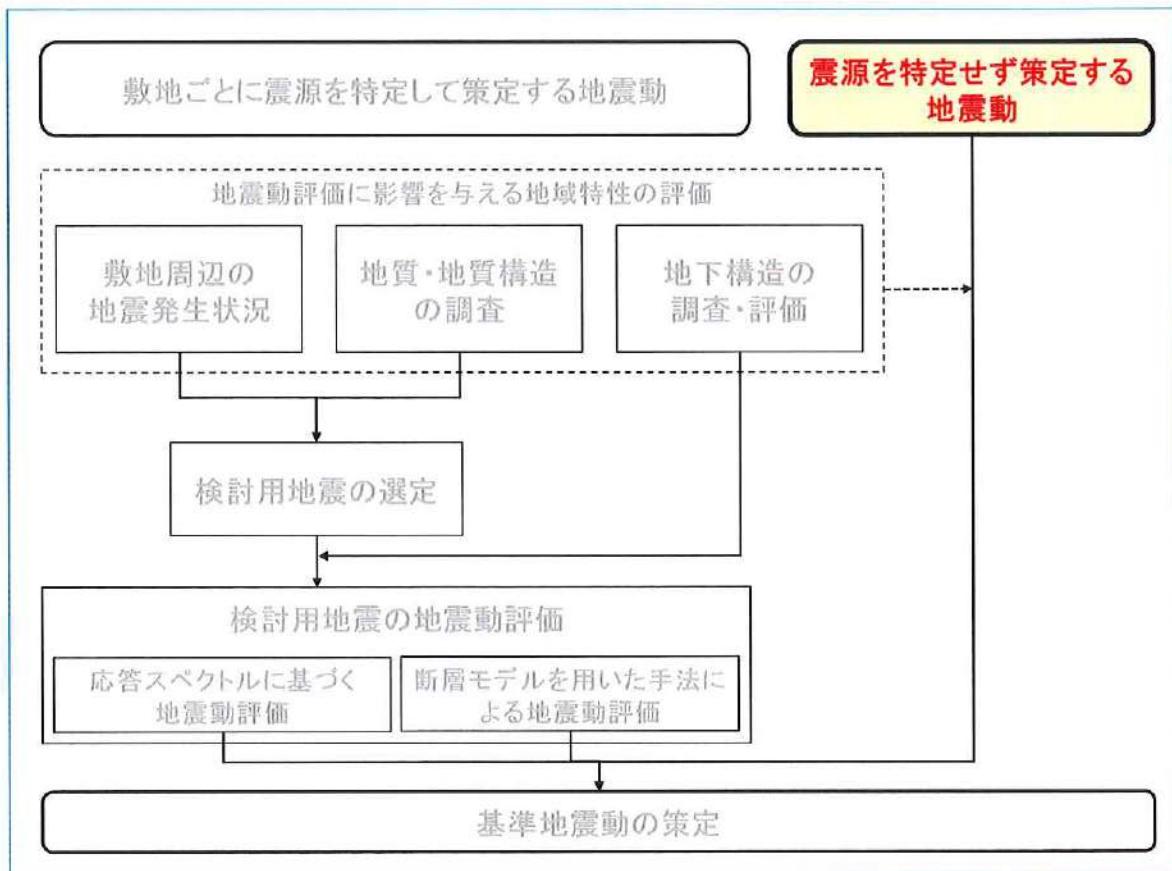
（イ）なお、短周期の地震動レベルについては、①FO-A～FO-B～熊川断層は横ずれ断層である一方、新潟県中越沖地震の震源断層は逆断層であること、②逆断層型の地震の短周期領域での地震動レベルは、横ずれ断層型の地震に比して1.2倍程度と評価されている等の知見があることから、新潟県中越沖地震を踏まえて考慮した「1.5倍」を1.2で除して、短周期の地震動レベルを1.25倍として再設定することとした。

（以上エについて、疎丙58、71～77頁）

才 小括

本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価では、以上述べたとおり、保守的な地震動評価となるよう、不確かさを適切に考慮している。この不確かさの考慮が科学的合理性を有していることは、下記第8の2（4）で述べるとおり、本件発電所の基準地震動に対する年超過確率が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ／年程度（疎丙58、161頁）と極めて低いことにも表れている。

第6 「震源を特定せず策定する地震動」の評価



上記第3の2（1）で述べたとおり、「震源を特定せず策定する地震動」は、本件発電所敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から策定するものである。

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

1 設置許可基準規則等

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

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

これを受け、地震ガイドは、観測記録の収集に関して、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」と「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」を対象として、収集対象となる16の内陸地殻内地震を例示している（疎乙5、7～8頁、I 4. 2. 1）。

2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価

本件発電所においては、敷地近くにFO-A～FO-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3km、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4の2（2）力の図表43））。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。

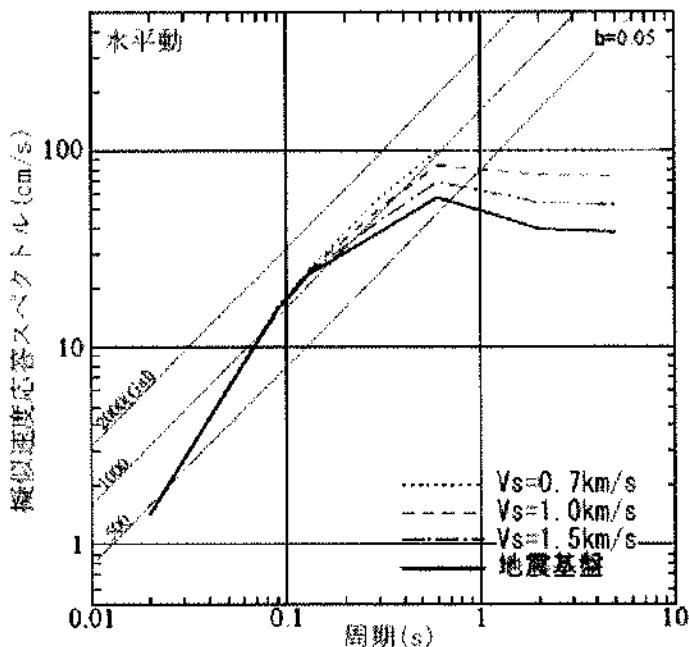
しかるところ、参加人は、上記の要求事項を踏まえ、「震源を特定せず策定する地震動」について、以下のとおり評価を行った。

（1）加藤ほか（2004）による応答スペクトル

まず、加藤ほか（2004）⁸¹（疎丙86）で示されている応答スペクトルにつ

⁸¹ 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、

いて検討した。加藤ほか（2004）では、日本や米国のかリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象⁸²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8-3。疎丙86, 65頁）。



（疎丙86, 65頁の図9より）

【図表8-3 加藤ほか（2004）による水平方向の地震動の応答スペクトル】

本件発電所敷地の解放基盤表面はS波速度2.2km/sであるところ（上記第4の3（2）ウ（ア）），加藤ほか（2004）では，S波速度2.2km/s以上の地

盤について、図表8-3に示す「地震基盤」の応答スペクトルが設定されていることから、参加人は、この応答スペクトルを採用することとした。

(2) 地震ガイドに例示されている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8-4。疎乙5、8頁の表-1、疎丙24、添付書類六、6-5-47頁）は、平成7年（1995年）兵庫県南部地震を契機として強震動観測網が整備されて以降に国内で発生した内陸地殻内地震から、原子力規制委員会及び多数の専門家による検討の結果、最新の科学的・技術的知見に照らして、「震源を特定せず策定する地震動」において考慮すべき地震の例として選定されたものである。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

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

【図表8-4 地震ガイドで例示されている16地震】

ところで、新規制基準では、観測記録をもとに、「敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定」することが求められており（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項3号、疎乙3、136頁）、「応答スペクトルの設定においては、解放基盤表面までの地震波の伝播特性が反映されている必要がある」とされている（疎乙5、7頁、I 4.1(2)）。

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

この点、原子力規制委員会は、「これらの地震の観測記録は、防災科学技術研究所が全国に設置するK-NET及びKIK-netをはじめとして各種機関が設置する強震計により観測されたものであるが、そのデータは地上で取られたもの、地中で取られたものが混在している。そこで、当該地震動を観測した強震計の位置（観測サイト）における地盤の增幅特性について、解放基盤面相当深さまでの速度構造をボーリング調査等によって把握して、観測サイトにおける解放基盤面において当該地震動（解放基盤波）を評価することが必要である。そのようにして算定された解放基盤波を原子力発電所の解放基盤面での地盤物性を必要に応じて考慮し、応答スペクトルが設定される」（疎乙4、272～273頁）としている。

参加人は、地震ガイドに示された「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」（疎乙5、7頁、I 4.2.1(3)）と「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」

(疎乙5, 7頁, I 4.2.1(2)) の区別に従い, Mw6.5⁸³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。

ア Mw6.5以上の2地震

地震ガイドは、Mw6.5以上の地震として、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震と平成12年（2000年）鳥取県西部地震（以下、「鳥取県西部地震」という）を例示している。

参加人は、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（疎乙5, 8頁, I 4.2.1解説(2)）ことを踏まえ、これらの地震の震源域周辺と本件発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどした。

（ア）岩手・宮城内陸地震

岩手・宮城内陸地震の震源域近傍は、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域であり、地震ガイドにいう「上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震」（疎乙5, 8頁, I 4.2.1解説(2)(3)）にあたる。

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

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

⁸³ 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、 $M_w = 1/1.5 \times (\log M_0 - 9.1)$ という算式で計算される値である。

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

（以上（ア）について、疎丙24、添付書類六、6-5-13～6-5-14頁、疎丙87、「高浜発電所・大飯発電所 震源を特定せず策定する地震動について」6～17頁）

（イ）鳥取県西部地震

鳥取県西部地震は、事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域で発生し、地表で地震断層が確認されたものの、確認された長さが、地震規模に相応の長さよりも短かった地震であり、地震ガイドにいう「活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震」（疎乙5、8頁、I 4.2.1解説(2)②）に該当すると考えられる。

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

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、参加人は、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、参加人は、震源近傍に位置する賀祥ダムでの地震動の観測記録を用いることとした。

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

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

（以上（イ）について，疎丙24，添付書類六，6-5-13～6-5-14頁，疎丙58，124頁，疎丙87，18～27頁）

イ Mw6.5未満の14地震

次に，地震ガイドに例示されたMw6.5未満の14地震については，これらの地震の震源近傍における観測記録のうち，地盤が著しく軟らかいと考えられる地盤上の記録を，表層の観測点を除外するためのはぎとり解析の精度の観点から除外し，95の観測記録を抽出した。そして，これらの観測記録のうち，加藤ほか（2004）の応答スペクトルとの比較において特に影響が大きいと考えられ，かつ，はぎとり解析により，観測点において地下の岩盤面（基盤面）における地震動を推定するために必要な精度の高い地盤情報が得られている記録は，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）（疎丙88）⁸⁴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、参加人は、佐藤ほか（2013）において、震源近傍の観測点における地下構造や地震動の推定について十分検討されていたことに鑑み、上記で推定された地震動を採用することとした。ここで、本件発電所敷地の解放基盤表面（S波速度2.2km/s）は、HKD020（港町観測点）の基盤面（S波速度938m/s）に比べて地震波の伝播速度が速く、硬い地盤であるため、仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも、地震波の增幅の程度はHKD020（港町観測点）の地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、このHKD020（港町観測点）での観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、参加人は、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、参加人は、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。

