



平成24年(行ウ)第117号 発電所運転停止命令義務付け請求事件

原告 134名

被告 国

参加人 関西電力株式会社

準備書面 (1)

平成30年6月6日

大阪地方裁判所第2民事部合議2係 御中

参加人訴訟代理人 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

目 次

第1	はじめに	7
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	29
第4	地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	32
1	敷地周辺の地震発生状況の調査・評価	34
(1)	設置許可基準規則等	34
(2)	参加人による調査・評価	34
2	活断層の分布状況の調査・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	37
ア	震源断層と地表地震断層	37
イ	本件発電所の敷地周辺地域の特性	41
ウ	調査の具体的内容	45
(ア)	文献調査	45
(イ)	陸域及び海域における調査	46
(ウ)	小括	50

エ	各断層の具体的な評価	51
(ア)	FO-A～FO-B断層	51
(イ)	熊川断層	54
(ウ)	FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動	56
(エ)	上林川断層	63
(オ)	小括	65
オ	活断層の分布状況と検討用地震の候補	65
3	地震動評価に影響を与える地域特性の調査・評価	68
(1)	設置許可基準規則等	69
(2)	参加人による調査・評価	69
ア	震源特性	69
(ア)	断層の位置・長さ	70
(イ)	断層の傾き(断層傾斜角)	70
(ウ)	断層の幅(地震発生層の深さ)	71
(エ)	小括	76
イ	伝播特性	76
(ア)	幾何減衰	76
(イ)	内部減衰	77
(ウ)	小括	77
ウ	地盤の増幅特性(サイト特性)	77
(ア)	浅部地盤の速度構造に関する調査	79
(イ)	深部地盤の速度構造に関する調査	80
(ウ)	小括	81
エ	まとめ	82
第5	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価	83
1	検討用地震の選定	85

(1) 設置許可基準規則等	85
(2) 本件発電所における検討用地震の選定	85
2 応答スペクトルに基づく地震動評価	87
(1) 設置許可基準規則等	87
(2) 本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」	88
ア 距離減衰式の選定	88
(ア) 「耐専式」の選定	88
(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）	91
イ FO-A～FO-B～熊川断層の地震動の応答スペクトル	94
ウ 上林川断層の地震動評価	98
3 断層モデルを用いた手法による地震動評価	105
(1) 設置許可基準規則等	106
(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」	107
ア 参加人の評価手法の概要	107
イ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）	109
(ア) 各パラメータの設定	109
(イ) その他のパラメータ設定	119
ウ 地震波の伝播特性，地盤の増幅特性（サイト特性）の評価	122
エ 地震動評価結果	123
第6 「震源を特定せず策定する地震動」の評価	126
1 設置許可基準規則等	126
2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価	127
(1) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル	127
(2) 地震ガイドに例示されている16地震	129
ア Mw6.5以上の2地震	130
イ Mw6.5未満の14地震	131

ウ	地震動評価結果.....	133
第7	基準地震動の策定.....	135
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.....	135
(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	135
(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.....	137
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.....	139
3	小括.....	140
第8	基準地震動の年超過確率.....	142
1	設置許可基準規則等.....	142
2	本件発電所の基準地震動の年超過確率.....	143
第9	結語.....	145

第1 はじめに

1 原告らは、平成29年9月21日付訴えの変更申立書（以下、「原告ら訴えの変更申立書」といい、他の準備書面の略称もこの例による）において、原子力規制委員会による平成29年5月24日付大飯発電所3号機及び4号機（以下、「本件発電所」という）の設置変更許可処分（以下、「本件設置変更許可処分」という）の違法事由として、「基準地震動の評価値の過小評価（設置許可基準規則4条3項違反）」（原告ら訴えの変更申立書第2章第5の1，6頁）を主張する。

しかし、参加人は、原子力発電所の基本設計に係る審査基準である設置許可基準規則¹等の新規制基準の要求事項（被告第5準備書面15～19頁，被告第9準備書面7～13頁，被告第16準備書面11～14頁等）を踏まえ、最新の科学的・専門技術的知見を基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（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）を策定している。そして、そのように策定した基準地震動について、原子力規制委員会から、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることの確認を受けている（乙81，21頁）。

2 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設置変更許可処分に係る許可申請の内容）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

¹ 正式には、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」である。

7), 及び基準地震動の年超過確率 (下記第 8) について順次述べる。

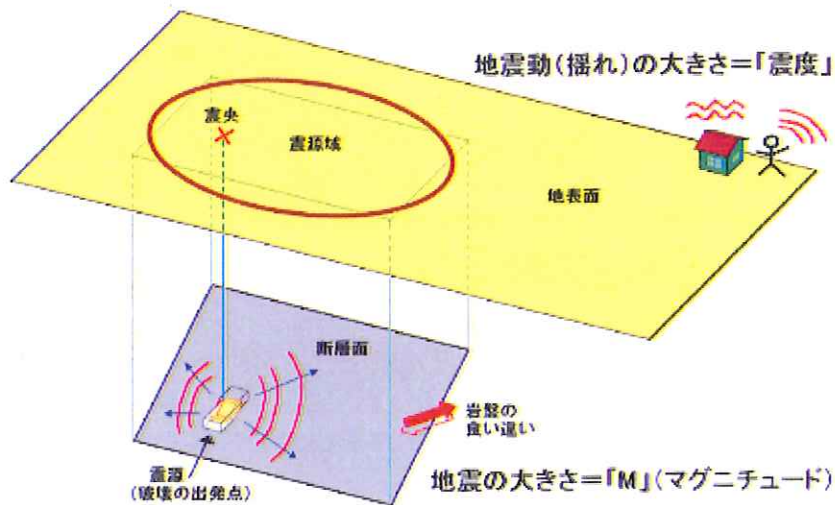
第2 地震及び地震動に関する基本的事項

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せ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²」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。

² 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、その下にあるマンツルの対流によって、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）。

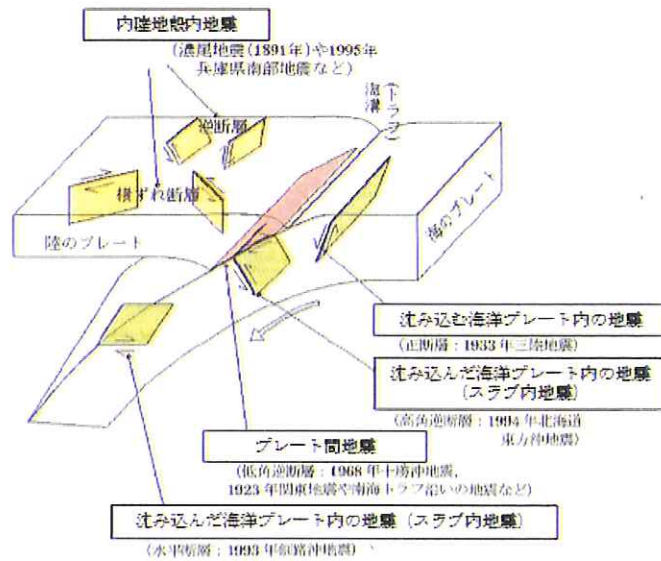


【図表2 日本列島周辺のプレート】

(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³」という（図表3）。

³ 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。

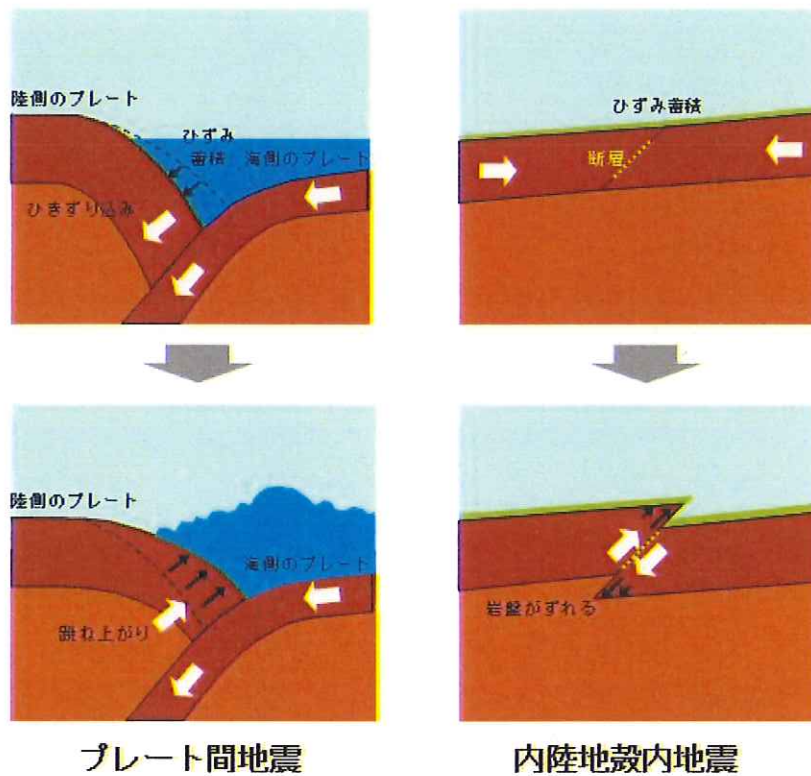


【図表 3 地震発生様式による地震の分類】

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、プレート同士の間押し合う力が働く。②それを受けて、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。