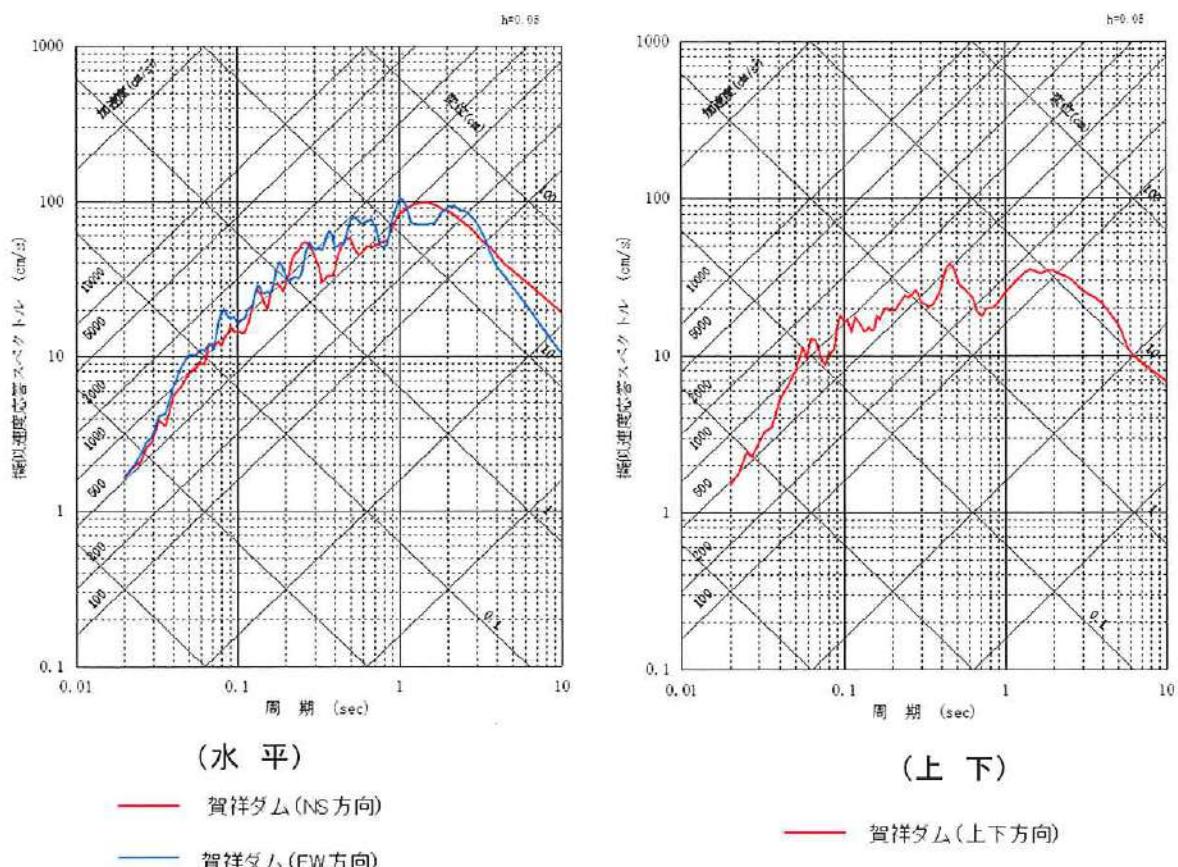
⁸⁴ 佐藤浩章ほか「物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価」電力中央研究所報告

(以上イについて、疎丙24、添付書類六、6-5-14～6-5-15頁、疎丙58、125～128頁、疎丙87、28～84頁)

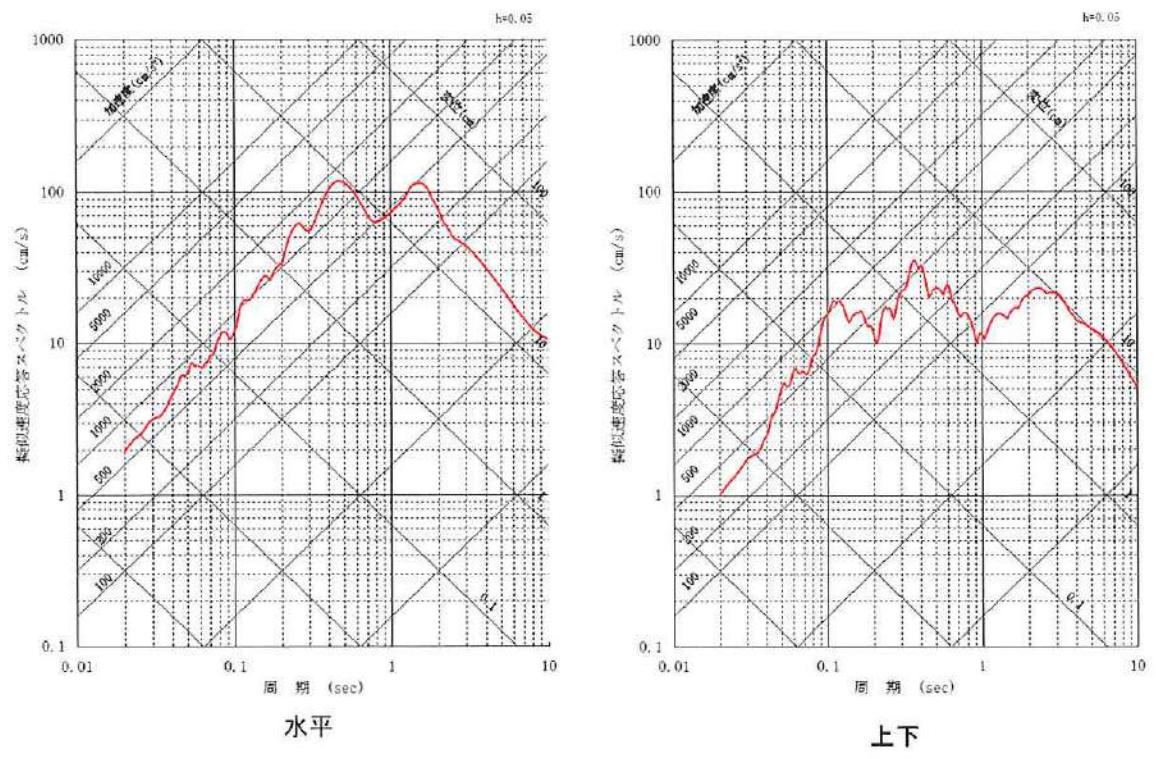
ウ 地震動評価結果

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85及び図表86のとおりである（疎丙24、添付書類六、6-5-123～6-5-124頁、疎丙58、124、129頁）。

上記の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第7の2で述べる。

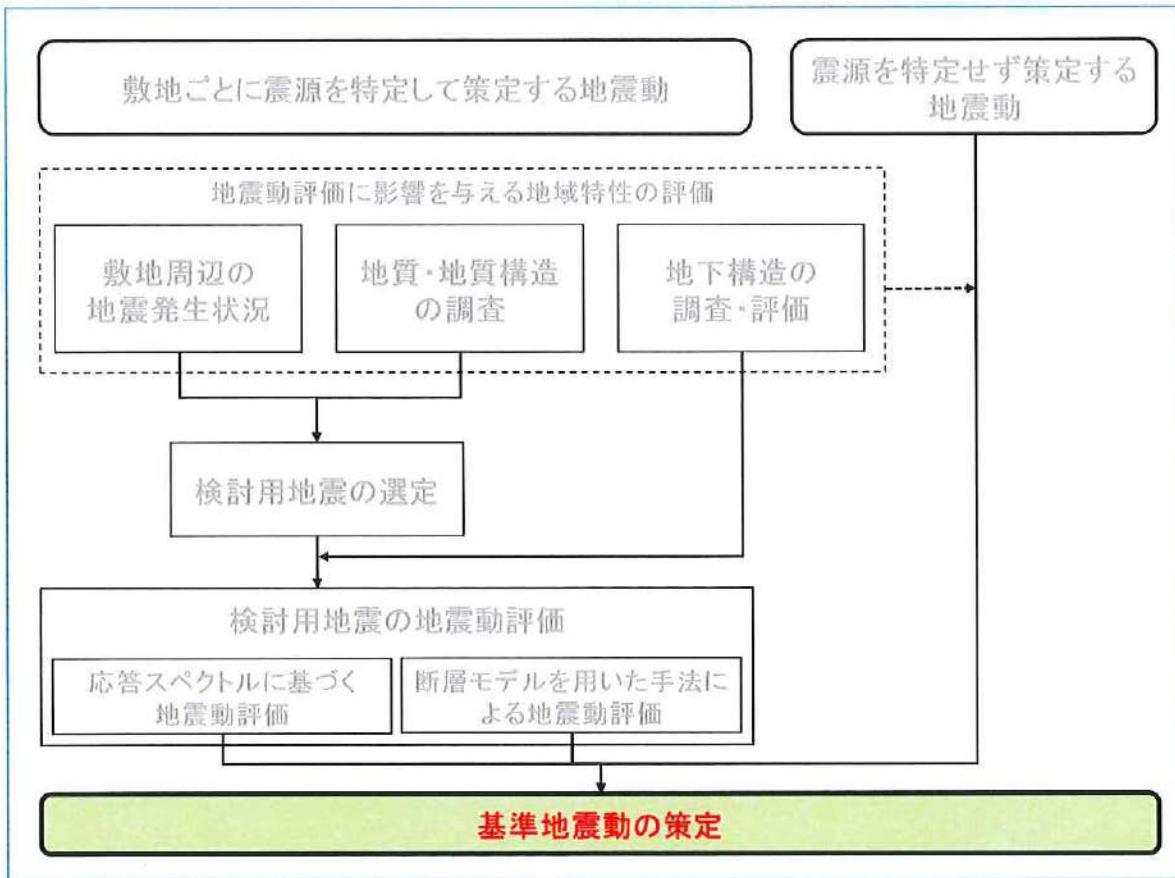


【図表85 鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル】



【図表 8 6 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】

第7 基準地震動の策定



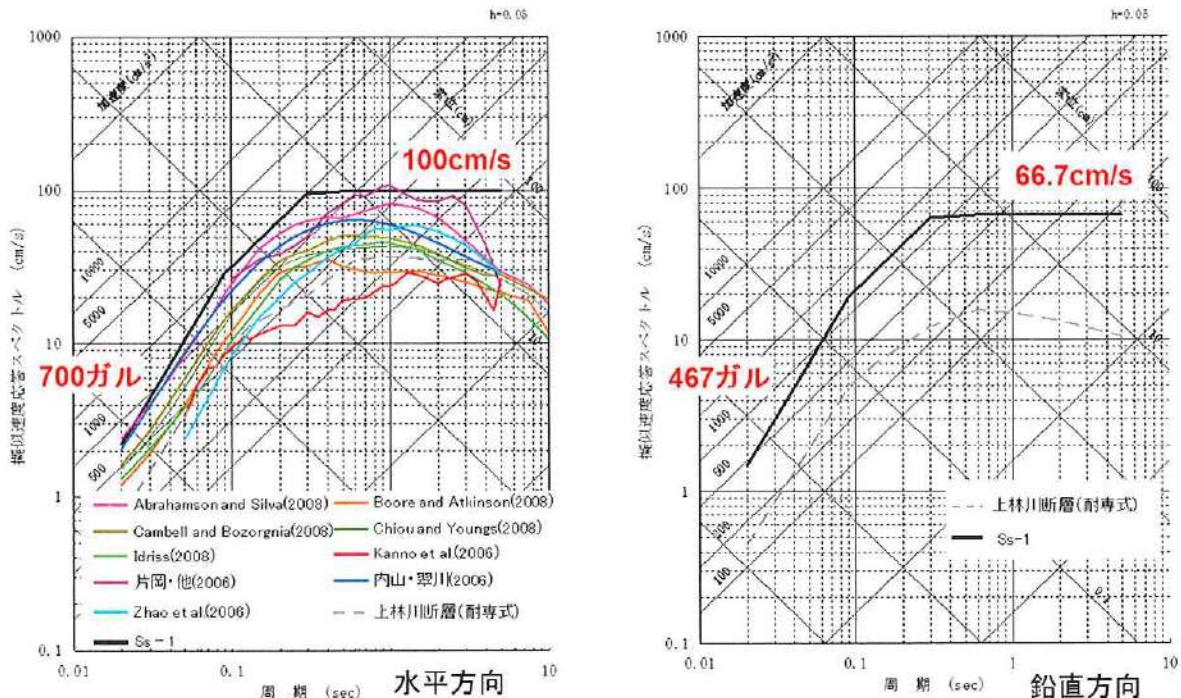
ここまで説明してきた、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」（上記第5）及び「震源を特定せず策定する地震動」（上記第6）の評価結果を踏まえて、以下のとおり本件発電所の基準地震動を策定した。

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

「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5の2（2））を踏まえて、本件発電所の基準地震動 S s⁻¹ の応答スペクトルを、図表8-7の黒色線のとおり策定した（疎丙24、添付書類六、6-5-125～6-5-126頁、疎丙58、130

頁）。最大加速度は 700 ガル（水平方向）である。（加速度時刻歴波形については、疎丙 24 号証の添付書類六の 6-5-141 頁、疎丙 58 号証の 135 頁を参照）



【図表 8-7 基準地震動 Ss-1 の応答スペクトル】

基準地震動 Ss-1 の応答スペクトルは、上林川断層による地震の耐専式による地震動評価結果（図表 8-7 の破線）を、水平方向・鉛直方向とともに、全ての周期帯で上回っている（疎丙 24、添付書類六、6-5-127～6-5-128 頁）。

一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトル（上記第 5 の 2 (2) イ (工) の図表 6-4）と、基準地震動 Ss-1 の応答スペクトル（水平方向）を比較すると、①傾斜角 75° ケースの Abrahamson and Silva (2008) の関係式による応答スペクトル⁸⁵が、短周期側（0.02 秒付近）で 700 ガルを超えており、また、②傾斜角 75° ケースの

⁸⁵ 図表 8-7 の左側の図の「Abrahamson and Silva (2008)」（桃色線）で示されている応答スペクトルを指す。

片岡ほか（2006）の関係式による応答スペクトル⁸⁶が、長周期側（1秒付近）で 100cm/s をわずかに上回っている（図表 8.7 の左側の図を参照。疎丙 24, 添付書類六, 6-5-129～6-5-130 頁）。

しかしながら、上記①については、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（上記第 5 の 3）の結果に基づいて策定した基準地震動 S s - 4 の最大加速度 856 ガルは下回った。

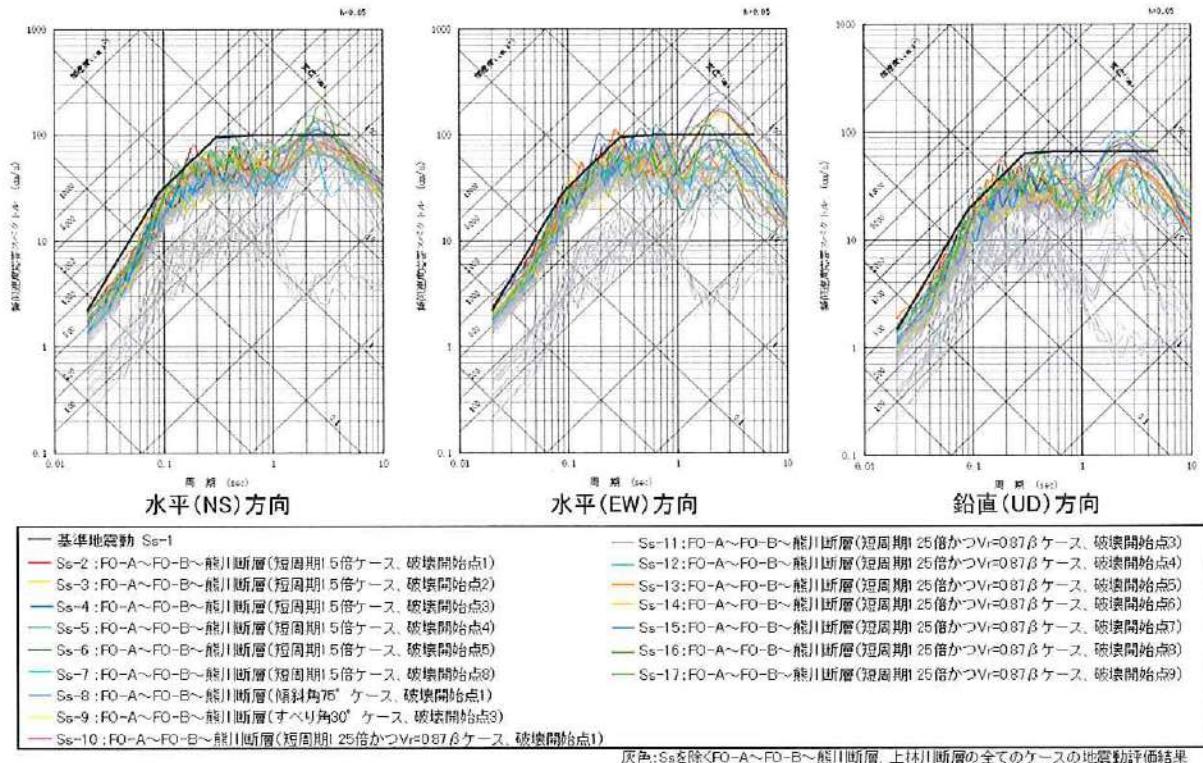
また、上記②については、片岡ほか（2006）の関係式が基礎としている観測記録が得られた各観測点の表層地盤の S 波速度の平均値は 720m/s であり、本件発電所の基準地震動を設定した解放基盤表面（S 波速度 2.2km/s）とは地震波の伝播速度が大きく異なり、硬さの異なる地盤であるため、片岡ほか（2006）の関係式による応答スペクトルと基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルとを精度良く比較するためには、前者を地盤の硬さを踏まえて補正する必要がある。そこで、複数の補正式を用いて補正したところ、いずれの補正式によっても、補正された応答スペクトルは、全周期帯で基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルを下回る結果となった。

（2）断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

次に、FO-A～FO-B～熊川断層による地震（全 64 ケース）及び上林川断層による地震（全 18 ケース）に係る断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果（上記第 5 の 3（2）工）のうち、基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルを上回るケースから 16 ケースを、それぞれ基準地震動 S s - 2 ～ S s - 1.7 として策定した（図表 8.8。疎丙 24, 添付書類六, 6-5-134～6-5-136 頁、疎丙 58, 131 頁）。最大加速度は、水平方向が基準地震動 S s -

⁸⁶ 図表 8.7 の左側の図の「片岡・他（2006）」（紫色線）で示されている応答スペクトルを指す。

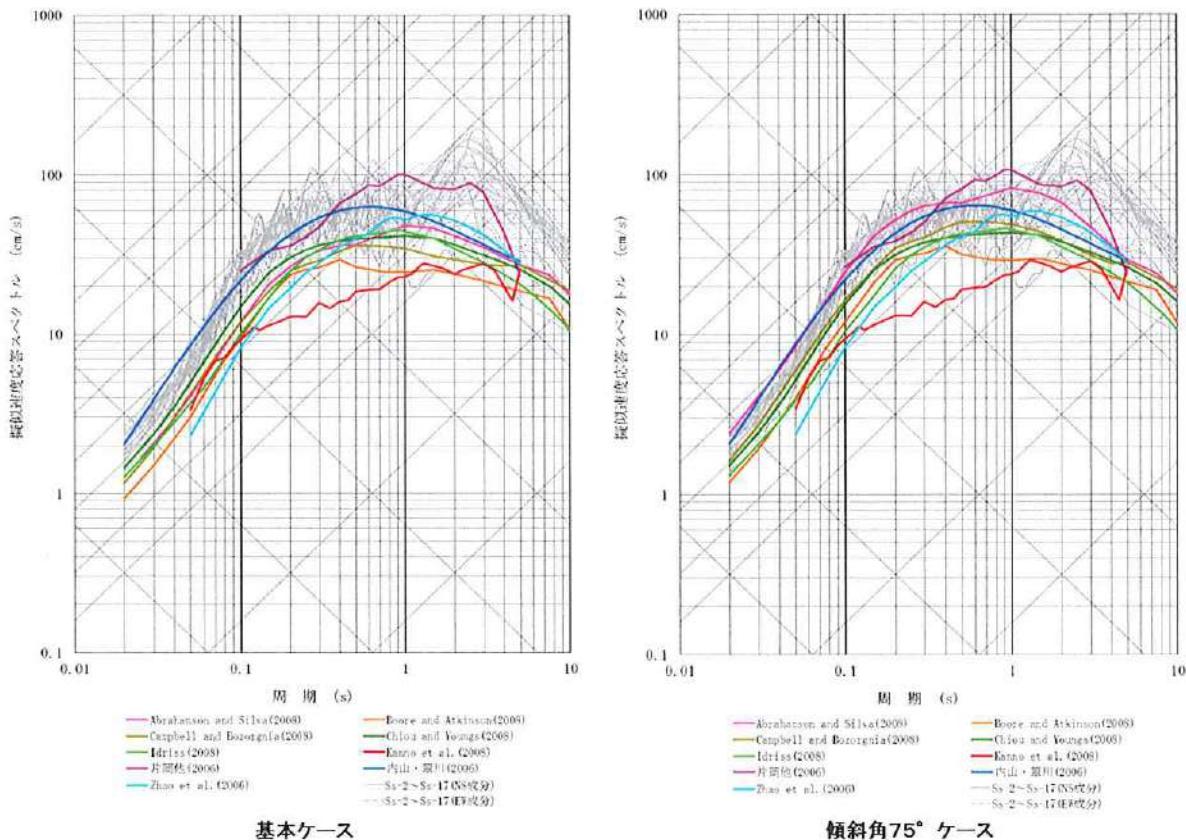
4 (E W方向) の 856 ガル, 鉛直方向が基準地震動 S s - 1 4 の 613 ガルである。(基準地震動 S s - 2 ~ S s - 1 7 の加速度時刻歴波形については, 疎丙 24 号証の添付書類六の 6-5-142~6-5-157 頁, 疎丙 58 号証の 136~139 頁を参照)



【図表 8-8 基準地震動 S s - 2 ~ S s - 1 7 の応答スペクトル】

なお, F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトル (上記第 5 の 2 (2) イ (エ) の図表 6-4) と, 基準地震動 S s - 2 ~ S s - 1 7 の応答スペクトル (水平方向) とを重ね合わせて比較し, 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性を検討したものが図表 8-9 である。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による基準地震動 S s - 2 ~ S s - 1 7 の応答スペクトルは, 各種の距離減衰式による応答スペクトルと概ね同等ないしはこれを上回る結果となっており, 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性が示されているとい

える。



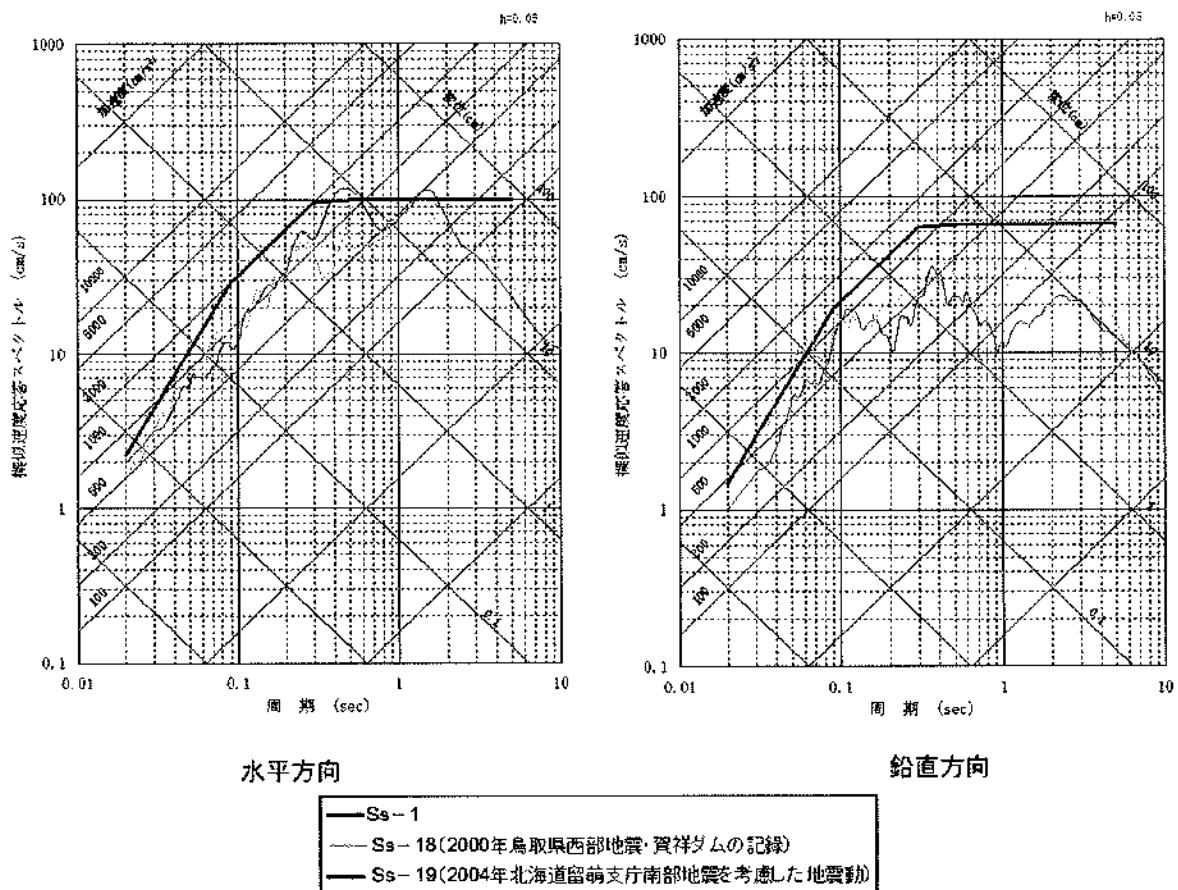
【図表8-9 F O-A～F O-B～熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトルと基準地震動Ss-2～Ss-17との比較】

2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

上記第6で評価した「震源を特定せず策定する地震動」のうち、第6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-1.8, Ss-1.9として策定した(図表9-0。疎丙

24, 添付書類六, 6-5-137~6-5-139 頁, 疎丙 58, 132 頁)。(基準地震動 S s - 1 8 及び S s - 1 9 の加速度時刻歴波形については, 疎丙 24 号証の添付書類六の 6-5-158~6-5-159 頁, 疎丙 58 号証の 140 頁を参照)