プレート間地震

内陸地殻内地震

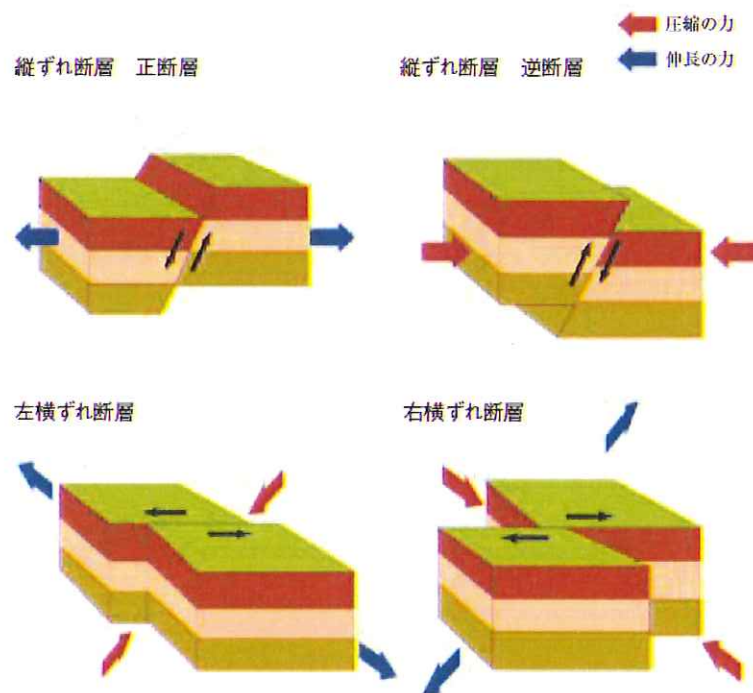
【図表4 地震発生のメカニズム】

(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の上に乗っている岩盤（上盤）がずり下がる場合を「正断層⁴」（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，

⁴ 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）を押し込む形で（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。

右下) という。



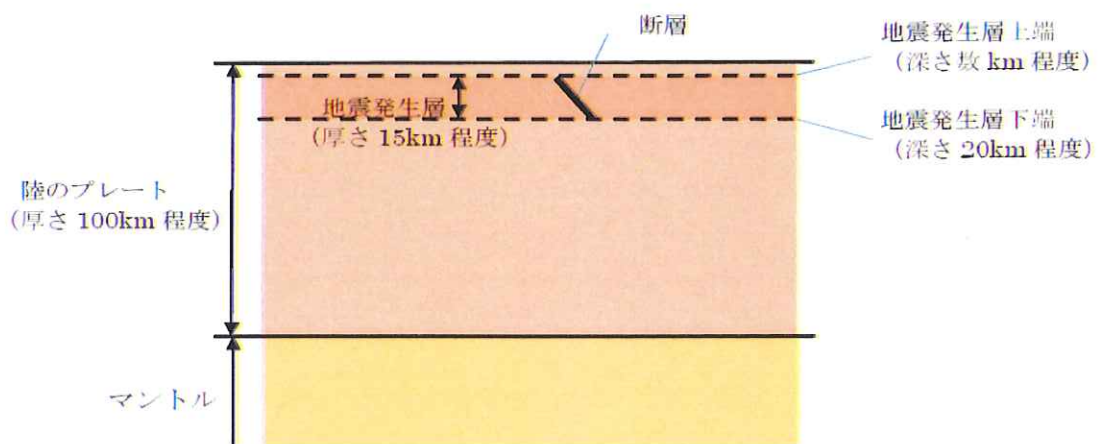
(地震調査研究推進本部ウェブサイトより)

【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(丙1、「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。

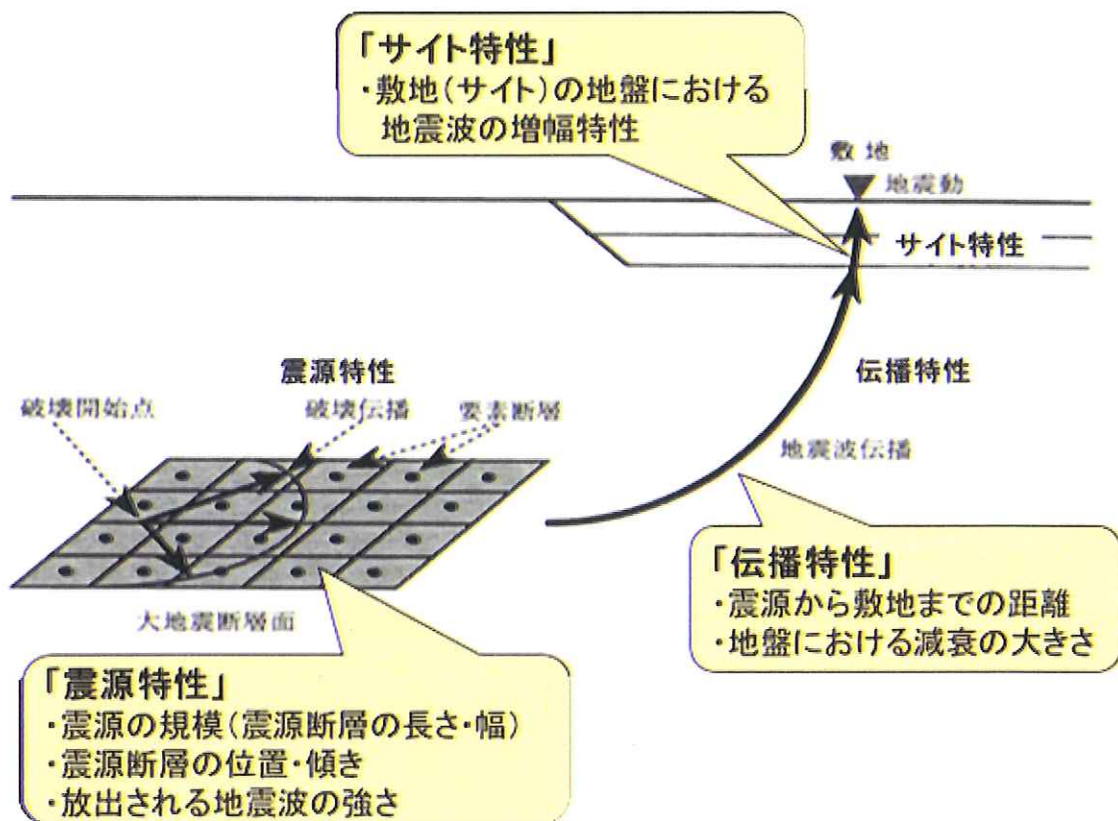
すなわち、内陸地殻内地震は、岩盤がずれ動くことにより発生するものであるから、地震波を放出するためのエネルギー（ひずみ）が蓄えられる環境でなければ発生しない。この点、「陸域では、地震を発生させるような硬さを持つ岩盤が存在するのは、せいぜい地下15～20km程度の深さまでで、それより深いところでは、岩盤に力がかかっても急激な破壊は起こさず、ゆっくり変形してしまうと考えられて」おり、「陸域で発生する規模の大きな地震は、その震源が20km程度より浅くなる（丙2、「日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－」，22頁右段，(2)第1段落）。他方、地表から深さ数km程度までの部分も、地震を発生させるよ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地盤の増幅特性（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⁵）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⁶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。

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

⁵ 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。

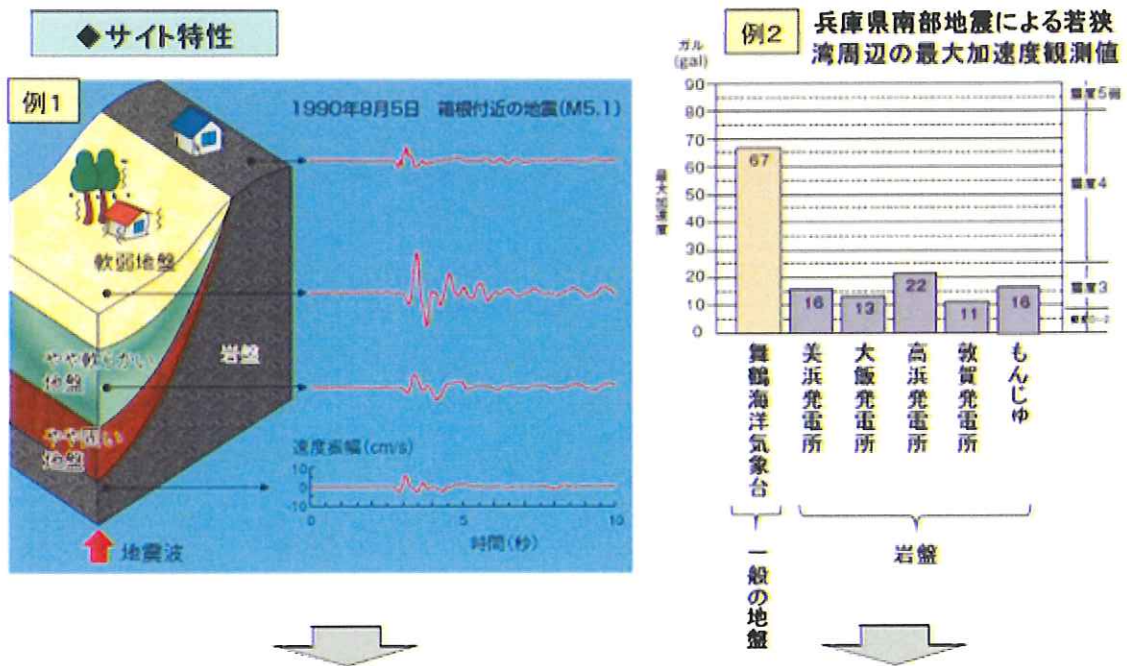
⁶ 破壊伝播速度とは，断層の破壊開始点から，破壊が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。破壊伝播速度が上がると，短い時間で震源断層上の破壊が完了するため，より短い時間に多くの地震波が評価地点に到達することとなり，当該地点により大きな地震動をもたらすことになる。