【図表 9-0 基準地震動 S s - 1 8, S s - 1 9 の応答スペクトル】

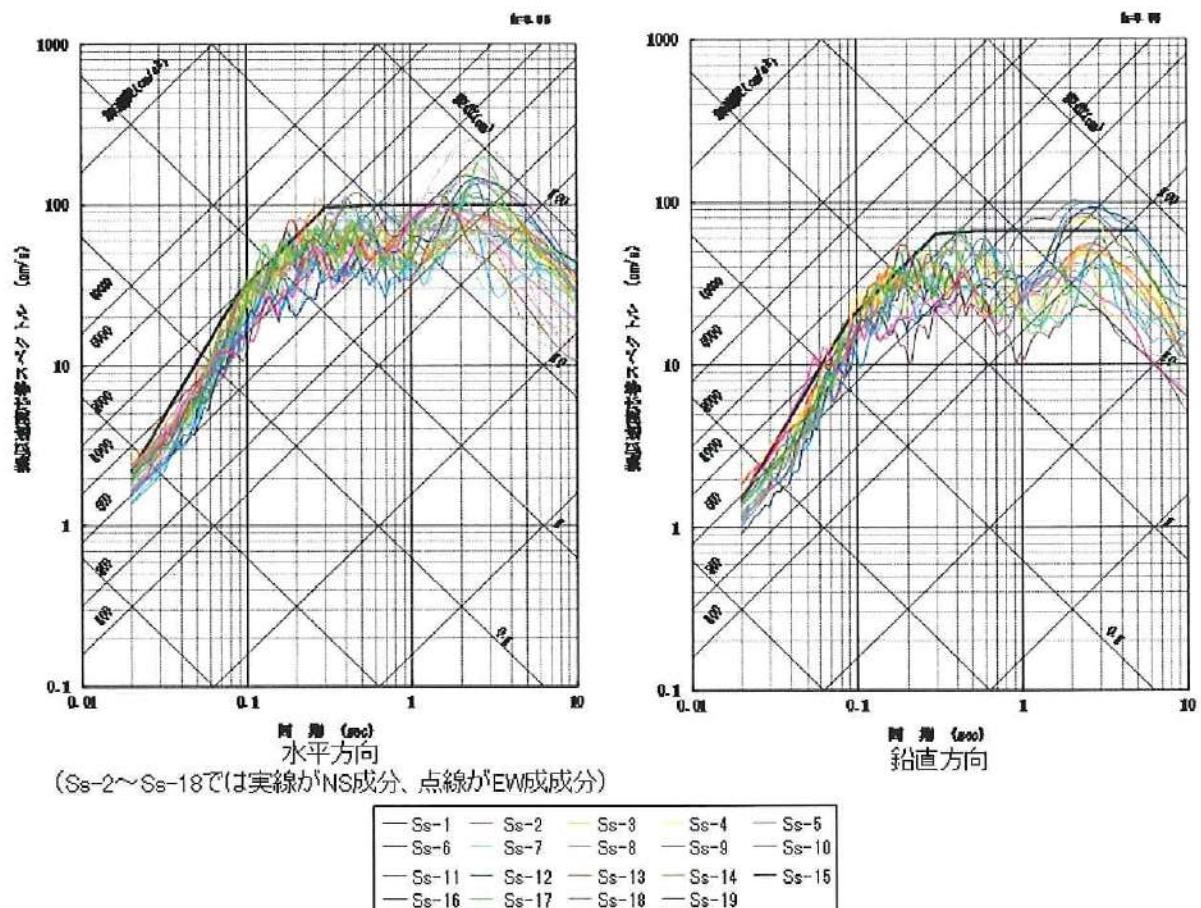
3 小括

以上より, 本件発電所の基準地震動として, 基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 を策定した。最大加速度は, 水平方向が基準地震動 S s - 4 (E W 方向) の 856 ガル, 鉛直方向が基準地震動 S s - 1 4 の 613 ガルである (図表 9-1。疏丙 24, 添付書類六, 6-5-51 頁, 疎丙 58, 141 頁)。最終的な基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 の応答スペクトルを図表 9-2 に示す (疏丙 58, 134 頁。加速度時刻歴波形については, 疎丙 58 号証の 135~140 頁を参照)。

(cm/s²)

基準地震動		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1 設計用模擬地震波		700		468
Ss-2	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点1)	690	776	583
Ss-3	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点2)	496	826	383
Ss-4	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点3)	546	856	518
Ss-5	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点4)	511	653	451
Ss-6	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点5)	660	578	450
Ss-7	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点8)	442	745	373
Ss-8	FO-A～FO-B～熊川断層(傾斜角75° ケース・破壊開始点1)	434	555	349
Ss-9	FO-A～FO-B～熊川断層(すべり角30° ケース・破壊開始点3)	489	595	291
Ss-10	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点1)	511	762	361
Ss-11	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点3)	658	727	469
Ss-12	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点4)	495	546	334
Ss-13	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点5)	744	694	380
Ss-14	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点6)	723	630	613
Ss-15	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点7)	685	728	430
Ss-16	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点8)	677	753	391
Ss-17	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点9)	594	807	436
Ss-18	2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録	528	531	485
Ss-19	2004年北海道留萌支厅南部地震を考慮した地震動	620		320

【図表 9.1 基準地震動 Ss-1～Ss-19 の最大加速度】



【図表 9 2 基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 の応答スペクトル】

第8 基準地震動の年超過確率

これまで述べてきたとおり、参加人は、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、参加人は、基準地震動を超える地震動が発生する可能性について、確率論的な観点から定量的に確認するため、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した。

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』については、それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握すること」としている（同規則解釈別記2第4条5項4号、疎乙3、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⁸⁷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⁸⁸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、社団法人日本原子力学会の「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」（疎丙89。以下、「実施基準」という）を例示している（疎乙5、9～11頁、I 6.1及び6.2）。

⁸⁷ 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。

⁸⁸ 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（上記第2の6（2）を参照）上に示した応答スペクトルをいう。

ここで、実施基準の信頼性について敷衍して述べると、実施基準は、日本原子力学会の標準委員会が、原子力発電所の安全性と信頼性を確保してその技術水準の維持・向上を図る観点から、原子力発電所の設計・建設・運転・廃止活動において実現すべき技術のあり方を定めた原子力標準の一つであり、その策定にあたっては、標準委員会・発電炉専門部会の下に地震P S A分科会が設置され、さらに地震ハザード評価作業会等の作業会が設けられて、検討の結果、取りまとめられたものである（疎丙89、i頁）。検討にあたっては、関係者の意見をパブリックコメントを通じて聴取するなどして、公平、公正、公開の原則を維持しながら審議が行われた（同vi頁）。このように、実施基準は、学識者、実務者の長年にわたる議論と公正な手続きを経て作成されたものであり、その信頼性は広く認められている。

2 本件発電所の基準地震動の年超過確率

(1) 参加人は、本件発電所敷地周辺の詳細な調査・評価結果に基づき、本件発電所敷地に大きな影響を与えると予想される検討用地震を選定している。そして、それらの調査・評価結果も踏まえて、各種の震源断層パラメータについて保守的な条件設定により、地震動の地域特性を踏まえた最新の地震動評価手法を用いて、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価し、さらに「震源を特定せず策定する地震動」も評価した上で、本件発電所の基準地震動S s - 1～S s - 19を策定している。

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

すなわち、上記のとおり保守的な条件設定に基づいて策定された基準地震

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

この点、原子力規制委員会も、設置許可基準規則及び同規則解釈（疎乙3）についてのパブリックコメント（疎丙47、「原子力規制委員会設置法の一部の施行に伴う関係規則の整備等に関する規則（案）等に対する意見募集の結果について」）において、「本規則（引用者注：設置許可基準規則）及び解釈案では、『「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」については、それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握すること。』としていますが、これにより策定されたそれぞれの地震動に必要な震源や不確かさが適切に考慮されていること等について、ハザード評価（引用者注：地震ハザード評価と同じ）の観点からも明確化することが可能となります」（疎丙47、65～66頁）としており、基準地震動の年超過確率は、策定された基準地震動を異なる観点から確認するために参照するものであることを明らかにしている。

(2) 参加人は、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。

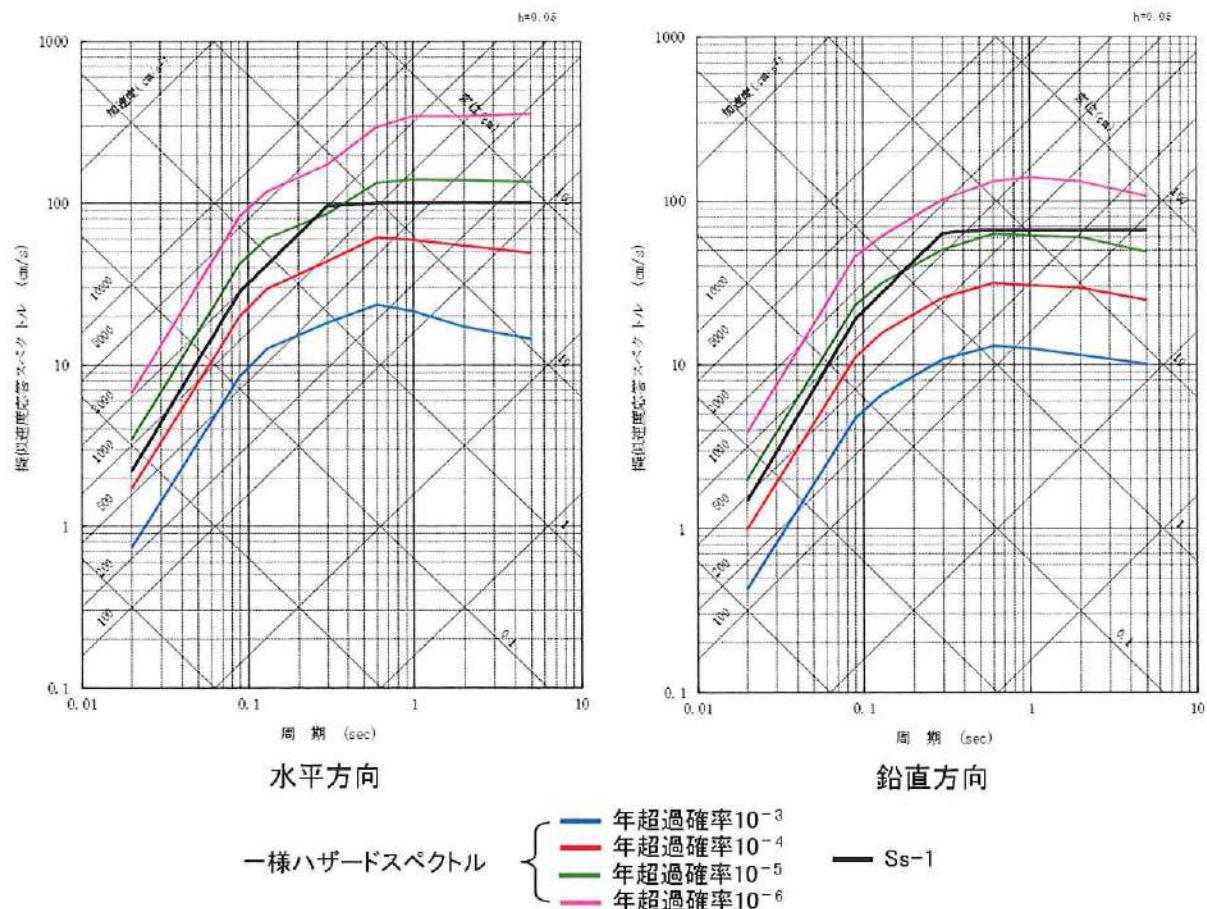
(3) 具体的には、概要、以下の手順により、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した（疎丙24、添付書類六、6-5-16～6-5-19頁、6-5-52～6-5-53頁、6-5-160～6-5-176頁、疎丙58、142～164頁）。

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

(4) 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、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度⁸⁹ となった（図表9-3。疎丙24、添付書類六、6-5-171～6-5-172頁、疎丙58、161頁）。

⁸⁹ この点に関して、「原子力施設の耐震設計指針における地震動評価に関する現状—I A E A および U S . N R C の動向—」（疎丙90）によると、国際原子力機関（I A E A）では、設計用地震動の策定方法について、米国の基準や技術を参考にしつつ（同14頁）、原子力発電所の設計用地震動として2段階の耐震レベルを想定しており、より厳しい「S L - 2」は、国や地域にもよるもの、概ね年超過確率 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 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。

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



【図表9-3 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-1との比較】

第9 本件発電所の耐震安全性

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

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

なお、第3の1(4)で述べたとおり、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（設置許可基準規則39条1項1号、疎乙3、88頁）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（設置許可基準規則39条1項3号、疎乙3、88頁）並びに可搬型重大事故等対処設備（以下、「重大事故等対処設備等」という）についても、基準地震動に対する耐震安全性を確認している。第9では、耐震重要施設である「安全上重要な設備」について述べるが、重大事故等対処設備等についても、耐震重要施設と同様に設置許可基準規則に適合するよう設計しており、基準地震動に対する耐震安全上の余裕が存在する。

1 本件発電所の耐震安全性評価

(1) 設置許可基準規則等

ア 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⁹⁰について、

⁹⁰ 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、疎乙3、4頁）。

ここで、運転時の異常な過渡変化とは、「通常運転時に予想される機械又は器具の单一の故障若しくはその誤作動又は運転員の单一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心（・・・）又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう」（同規則2条2項3号、疎乙3、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。