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⁷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⁸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)(丙3,「地震と建築」,135頁)。岩盤上の観測地震波と軟弱地盤上の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生じる場合もある(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。

⁷ 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。

⁸ 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時、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。

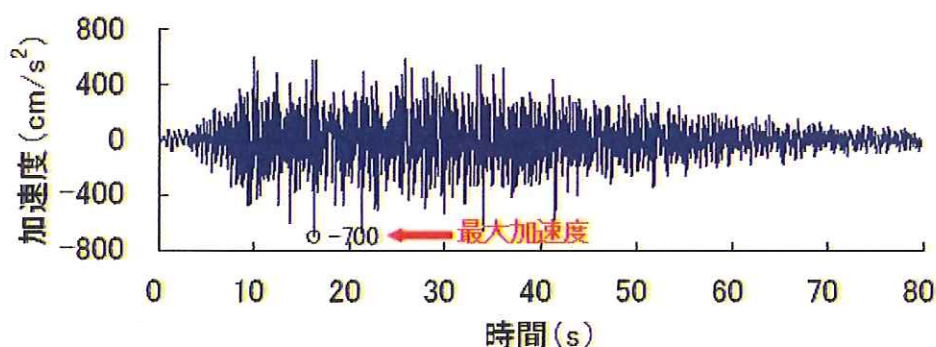
【図表 8 地盤の増幅特性（サイト特性）の例】

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、横軸に時間を取り、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)



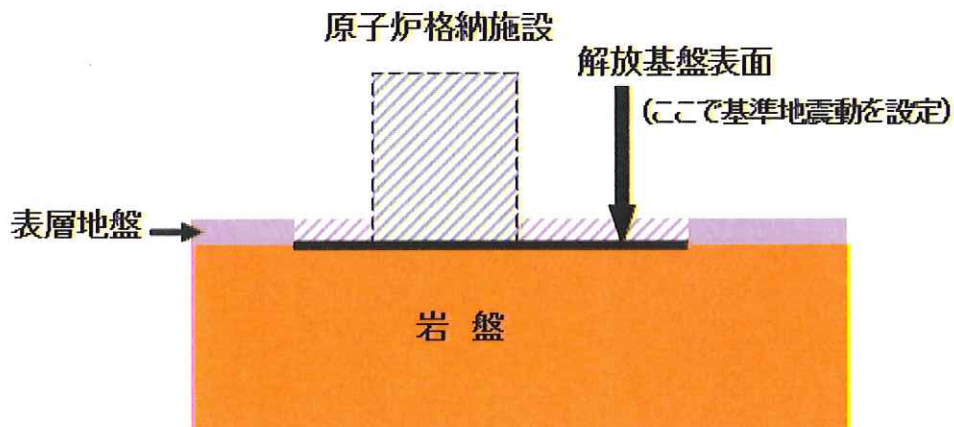
【図表9 加速度時刻歴波形の例】

- (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、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう上記の『基盤』とは、おおむねせん断波速度 $V_s = 700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないもの」とされている（設置許可基

準規則解釈別記2第4条5項1号，乙44，126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）。



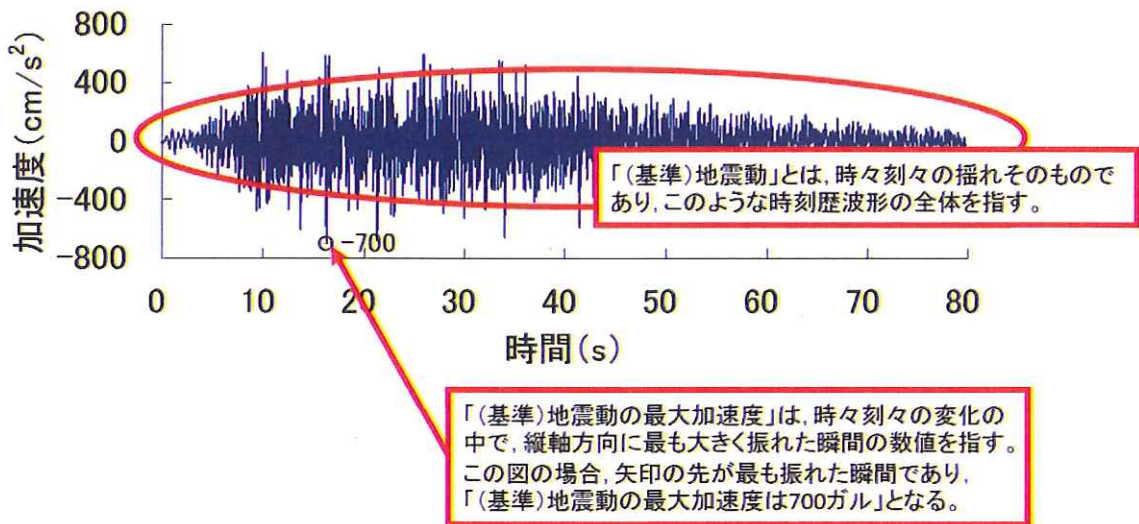
【図表10 本件発電所の解放基盤表面の模式図】

(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，揺れが始まってから15秒付近で瞬間的に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から明らかなおとおり，最大加速度を観測する時間の前後で数十秒間揺れが生じており，これらの揺れも原子力発電所に影響を与える。耐震安全性評価に用いる基準地震動は，この揺れ全体を指すのであり，「基準

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。

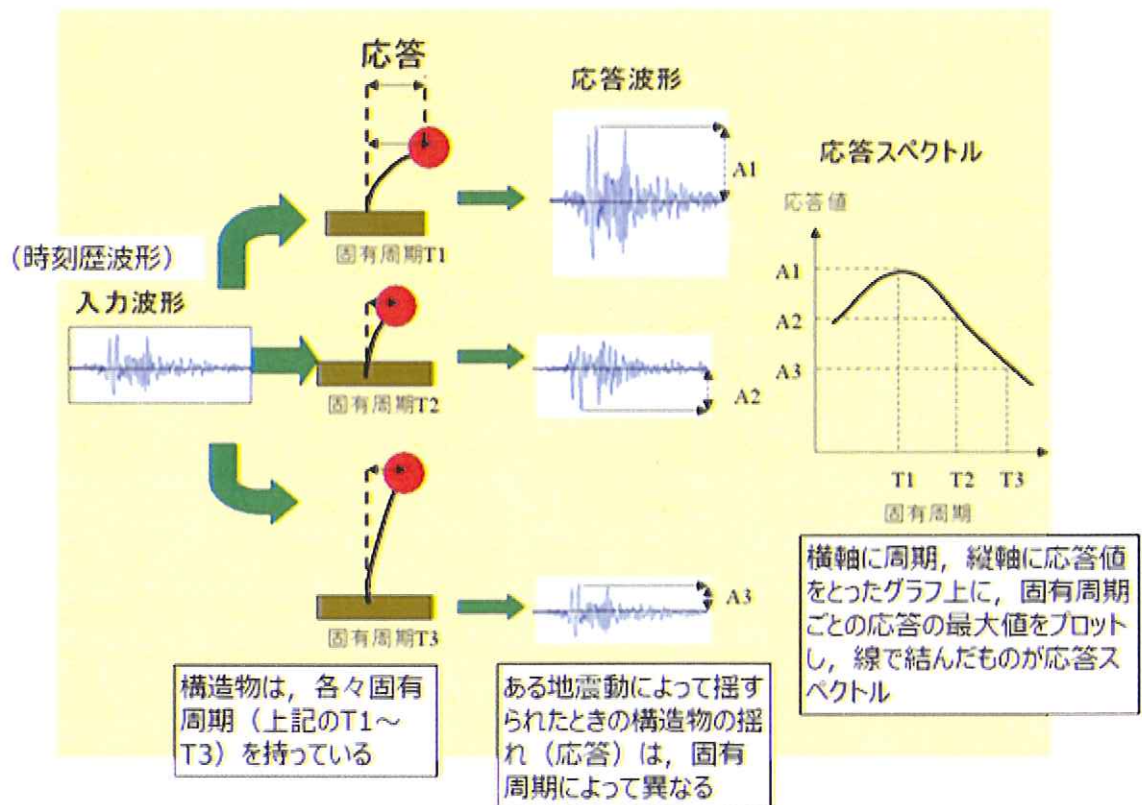
地震動の最大加速度」は、基準地震動の姿を評価するための数値の一つに過ぎない。



【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の一部加筆)