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（疎乙3、130～131頁）。

イ 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、疎乙3、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求めている（疎乙3、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、疎乙3、12頁）。

また、同規則解釈は、「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ」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（4）アで述べる）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、疎乙3、137～138頁）。

ウ 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、疎乙3、12頁、130～132頁、疎乙4、236～

238頁)。

また、弹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⁹¹のおそれのあるものについて、弹性設計用地震動に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、疎乙3、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⁹²を求めている(同条3項2号及び3号、疎乙3、132頁)。

(以上1について、疎丙61、11~12頁)

(2) 耐震設計における基本的な考え方

参加人は、本件発電所の設計における基本方針として、建物・構築物は、原則として鉄筋コンクリート造等の剛構造(地震力等の外部から作用する力を受けても変形しにくい構造)とし、重要な建物・構築物は地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に直接支持させることとして、原子炉建屋等の重要な建物・構築物については、堅固な岩盤に直接、鉄筋コンクリート造の基礎を構築した(図表9-4)。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

⁹¹ 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。

⁹² 例えば、建物・構築物における耐震重要度分類Bクラス及びCクラスの設計基準対象施設については、静的地震力に対する評価を行うに際しては、それぞれ建築基準法で定められた基準値の1.5倍、1.0倍の水平地震力を設定することが求められており、最上位のSクラスの設計基準対象施設については3.0倍の水平地震力を設定することが求められている(同規則解釈別記2第4条4項2号、疎乙3、133頁、疎乙4、237~238頁)。

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（図表9-5）。

（以上について、疎丙5、1~2頁）

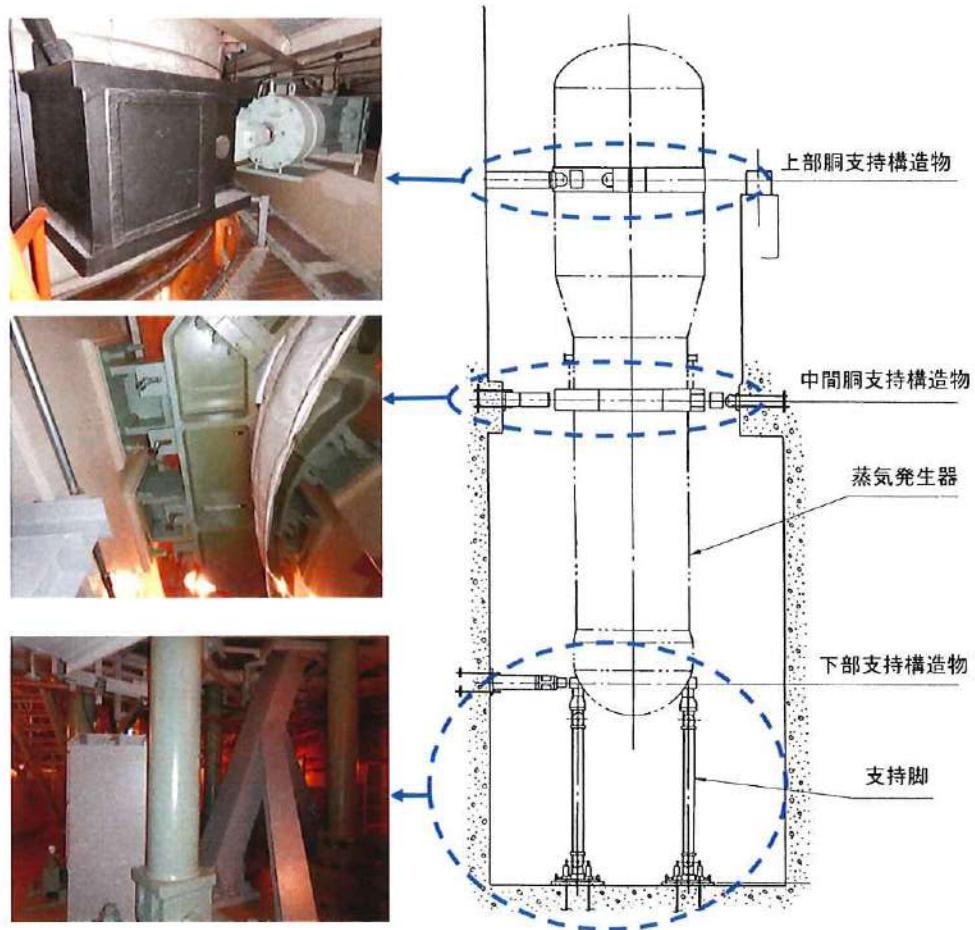


鉄筋の配置状況



基礎コンクリートの状況

【図表9-4 大飯発電所3号機 原子炉建屋 基礎工事状況】



蒸気発生器支持状況

【図表 9 5 大飯発電所 3 号機 蒸気発生器支持構造物】

(3) 耐震重要度分類

ア 参加人は、上記1の要求事項を踏まえ、本件発電所の建物・構築物及び機器・配管系について、地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点、すなわち、原子力発電所の安全を確保する上で的重要度に応じて、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。

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

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

国際原子力機関（IAEA）が定める安全基準類のうち原子力安全の要件を規定しているIAEA安全基準「原子力発電所の安全：設計」は、福島第一原子力発電所事故から得られた教訓・知見を基に、従前のものからの見直しが行われ、2016年2月に改訂版が発行されているところ（疎丙91、「IAEA安全基準『原子力発電所の安全：設計』について」本文、別紙2、1/3頁）。この見直し後の安全基準においても、①すべての安全上重要な機器等は特定され、それらの機能と安全上の重要度に基づいて分類されなければならないこと（同2/3頁、要件22）、②安全上重要な機器等は、危険要因の影響に耐えるように設計され配置されなければならないこと（同頁、5.15A）等が求められている。すなわち、より重要な対象により厳しい基準を適用し、より厳密にこれを確認することで、より高い安全性を確保できるという一般的な経験則が、重要度に応じた分類を行う際の根底にある科学的理念となっており、この理念は、福島第一原子力発電所事故の教

訓・知見を踏まえてもなお変わらないものである。

ウ 各クラスの分類は、図表96（疎丙5、4頁、図表3）のとおりであるが、これを敷衍すると以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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

【図表 9-6 耐震重要度分類】

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

（以上（3）について、疎丙5、3~4頁）

(4) 基準地震動に対する耐震安全性評価

参加人は、上記のとおり耐震重要度分類Sクラスに分類したもの（耐震重要施設）について、基準地震動に対する耐震安全性評価を行い、基準地震動による地震力が各設備に作用した際の評価値（建物・構築物の耐震壁のせん断ひずみや機器・配管系に生じる応力の値など）を算出して、これが評価基準値⁹³を下回ることを確認した。

ア 耐震安全性評価における解析

参加人は、本件発電所の耐震重要施設について、基準地震動Ss-1～Ss-19に対する耐震安全性評価を行った。この評価においては、地震応答解析及び応力解析を行い、その結果得られた評価値が、基準・規格等に基づいて定められている評価基準値を超えないことを確認している⁹⁴。

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⁹⁵のように、物体に対して

⁹³ 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。

⁹⁴ 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、参加人は、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、疎乙3、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、疎乙3、20頁）とされている。

上記の要求事項を踏まえ、参加人は、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（疎丙6、101～102頁）。

⁹⁵ 地震時には、物体が揺さ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（疎丙5、6頁）。

外部から作用する力をいう。一方、物体の内部では、このような荷重と釣り合いを保とうとする力が発生するところ、この物体内部で発生する力を応力といふ⁹⁶。

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

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

（以上について、疎丙61、13～14頁、疎丙5、6～7頁）

以下では、参加人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（下記イ）と機器・配管系（下記ウ）に分けて述べる。

イ 建物・構築物の解析

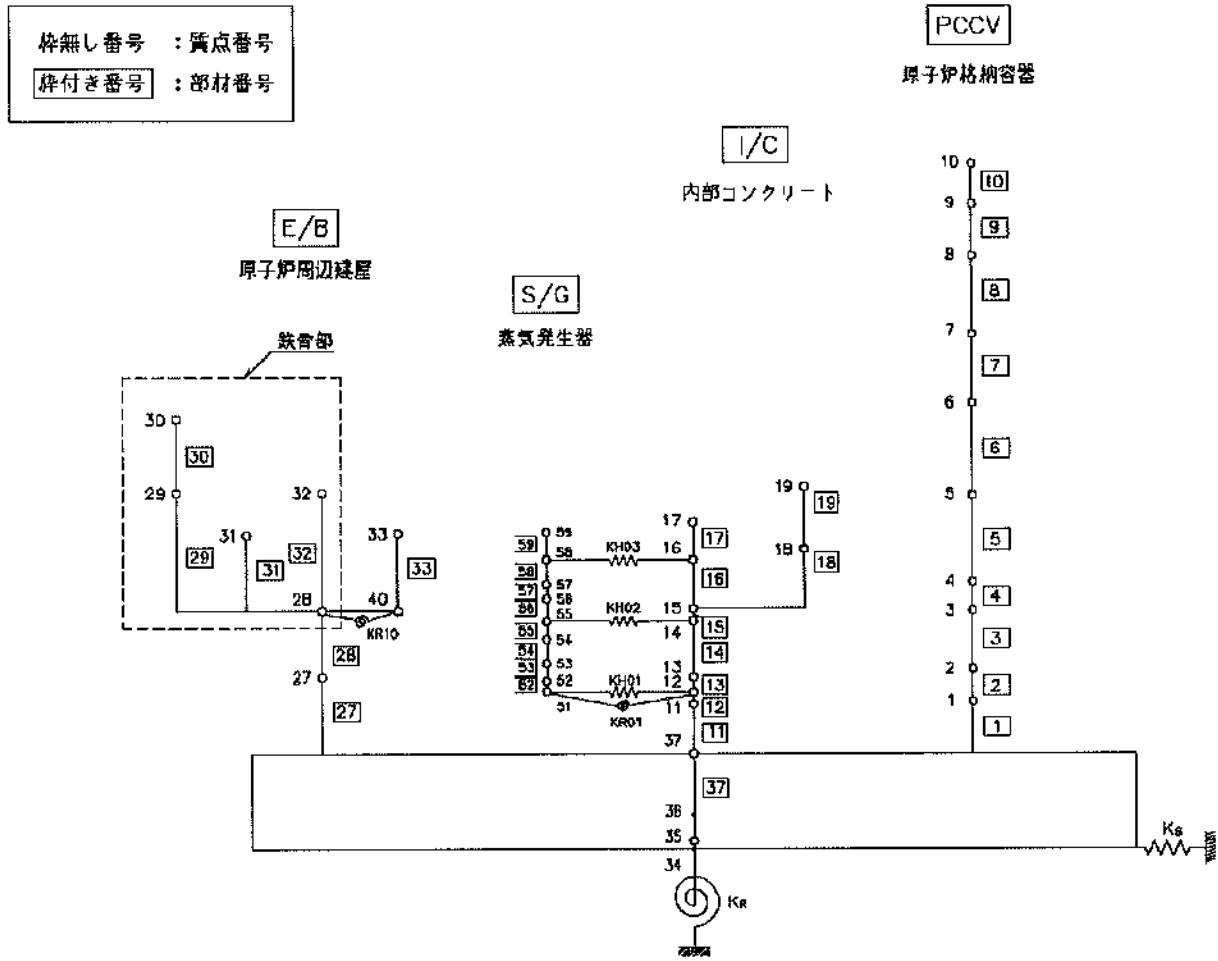
（ア）建物・構築物については、日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」（疎丙5添付資料1。以下、「JEAG4601-1987」という）⁹⁷に定める手法を用いて解析を行う（疎丙5添付資料1、265頁、287～290頁、367～368頁）。

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9-7は原子炉建屋の例。疎丙5、9頁）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

⁹⁶ なお、荷重は、作用する力の総量として示される（単位はN（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Pa（パスカル）である）。

⁹⁷ このJEAG4601-1987等は、工事計画認可に係る耐震設計に関する審査において技術基準規則及び技術基準規則解釈への適合性を確認するために参照される、原子力規制委員会の「耐震設計に係る工認審査ガイド」（疎乙12）において、適用可能な規格として示されている（疎乙12、2～3頁、1.3の⑥～⑧）。