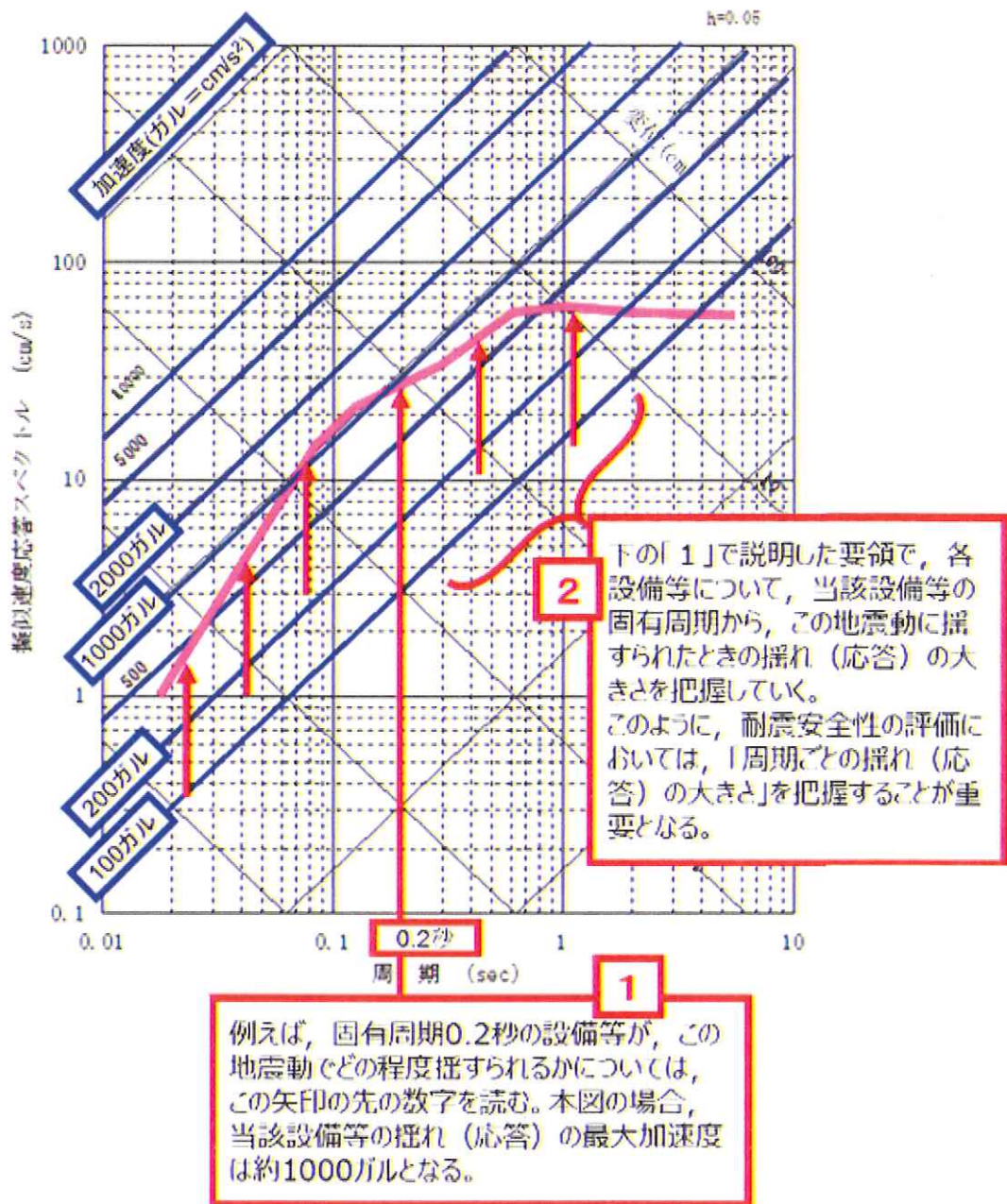
【図表 1 2 応答スペクトル】

(2) 応答スペクトルの一例を図表 1 3 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/s^2), 右下がりの斜線は構造物の揺れの変位 (揺れ幅, 単位: cm) の目盛りである。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「トリパタイト図」という。

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

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

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

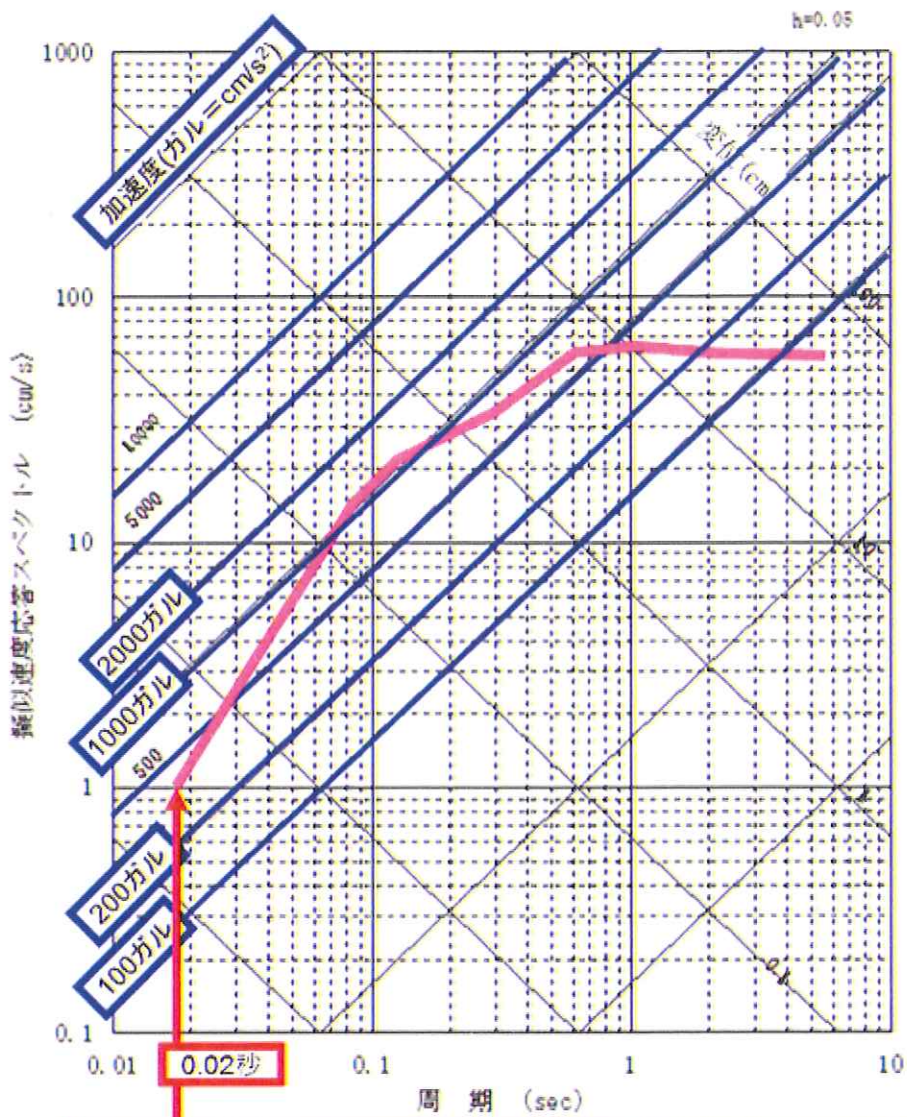


【図表 1 3 周期ごとの揺れ（応答）の値の読み取り】

(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は、上記(2)で述べたとおり、応答スペクトル全体の、周期ごとの揺れ(応答)の値の大小を読み取ることが重要である。



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

【図表 1 4 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

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

このような考え方の下、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。

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た。

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、乙44、10頁、120頁、122～123頁）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。また、重大事故等対処施設（設置許可基準規則2条2項11号、乙44、5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

¹⁰ 設置許可基準規則39条（乙44、82～83頁）において、常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設、及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（いずれも特定重

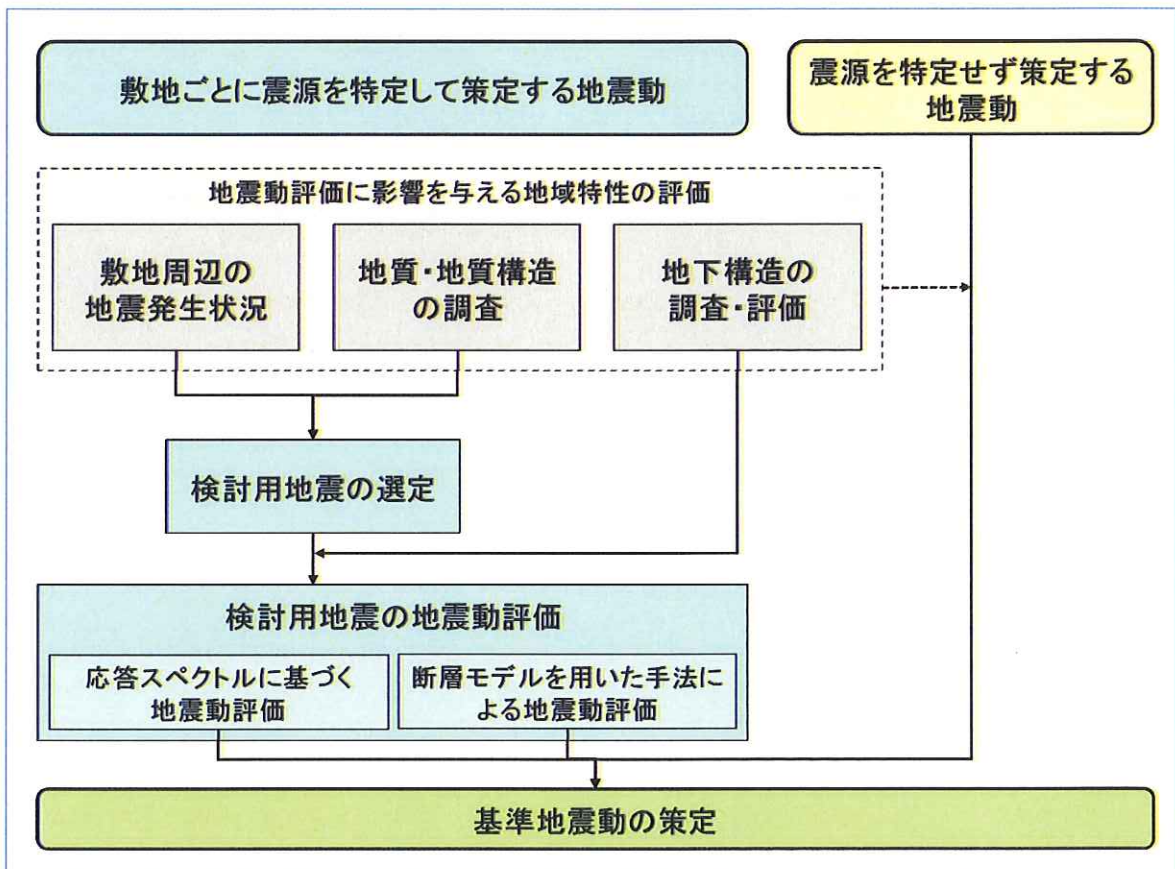
とで、重大事故等に対処できるようにしている。

以下、本書面では、地震に対する安全確保対策のうち、本件発電所の基準地震動の策定について述べる。

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、乙44、82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（乙44、82頁）、耐震重要施設に係る扱いに準じるものとされている。

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

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，乙44，126～129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，乙44，126～129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」を評価する（同規則解釈別記2第4条5項3号及び4号，乙44，128～129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，乙44，126頁）。

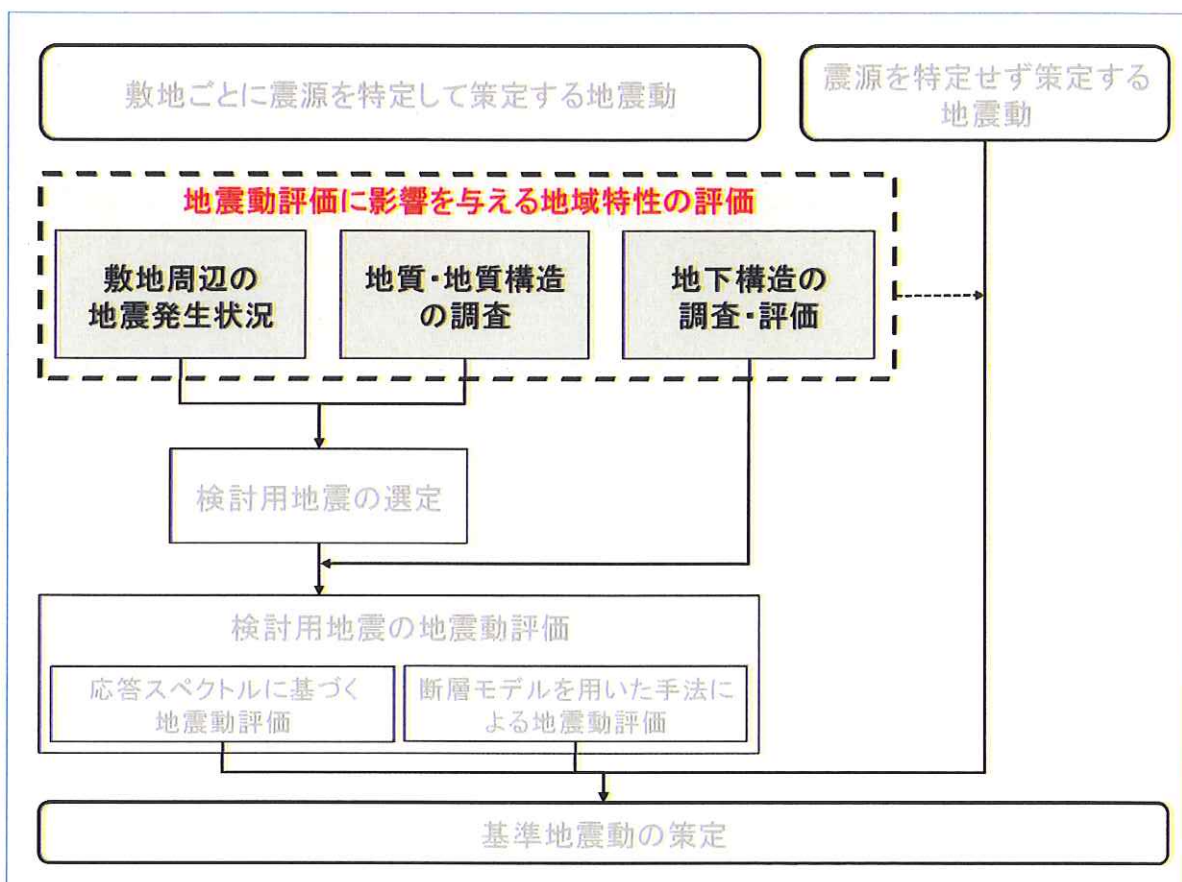
策定した基準地震動については、確率論的な観点からいかなる水準にあ

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，乙44，129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，乙44，11頁，82頁，129～131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」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、発電所敷地周辺の地域性を適切に考慮することが重要となる。そのためには、まず、発電所敷地周辺において、地震及び地震動に関する様々な調査・評価を行うことが必要となる。

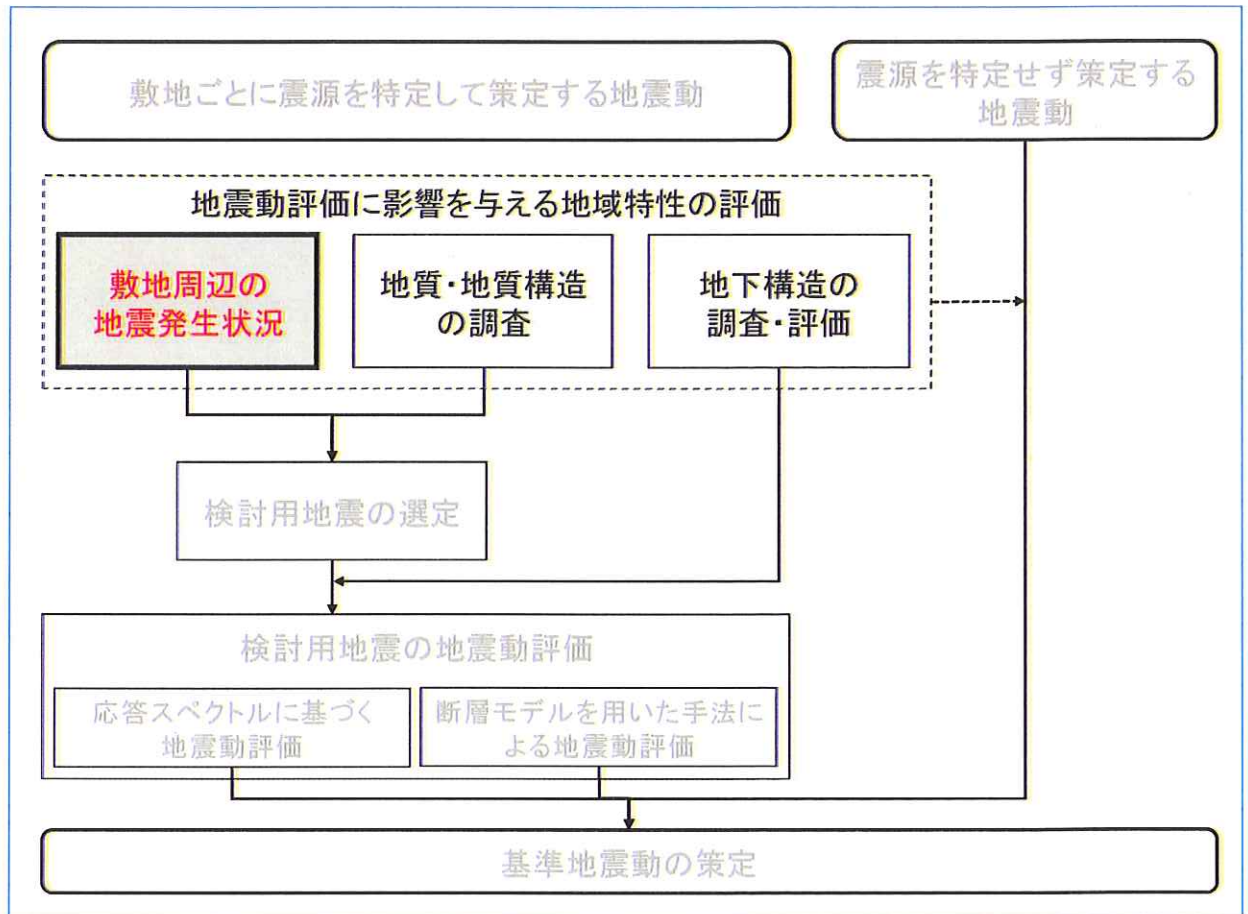
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に際しては、検討用地震を選定する必要がある。このため、参加人は、本件発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等について詳細な調査・評価を実施し（下記1及び2）、検討用地震の候補を抽出した。