基準値を超えないことを確認する。



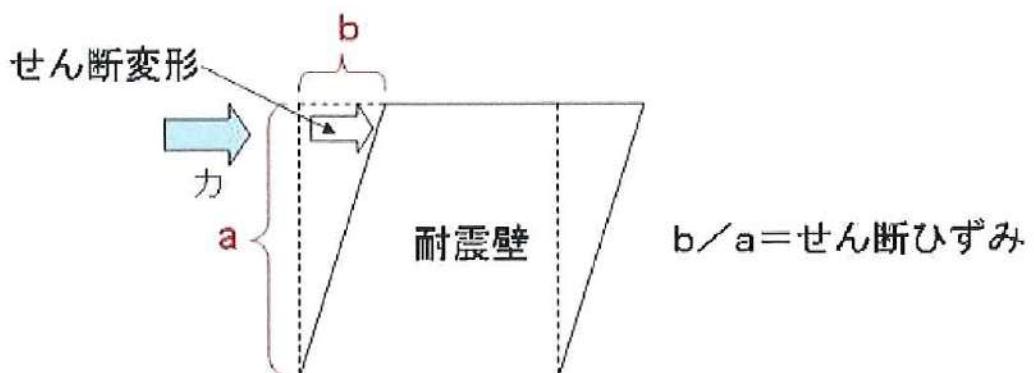
(疎丙5号証の9頁の図表8を一部修正したもの)

【図表9-7 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）】

（イ） 参加人は、本件発電所の原子炉建屋及び制御建屋について、基準地震動による解析を行った。その結果得られた各建屋の耐震壁（鉄筋コンクリート造）の評価値（せん断ひずみの最大値）を示したものが図表9-9（疎丙5、10頁、図表10）である。

ここで、せん断ひずみとは、外力を受けて物体内部で生じる、それを生じさせる力（せん断力）によって変形（せん断変形）する際の変形の割合をいい、耐震壁の地震時に生じるせん断変形（長さ）を耐震壁の高

さで除すことで求められる（図表98、「 $b/a = \text{せん断ひずみ}$ 」）。例えば、高さ10mの耐震壁でせん断変形が1cmであれば、せん断ひずみは 1×10^{-3} となる。



【図表98 せん断変形とせん断ひずみ】

各建屋のせん断ひずみの最大値（評価値）は、図表99に示すとおり、いずれもJEAG4601-1987に定める評価基準値 2.0×10^{-3} を下回っており、各建屋が基準地震動に対して耐震安全性を有することが確認されている。

なお、このように評価値が評価基準値を下回っていることが、下記第2の1で述べる耐震安全上の余裕のうち、①の余裕にあたる。図表99の最上段の、大飯発電所3号機の原子炉建屋を例に説明すると、同建屋の耐震壁の評価値は 1.44×10^{-3} であるが、評価基準値は 2.0×10^{-3} であるから、 2.0×10^{-3} （評価基準値）を 1.44×10^{-3} （評価値）で除して、原子炉建屋の耐震壁の耐震性は、基準地震動による地震力に対して約1.4倍の余裕を有していることになる。

（以上イについて、疎丙5、8~10頁）

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

【図表9.9 原子炉建屋及び制御建屋の耐震安全性評価結果】

ウ 機器・配管系の解析

(ア) 機器・配管系については、各機器等の振動性状に応じて1次元又は3次元の解析モデルを構築し⁹⁸、この解析モデルに水平2方向及び鉛直方向の方向ごとに基準地震動を入力するなどして解析を行い、算出された評価値が評価基準値を超えないことを確認する、構造強度評価を行う。このような評価手法は、JEAG4601-1987等に沿うものである。

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

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

その結果、発生応力値等の評価値は、いずれも評価基準値を下回って

⁹⁸ 例えば、その構造上、左右方向等の一定の方向に揺れやすいことが明らかな機器については、地震動によるその一定の方向の振動を表現できればよいことから、その方向に対応する1次元の解析モデルを構築する。他方、配管のように、建屋内に3次元的に敷設され、その形状が対称ではない設備については、揺れやすい方向が必ずしも明らかではないため、これを適切に模擬するために3次元の解析モデルを構築する。

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⁹⁹。

その代表的な評価結果を示したもののが図表100（疎丙5、10頁、図表10、16頁、図表17¹⁰⁰）である。

そして、上記（2）イと同じく、このように評価値が評価基準値を下回っていることが、下記第2の1で述べる①の余裕にあたる。図表100の最上段の、大飯発電所3号機の炉内構造物（ラジアルサポート）を例に説明すると、同設備の評価値は184MPaであるが、評価基準値は372MPaであるから、372MPa（評価基準値）を184MPa（評価値）で除して、同設備の耐震性は、基準地震動による地震力に対して約2.0倍の余裕を有していることになる。

（以上ウについて、疎丙5、11～16頁）

⁹⁹ 動的機能維持評価の対象設備のうち、制御棒については、地震時においても原子炉内へ評価基準値以内の時間で挿入されることを確認した。なお、挿入時間に係る評価基準値は、安全設計評価（設置許可基準規則解釈13条1項、疎乙3、33頁、疎丙92）の条件を用いている。

¹⁰⁰ 評価対象設備のうち原子炉格納容器について、鋼製のものは「機器」として耐震安全性評価を行うが、本件発電所のようにプレストレストコンクリート製のものは「建物」（原子炉建屋の一部）として評価を行うため、疎丙5号証においては、16頁の図表17（機器・配管系の耐震安全性評価結果）ではなく、10頁の図表10（建屋の耐震安全性評価結果）に記載されている。

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

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

【図表100 代表的な機器・配管系の耐震安全性評価結果】

工 小括

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

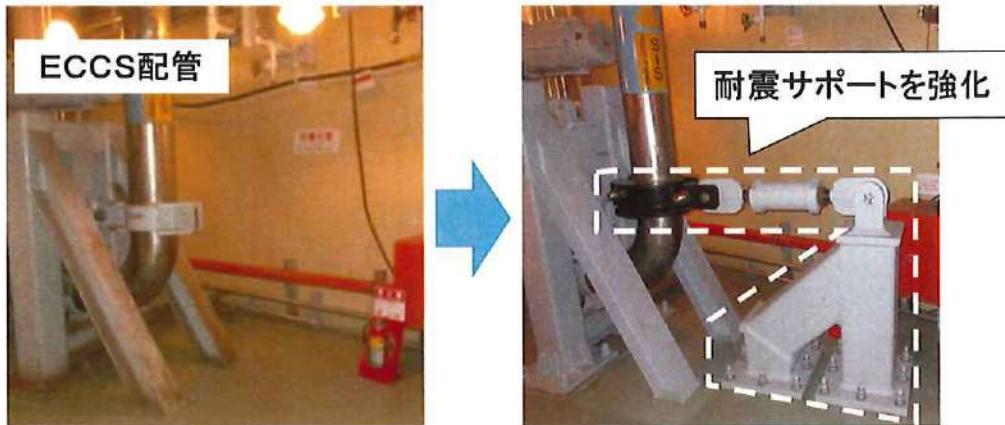
なお、上記(1)ウで述べた弾性設計用地震動及び静的地震力についても、JEAG4601-1987等に定める手法を用いて耐震安全性評価を行い、耐震重要施設として対象となる全ての建物・構築物及び機器・配管系について、評価値が弾性設計用の評価基準値を下回ることを確認した。

（5）耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事

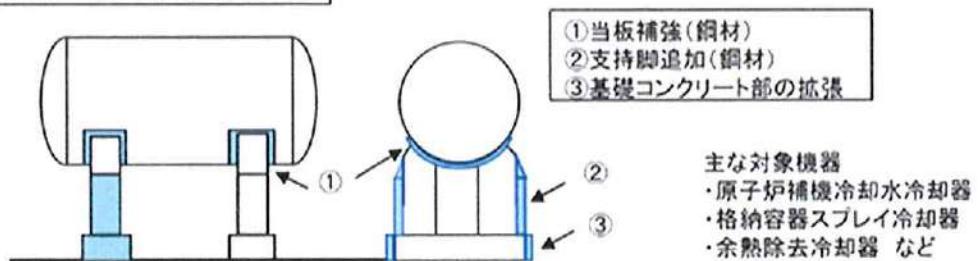
参加人は、基準地震動を見直した際には、必要に応じて耐震補強工事を行っており、工事後の設備状態を前提として上記（4）の耐震安全性評価を行うことで、耐震重要施設の安全性を確認している。

今般、新規制基準施行に伴い、参加人は、本件発電所の新たな基準地震動（最大加速度856ガル）を策定したが、その策定に伴って耐震補強が必要となるもの等について、平成25年から、本件発電所の配管サポート類、原子炉補機冷却水冷却器等、合計約1200箇所に及ぶ補強工事を実施しており、平成28年12月に全ての工事が完了している（図表101）。

配管サポートの耐震性補強(例)



冷却器支持脚の耐震性補強(例)



(疎丙5, 17頁, 図表18)

【図表101 耐震補強工事の例】

なお、参加人は、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700ガル) を策定したときにも、平成20年から24年にか
けて、本件発電所の配管サポート類など約250箇所について補強工事を実施し
ている。

(以上について、疎丙5, 17頁)

2 本件発電所の耐震安全上の余裕

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

（1）基準地震動による地震力に対して有する余裕

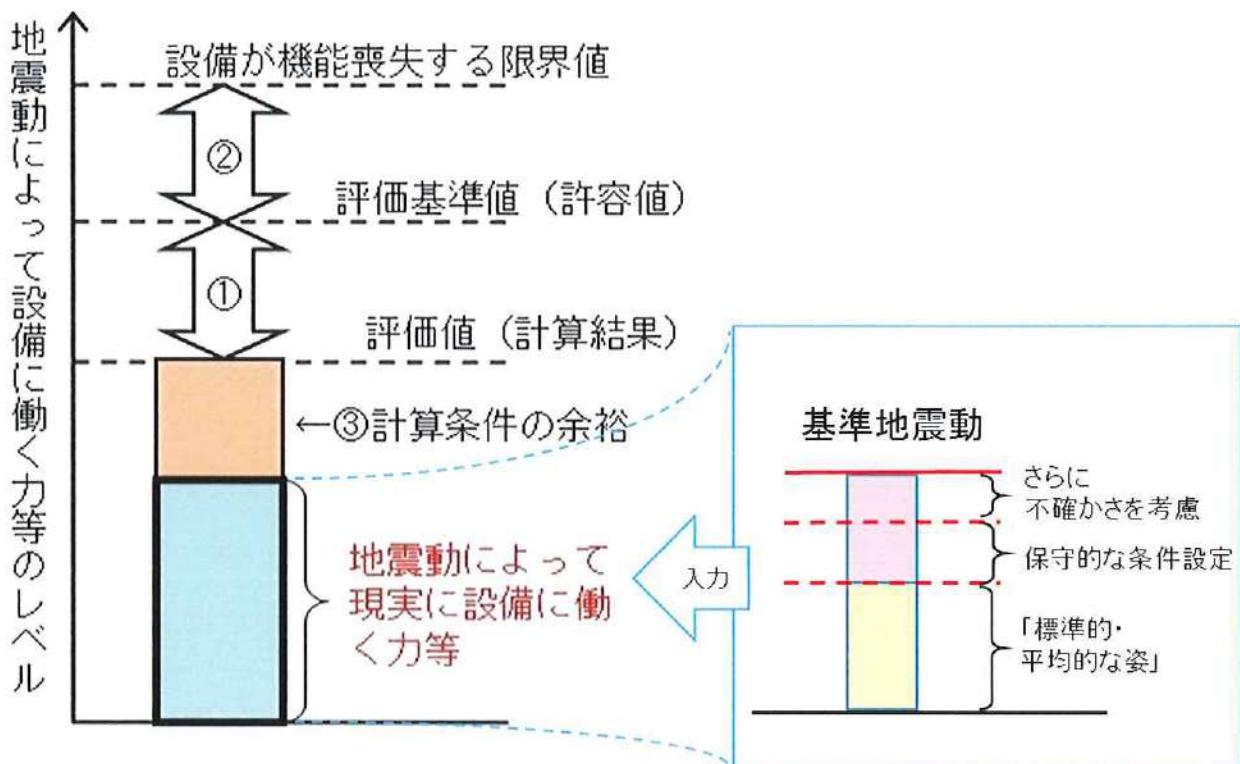
参加人は、本件発電所の各耐震重要施設について、耐震安全性評価を行い、これによって得られた評価値が評価基準値を下回ることを確認したものであるところ、この耐震安全性評価においては、耐震安全上の余裕として3つの余裕が存在する。

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102）。

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

（疎丙5、18頁、29頁）

以下、上記②及び③の余裕について述べる。



【図表102 耐震安全上の様々な余裕のイメージ】

ア 評価基準値自体の持つ余裕（上記②の余裕）

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

(ア) 参加人は、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（疎丙5添付資料1）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」（同添付資料2。以下、「JEAG4601-1984」という）に基づいて設定している。

(イ) まず、建物・構築物の評価基準値は、JEAG4601-1987に定められているところ、同指針には、A s クラス（新規制基準における耐震重要度分類

S クラスに相当) の施設に係る耐震設計の基本方針として、「基準地震動 S_2 (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 (疎丙5添付資料 1, 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 (引用者注: ねばり) の余裕を有し、終局耐力¹⁰¹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 103, 同392頁)¹⁰²。