このほか、参加人は、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、発電所敷地周辺の地域性を把握するための詳細な調査・評

価を行った（下記3）。

以下では、本件発電所の基準地震動の策定に関して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、乙44、127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¹²、気象庁地震カタログ¹³、宇津カタログ（1982）¹⁴等か

¹² 宇佐美龍夫ほか『日本被害地震総覧599-2012』東京大学出版会

¹³ 気象庁「地震年報2011年版」

ら、本件発電所からの震央距離¹⁵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 V¹⁶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 1 6）。

（以上について、丙 4、「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，丙 5，「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)

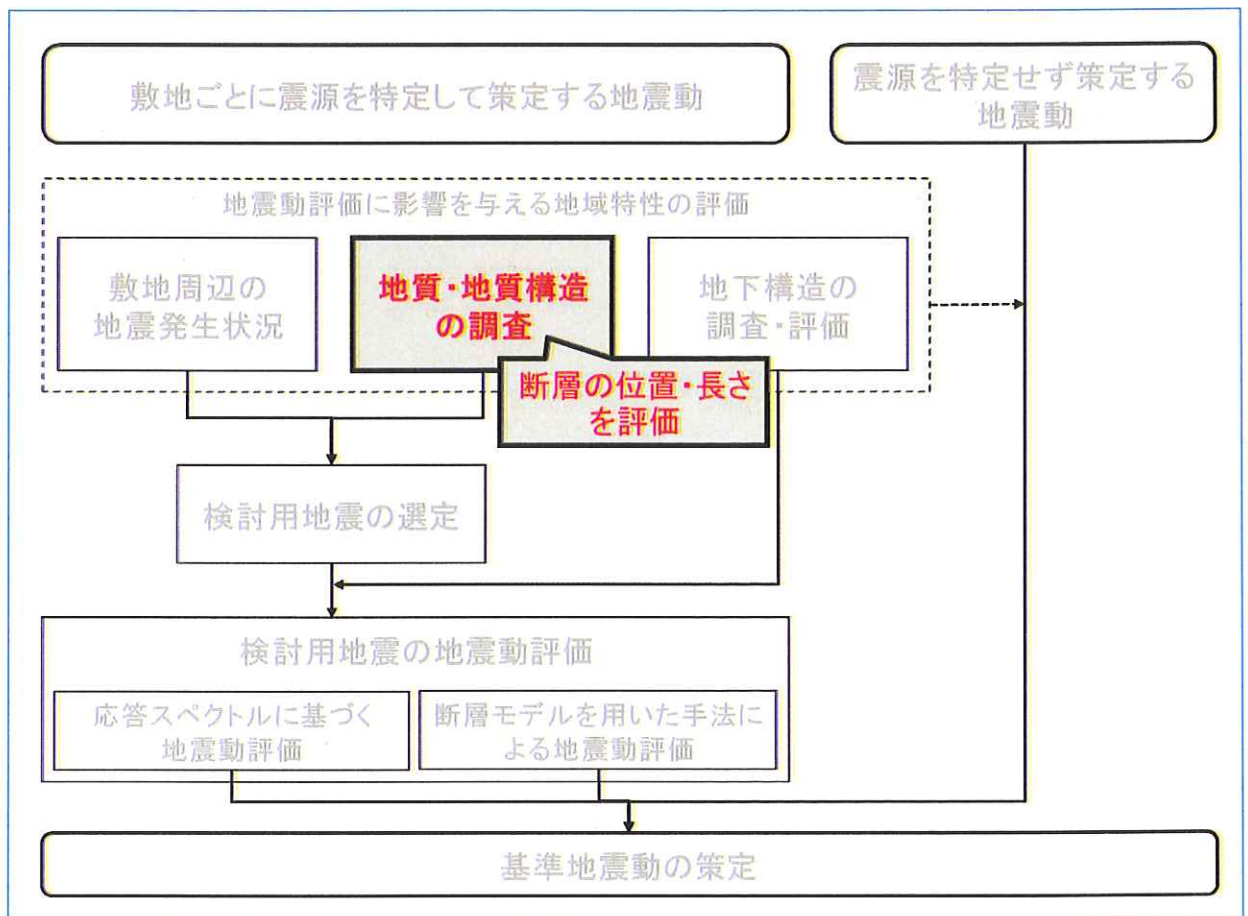
【図表 1 6 検討用地震の候補とした過去の被害地震】

¹⁴ 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

¹⁵ 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（10頁の図表 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。

¹⁶ 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，乙44，120～121頁）、「震源として考慮する活断層の評価に当たっては、調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、

変動地形学的調査，地質調査，地球物理学的調査等の特性を活かし，これらを適切に組み合わせた調査を実施した上で，その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号②i），乙44，127頁）。

そして，「基準地震動の策定に当たっての調査については，目的に応じた調査手法を選定するとともに，調査手法の適用条件及び精度等に配慮することによって，調査結果の信頼性と精度を確保すること」を求めている（同項4号，乙44，129頁）。

また，震源断層の長さ等の「基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ」については，「敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で，必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること」を求めている（同項2号⑤，乙44，128頁）。

（2）参加人による調査・評価

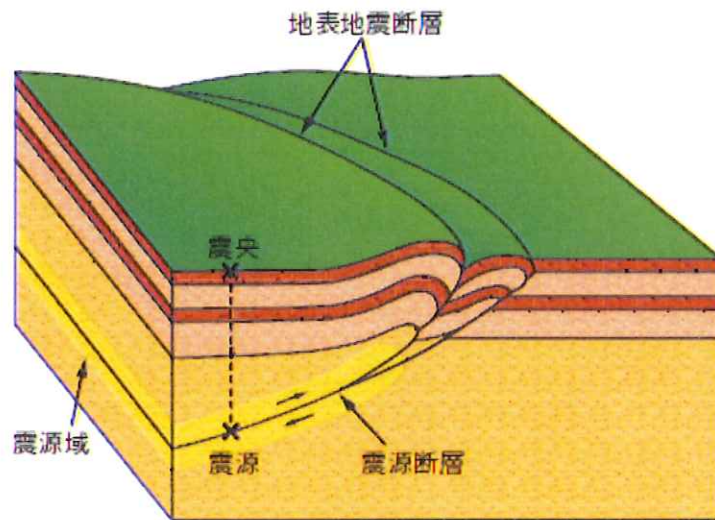
ア 震源断層と地表地震断層

（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（断層のずれが起こる）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ずれを「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 1 7 震源断層と地表地震断層】