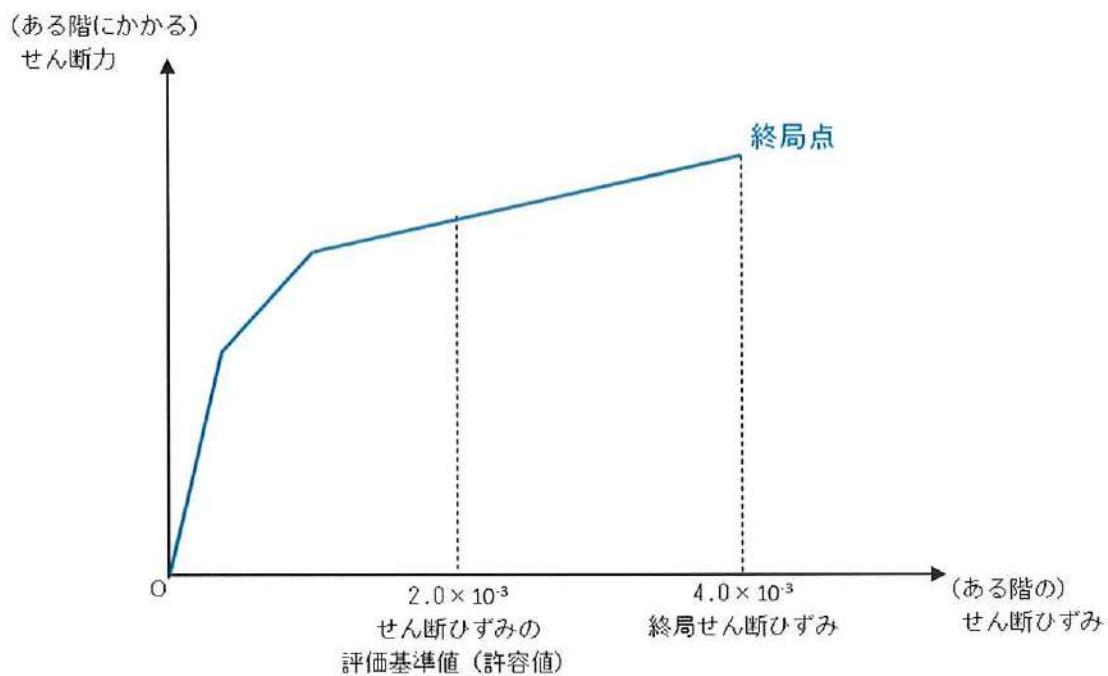
すなわち、この評価基準値は余裕を持たせた値であり、仮に基準地震動による地震力が作用した際の評価値がこの評価基準値に等しくても、実際に耐震壁がせん断力により破壊に至るまでにはなお余裕が存在することとなる。

(以上 (イ) について、疎丙5, 18~19頁)

¹⁰¹ 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 (疎丙5添付資料 1, 275頁)。

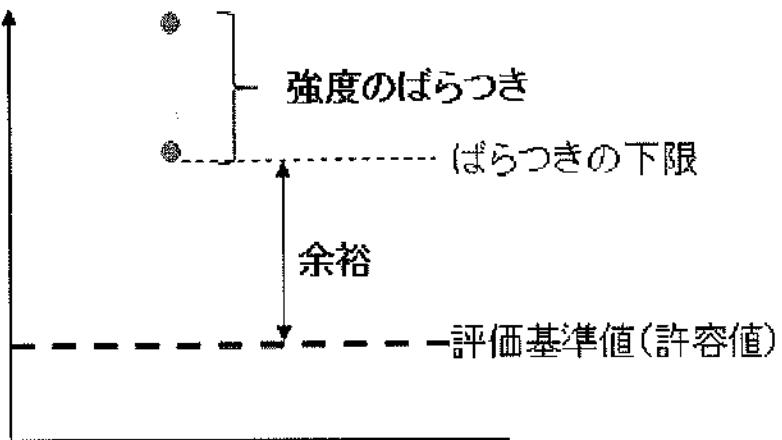
¹⁰² 建物の、ある階の鉄筋コンクリート耐震壁に水平方向の力 (地震力) が加わると、耐震壁にはせん断力がかかり、せん断変形する (上記1 (4) イ (イ) の図表 9-8 参照)。

図表 103は、耐震壁にかかるせん断力を次第に増やしていくときのせん断ひずみの増加を概念的に示したものである。せん断ひずみが大きくなるに従って鉄筋コンクリートの力学的な性質は変わるので、(一本の直線ではなく) 同図のように折れ線で表現される。図表中の終局点 (終局耐力時の状態) におけるひずみを終局せん断ひずみといい、その値はJEAG4601-1987に示されている (疎丙5添付資料 1, 392頁)。



【図表103 せん断ひずみの評価基準値（許容値）と終局せん断ひずみ】

(ウ) また、機器・配管系の評価基準値は、JEAG4601-1987に原則的事項が記載され、その詳細はJEAG4601-1984に定められているが、機器・配管系に使われる材料の材質のばらつきについては、その材料の破壊実験結果をもとに、実験値のばらつきや実験値の下限値を考慮して、これに余裕を見込んだ保守的な値が評価基準値として設定されている（図表104）。



【図表104 評価基準値（許容値）の設定における考慮】

なお、参加人は、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104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、疎丙5, 19~20頁)

イ 評価値の計算条件における余裕（上記③の余裕）

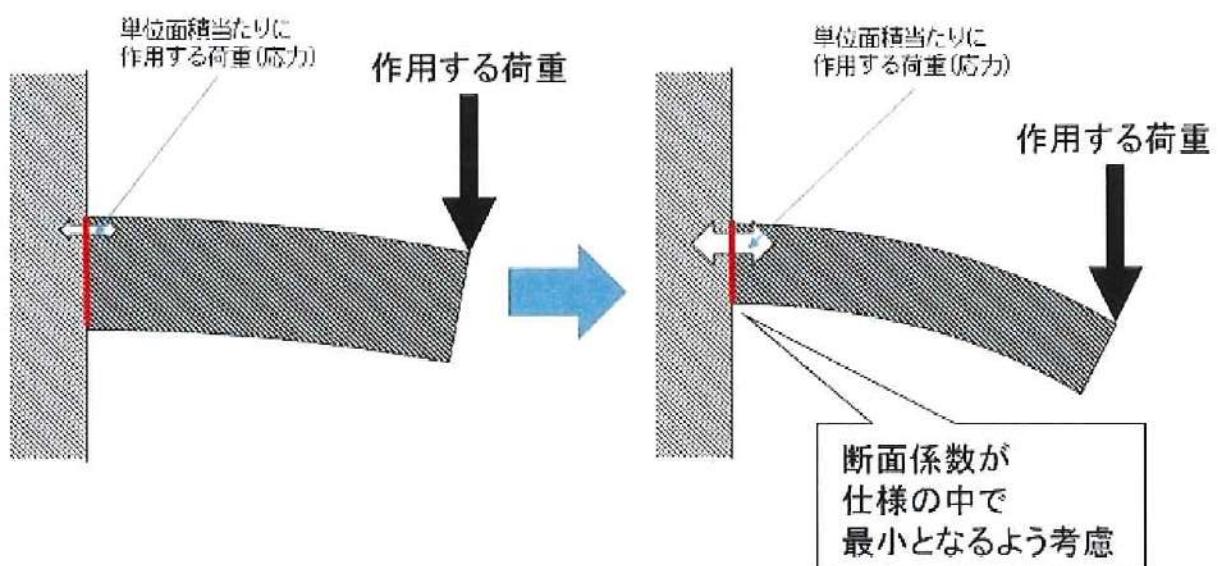
本件発電所の耐震安全性評価では、評価値を計算する過程、すなわち、地震応答解析及び応力解析を行う際にも、評価値の計算結果が保守的なものとなるよう、計算条件の設定等で様々な考慮を行っている。その結果、評価値にも余裕が存在している。

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。

(疎丙5, 11頁, 14~15頁, 20~23頁)

(ア) 解析モデルを構築する段階での考慮

a 参加人は、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）¹⁰³を用いず、製造上定められた仕様の中で最小となるような寸法を設定することで、応力解析で求める応力（単位面積当たりに作用する荷重）が大きくなるようにしている。すなわち、応力解析では、機器等に作用する荷重を断面係数（荷重を受ける断面の形状と面積により定まる値）で除して応力を求めるため、断面係数の値を小さく見積もることで応力は大きくなり、機器等にとって厳しい条件になる（図表105。疎丙5, 14~15頁, 23頁）。



【図表105 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】

b 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（疎丙5, 15頁, 23頁）。

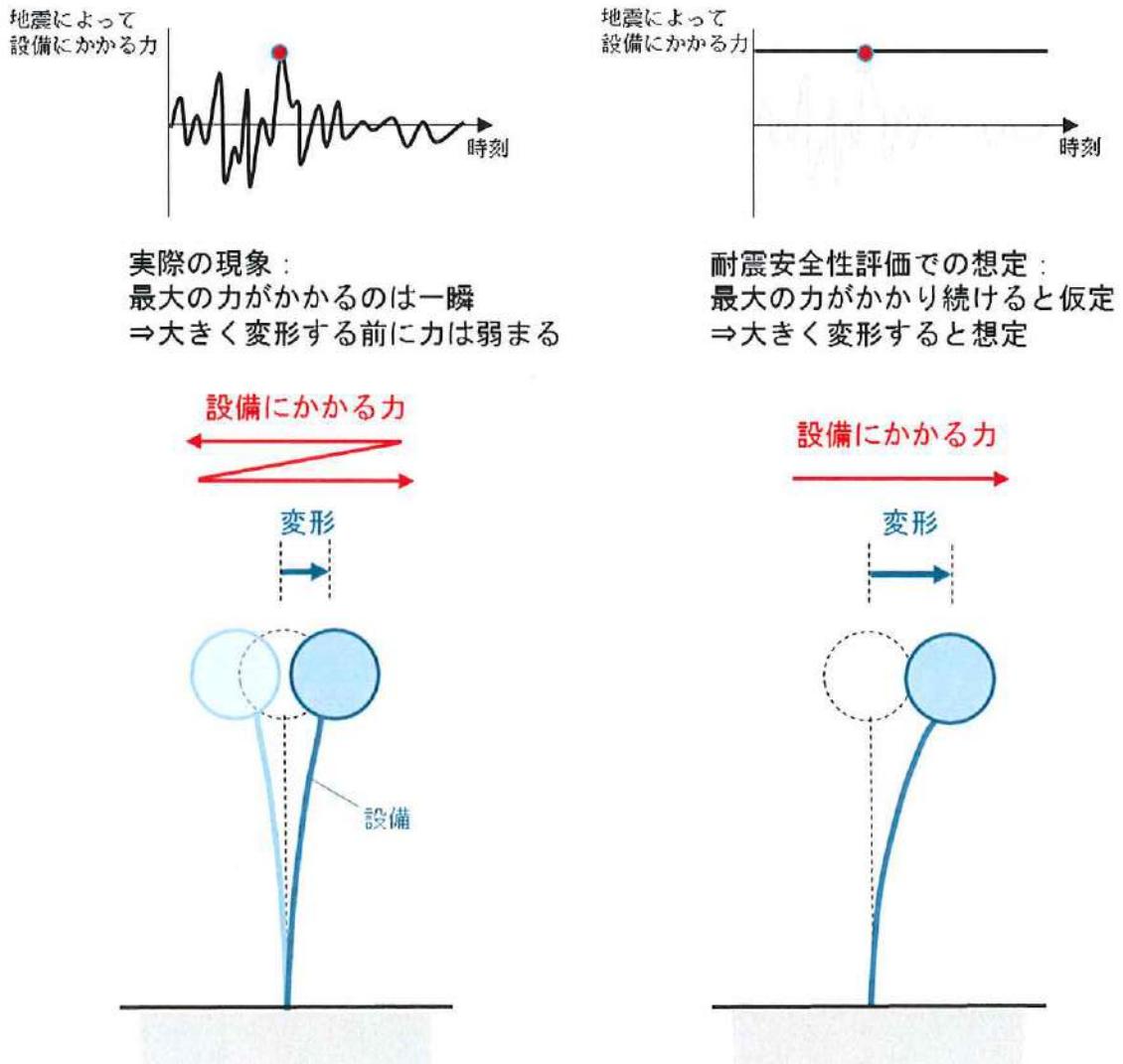
¹⁰³ 例えば、厚さ10mmの鋼板の場合、10mmが公称値であり、実際の製品にはその公差の範囲内での誤差が許容される。

(イ) 地震応答解析及び応力解析を行う段階での考慮

a 参加人は、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、別の方間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106）