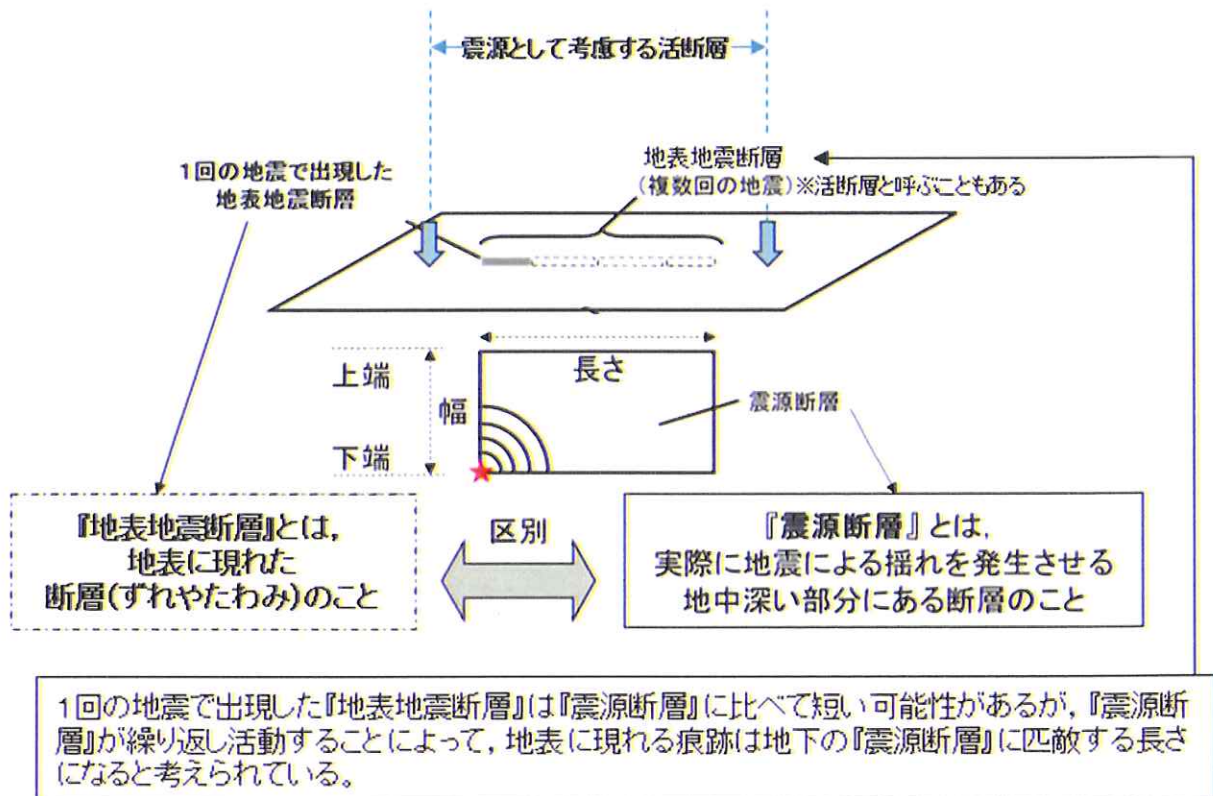
（イ）上記のとおり、震源断層は地下の深い部分にあるため、その位置や長さを直接調査することはできない。

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

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

れているのである（図表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ものであり、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 震源断層と地表地震断層との関係】

(ウ) 断層が繰り返し地震を起こすことで地表に現れたずれやたわみが蓄積し明瞭な痕跡が現れることは、上田(2003)¹⁷(丙7)の実験結果によっても実証されている。

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

¹⁷ 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、丙6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。

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¹⁸。

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

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

¹⁸ 具体的には，上田（2003）は，砂の入った土槽の底面（震源断層に相当するもの）を少しずつ横ずれさせて，地表面の写真撮影やX線CT撮影等を行う実験を行った結果（丙7，4頁右段3～8行目），底面を繰り返し横ずれさせていくにつれて，地表面に，リーデルせん断（底面のずれと並行するずれ），膨らみ，バルジ（小さな丘），溝状地等の順に，より明瞭な痕跡（地表地震断層に相当するもの）が形成されていくことが明らかにされている（同13頁図5）。そして，かかる実験と，実際の横ずれ断層系（糸魚川－静岡構造線活断層系の釜無山断層群及び牛伏寺断層群，サンアンドレアス断層（Carrizo平原地域））の断層変位地形との比較の結果，実験で明らかとなった地表面の変形過程（底面を繰り返し横ずれさせると，より明瞭な痕跡が現れるという過程）は，実際の地盤への適用性が高いと結論付けられている（同14頁右段8～19行目）。

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」(丙8、「地震がわかる!Q&A」10頁)といった説明は、このことを表している。)

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

イ 本件発電所の敷地周辺地域の特性

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

(イ) 本件発電所敷地周辺地域を含む中部地方や近畿地方は、日本列島の中でも明瞭な活断層が特に多く分布していることが確認されている地域の一つである。両地域の地域性に関して、岡田(2002)¹⁹(丙9)は、「中部や近畿地方では、累積変位量(引用者注:活断層の活動によって生じたずれの総量をいう)の大きな明瞭な活断層が密に発達する。これらの地域では・・・大規模な活構造(同:活断層等の活動による地形をいう)は内帯(同:中央構造線を境に、日本海側を内帯、太平洋側を外帯という)の全域に発達」(丙9,30頁右段,10),1~6行目)している²⁰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

¹⁹ 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、丙6号証の9頁左で引用している論文である。

²⁰ 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、断層破砕帯

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（下記エ（ア））の場合、図表26（別紙図表3）²¹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、丙6）

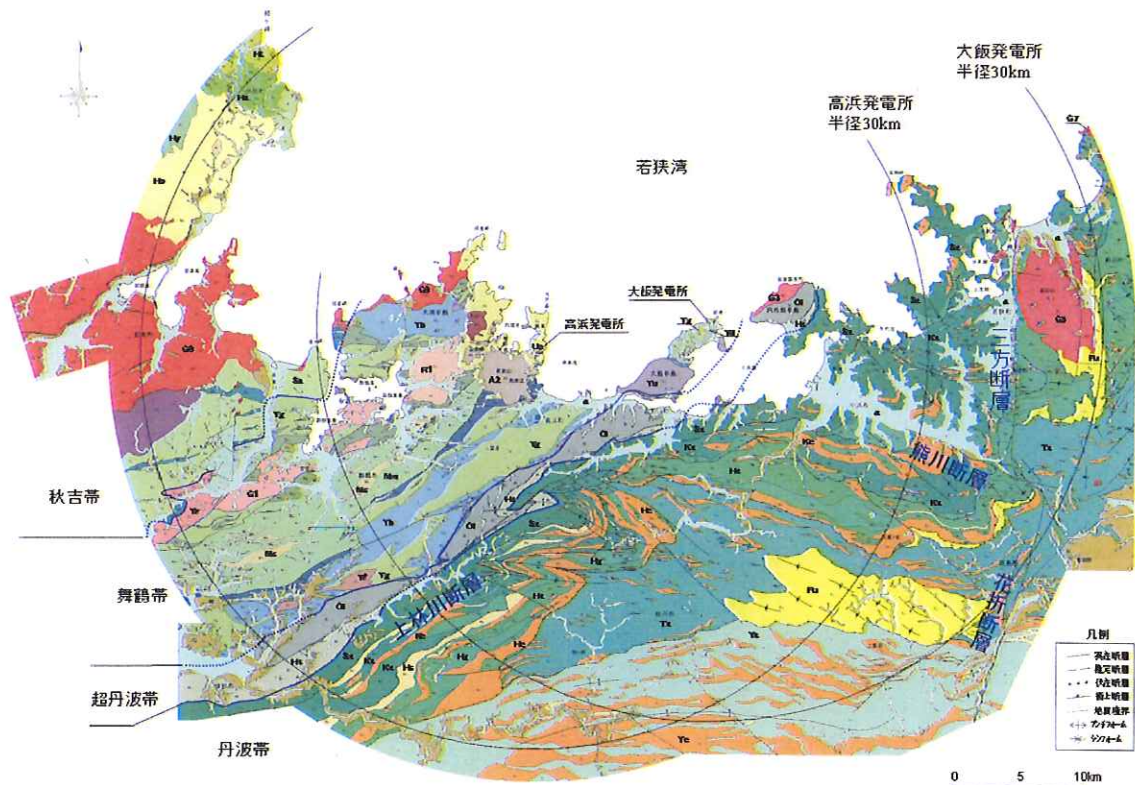
（ウ）ところで、地下深くに位置する震源断層がずれても、地表付近の地層が軟らかければ、地下で生じたずれは、その地層で複数の小さいずれに分岐するなどして地表に痕跡が現れにくくなる。そのため、活断層を評価する際には、活断層の発達過程のみならず、地表付近の地層

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）は大きくなると、活動間隔も長いことから、断層活動の開始時期も中部や近畿地方よりも遅いことが示唆されるとし（丙9、30頁左段、2）、山陰地域と中部や近畿地方は著しく異なる地体構造域となっているとしている（同頁右段、10）6～7行目）。なお、地体構造域とは、地震の規模と頻度の関係、震源深さの分布、震源メカニズム等の地震の起こり方に共通性が認められる領域をいう。

²¹ 図表26にかかわる調査・評価については後記エ（ア）で述べる。

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ためであり、震源断層が把握しづらくなるようなことはない。



【図表19 本件発電所敷地周辺の地質】

(エ) 本件発電所の敷地周辺については、上記（イ）及び（ウ）で述べたような特性が認められることから、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。