（以上aについて、疎丙5、20～21頁）

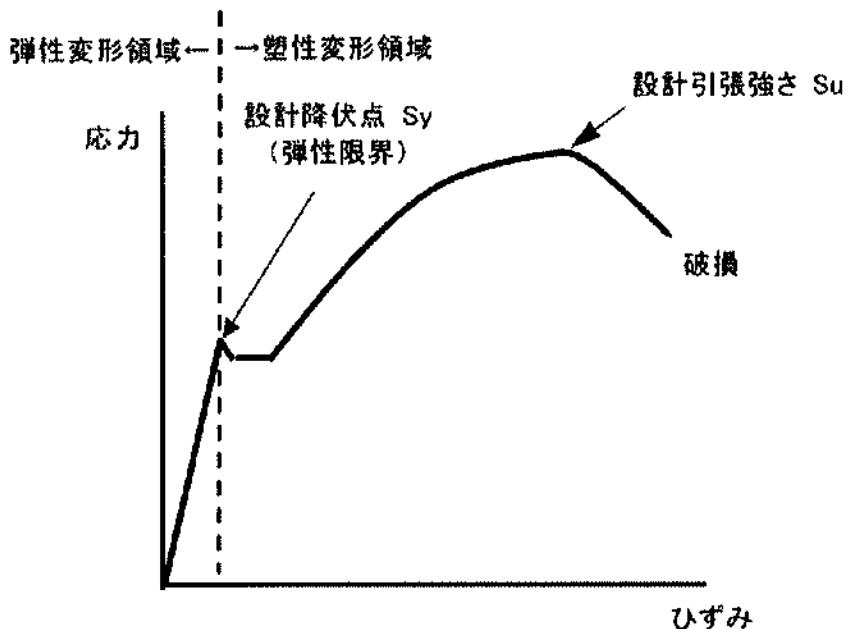


【図表106 機器・配管系の評価における力の想定】

- b また、参加人は、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¹⁰⁴）し、降伏点（弹性限界）を越えると、その変

¹⁰⁴ 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。

形は、弾性変形から塑性変形¹⁰⁵に変わる（なお、機器・配管系は、塑性変形を始めてもただちに安全機能を失うわけではなく、さらに一定の荷重を加えて塑性変形が進むことではじめて機能を失うに至る）（図表107）¹⁰⁶。



【図表107 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

¹⁰⁵ 物体に加わっている外力が取り除かれた後も元に戻らずに残る変形のことを塑性変形といふ。

¹⁰⁶ 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107である。機器・配管系に外部から荷重を加えていくと、降伏点（弹性限界。「設計降伏点 S_y 」）を超えて塑性変形領域に入り、そこからさらに荷重を加えていくと応力が最大値に達し、最終的には破損する。この応力の最大値を、引張強さ（「設計引張強さ S_u 」）といふ。

原子力発電所の機器・配管系の設計に用いる降伏点及び引張強さは、それぞれ設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u として規格（一般社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」と「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。

動エネルギーの一部が熱エネルギー等として消費される結果、振動エネルギーの総量が減少し（吸収され）¹⁰⁷、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¹⁰⁸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¹⁰⁹。これは、塑性エネルギー吸収係数を考慮した場合には、考慮しない場合に比べて、応力は約2分の1と評価できることを示している。

この点、日本電気協会が定める「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」（疎丙93）においても、この効果が見込めることが紹介されている（疎丙93、393頁）ところ、参加人は、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bについて、疎丙5、21～23頁）

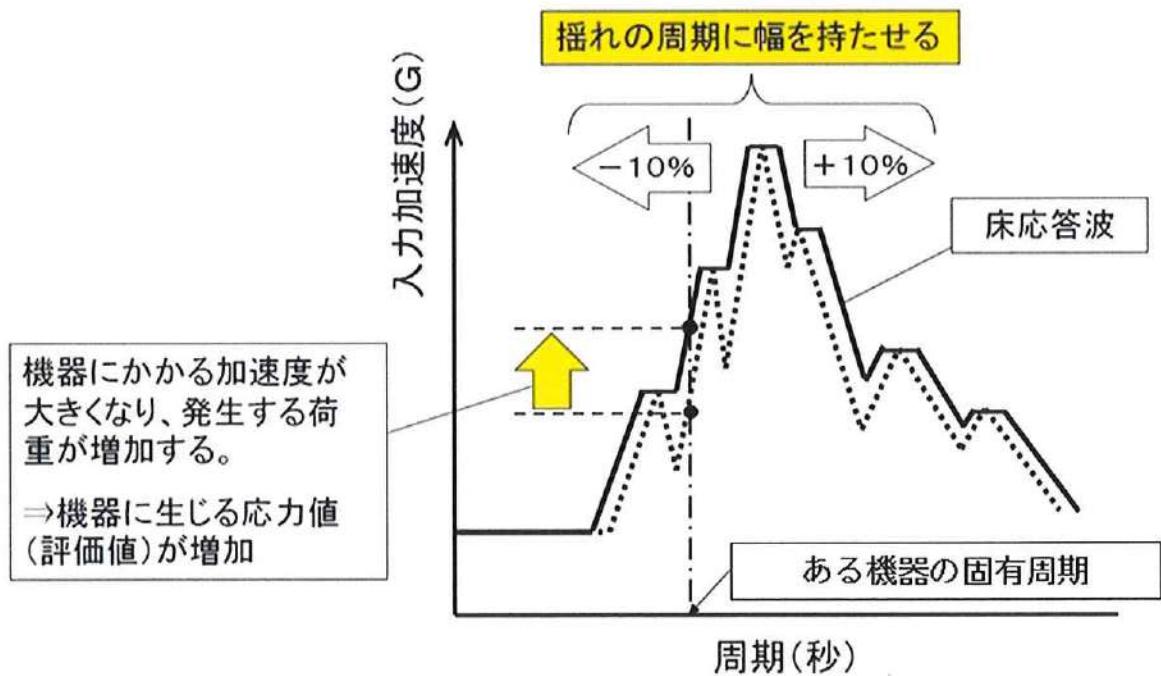
c さらに、参加人は、各階床に設置されている機器・配管系に生じる揺れ（床応答波）のスペクトル（床応答スペクトル）について、材質

¹⁰⁷ 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。

¹⁰⁸ 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。

¹⁰⁹ 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。

のばらつきを考慮し、全体的に拡幅して大きくすることで、機器等にかかる荷重を保守的に見積もるようにしている（図表108。疎丙5, 11頁, 23頁）。



【図表108 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】

ウ 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、耐震重要施設である「安全上重要な設備」がただちに安全機能を失うものではない。

このような余裕は、本件発電所に限らず、原子力施設の耐震設計体系において一般的に認められており、原子力安全・保安院が平成24年2月に作

成した「関西電力（株）大飯発電所3号機及び4号機の安全性に関する総合的評価（一次評価）に関する審査書」（疎丙7）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」（疎丙7、27頁）と明示されている。

（2）耐震安全上の余裕の実証例等

上記（1）で述べた、原子力発電所における耐震安全上の余裕が現実に存在することについては、財団法人原子力発電技術機構（当時。以下、「原子力発電技術機構」という）の多度津工学試験センターにおける原子力発電施設耐震信頼性実証試験の結果（下記ア）、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（下記イ）等からも明らかになっている。

ア 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（疎丙61、20頁、疎丙94、「原子力発電施設信頼性実証試験の現状 昭和59年」2頁、疎丙8、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要」、疎丙5、25～27頁）。

(ア) 実証試験の概要

- a 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¹¹⁰（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¹¹¹、設計手法確認試験¹¹²、限界加振試験¹¹³等が行われた（疎丙8、1~4頁）。
- b 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。

（以上 bについて、疎丙5、26頁）

¹¹⁰ 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（疎丙8、9~10頁）。

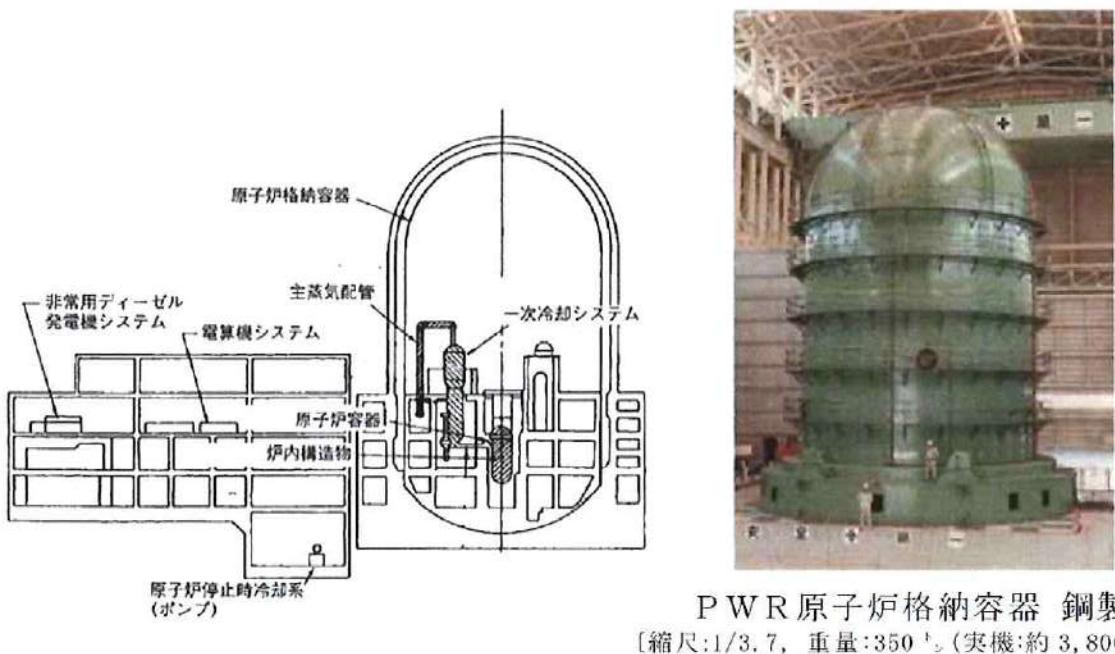
¹¹¹ 実証試験用試験体を対象として、基準地震動S₁、S₂に対する強度、機能の健全性を確認する試験。

¹¹² 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。

¹¹³ 実証試験用試験体を対象として、基準地震動S₁、S₂を超える地震力で加振し、耐震裕度を確認する試験。

(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）¹¹⁴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109を参照。疎丙8、5～6頁）。



【図表109 PWRの試験対象設備の位置及び試験体の例】

また、試験用の揺れ（入力波）については、試験体に最も大きい応答を与える、より厳しい試験が期待できる地震波が選定された。例えば、加圧水型原子炉（PWR）の原子炉格納容器については、当時運転中の全原子力発電所の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 ¹¹⁵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（疎丙8,

¹¹⁴ PWR及びBWRについては、意見書（2）第3章第1の2を参照。

¹¹⁵ 平成18年改訂後の耐震設計審査指針（疎丙28）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、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とともに、基準地震動の策定方法も高度化された。

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110（疎丙5, 26頁, 図表24）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（疎丙5, 25～26頁, 疎丙8, 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110 PWR試験対象設備に関する試験結果】

なお、図表110の「限界加振試験」の欄において「機能喪失」と記載していないものについては、試験体が機能喪失した際の最大加速度ではなく、振動台が加振性能限界に達した際の最大加速度であり、当該試験体がそれ以上の耐震安全上の余裕を有していることを示している。これは、できるだけ実機に近い大規模な試験体での試験が指向されたため、振動台の加振性能限界から、強度実証試験の揺れ（入力波）の最大4倍程度までの加振が限度となつたが、この程度の揺れでは試験体が機能喪失しなかつたのである。

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

加速度557ガルの約6倍である。

(工) 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（疎丙8）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」（疎丙8、まえがき）とされている（疎丙5、27頁）。

イ 新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の原子炉機器の健全性

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

a 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¹¹⁶にもかかわらず、安全上の重要機器に外観上の大きな損傷は認められなかった。

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

この検討のうち、平成20年度の検討成果を中間的な報告として取りまとめたのが「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成20年度 中間報告」（疎丙5添付資料6）である。

b 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（疎丙5添付資料6、7-1頁）。

（以上（ア）について、疎丙5、27頁）

（イ）国際原子力機関（IAEA）の調査報告書

柏崎刈羽原子力発電所については、国際原子力機関（IAEA）の調査報告書においても、同発電所の安全上重要な施設に被害が見られなか

¹¹⁶ 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。

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。（疎丙9、「原子力安全白書（平成19・20年版）」13頁、疎丙5、27頁）

ウ　まとめ

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

第10 結語

以上のとおり、参加人は、設置許可基準規則等の新規制基準の要求事項を踏まえ、最新の科学的・専門技術的知見をもとに様々な保守性も考慮して、本件発電所の地震に対する安全性を確保するのに十分な大きさの基準地震動を策定し、耐震安全性評価を行っており、本件発電所の地震に対する安全性は確保されている。

以上

別紙：FO-A断層及びFO-B断層の調査・評価についての拡大図

別紙図表1 FO-A断層に関する調査結果（疎丙62号証172頁の図）

（第4の2（2）エ（ア）の図表29を拡大したもの）

別紙図表2 FO-B断層に関する調査結果（同176頁の図）

（同図表30を拡大したもの）

別紙図表3 FO-A断層及びFO-B断層の評価（同177頁の図）

（同図表31を拡大したもの）