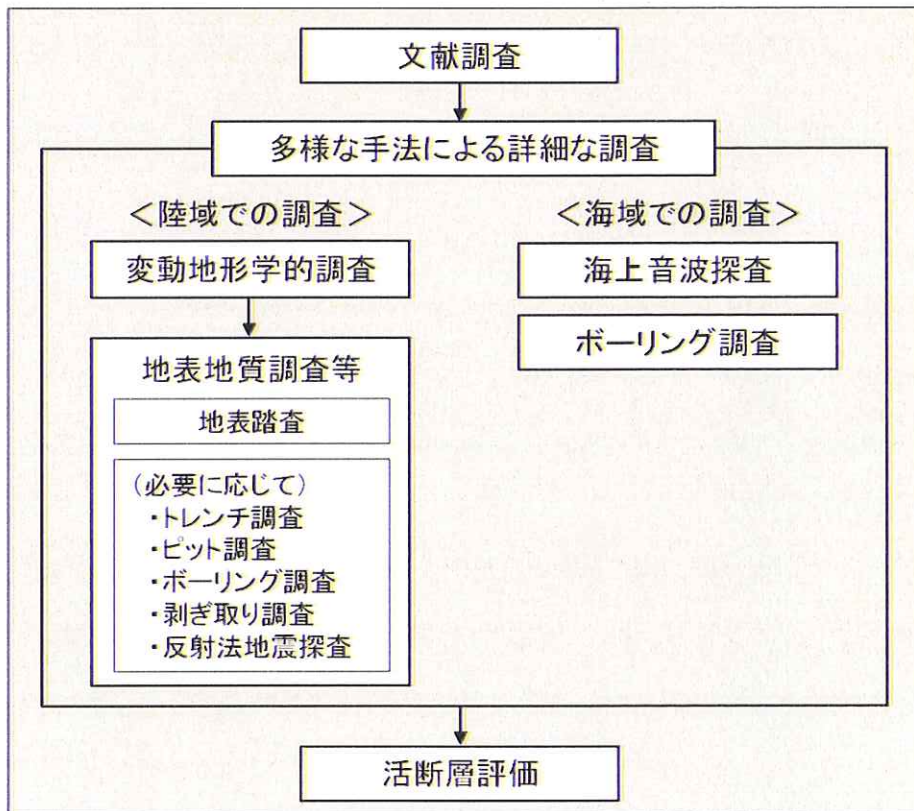
例えば、本件発電所の敷地周辺は、上記（ウ）のとおり、比較的硬い岩盤が分布している地域であるものの、活断層の痕跡の端付近が厚い堆積層に覆われている場合には、その場所を端部とするのではなく、さらに延長して、活断層の痕跡の無いことが明確に確認できる箇所を探索し、当該箇所を端部と評価することで、活断層の長さを保守的に評価するなどしている（例えば、上林川断層について、下記エ（エ）を参照）。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それらが同時に活動する（連動する）可能性を検討するため、より入念に、両断層の活動状況等の異同や、両断層間に分布する地層に断層運動の影響による変位や変形があるかなどの地層の性状を確認することにより、両断層を結ぶような構造の有無を確認している（例えば、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層との連動の可能性について、下記エ

(ウ) を参照)。

ウ 調査の具体的内容

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)。



【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参集した活断層研究会による『[新編] 日本の活断層』、海上保安庁水路部(現海上保安庁海洋情報部)発行の『5万分の1沿岸の海の基本図』等の文献に記載されている既往の調査結果から、本件発電所敷地から概ね半径100kmの範囲

の地形及び地質・地質構造を把握するとともに、文献に記載されている活断層を抽出した（丙4，添付書類六，6-3-2～6-3-3頁，6-5-3頁）。

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

（イ）陸域及び海域における調査

次に，本件発電所敷地の近くで発生する地震は敷地への影響がより大きいことを踏まえ，本件発電所から少なくとも半径30km以内については，陸域及び海域それぞれの全域で多様な手法による調査を行い，網羅的に活断層を把握した（丙4，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）変動地形学的調査

活断層は繰り返し地震を起こすことで，長い年月の間に地表に現れた地盤のずれやたわみが蓄積し，明瞭な痕跡としての変動地形・リニアメント²²（図表 2 1）が形成されると考えられている。

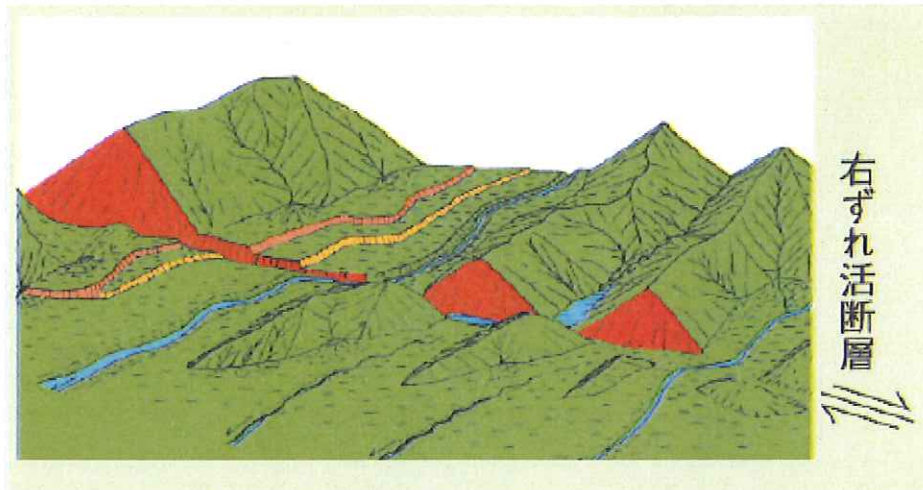
そこで，活断層の有無やその位置等を把握するために，まず，空中写真判読²³・航空レーザー測量²⁴等を用いた変動地形学的調査²⁵

²² 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。

²³ 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。

²⁴ 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。

を本件発電所から半径30km以内の全域で網羅的に実施し、変動地形・リニアメントの可能性のある地形を、不明瞭なものや断層活動によるものではない可能性があるものも含め、漏れなく抽出した。



【図表 2 1 リニアメントの例】

(b) 地表地質調査等

上記の文献調査及び変動地形学的調査により、活断層又は変動地形・リニアメントの可能性があるとされた地形については、稠密な地表踏査を行い、さらにトレンチ調査²⁶、ピット調査²⁷、ボーリング調査²⁸、剥ぎ取り調査²⁹、反射法地震探査³⁰といった多様な手

²⁵ 変動地形とは、長い地質時代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（地形学の一つ）をいう。

²⁶ トレンチ調査とは、対象とする断層等を横切るように溝状に地面を掘削して地質の分布等を直接観察する調査をいう。

²⁷ 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。

²⁸ 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。

²⁹ 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。

³⁰ 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生し、受振器で地層からの反射波を観測、

法も用いて、より精度の高い、詳細な地表地質調査等を実施した。

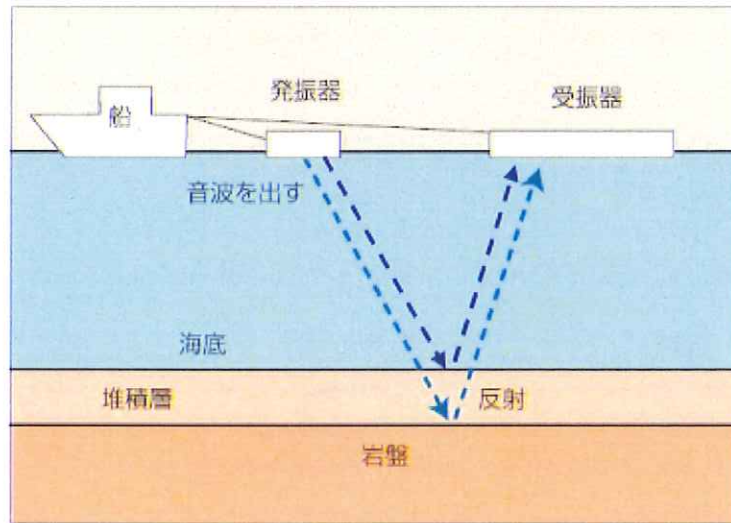
参加人は、これらの地表地質調査等において、後期更新世以降（約12～13万年前以降）に堆積した地層における、断層活動の痕跡（断層活動による変位・変形）の有無を確認し、変位・変形が確認できた場合は、後期更新世以降に断層活動があったものと評価し、「震源として考慮する活断層」とした。

b 海域における調査

(a) 一方、海域においては、参加人は、地質調査所（現国立研究開発法人産業技術総合研究所）及び海上保安庁等が行った海上音波探査記録を用いて地質・地質構造を評価するとともに、自らも海上ボーリング調査及び海上音波探査³¹（図表22）を行った。このうち参加人が行った現地調査では、海上ボーリング調査で採取した堆積物や岩石を分析することにより、海域に堆積している地層の年代と深度を把握し、その上で海上音波探査を行った。

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。

³¹ 海上音波探査は、調査船が曳航する発振器で海面下から音波を発生し、これが海底面や海底下の地層境界で反射したものを受振器で観測、解析して、波が伝わる速度が変化する境界面の位置、構造を把握する調査手法である。

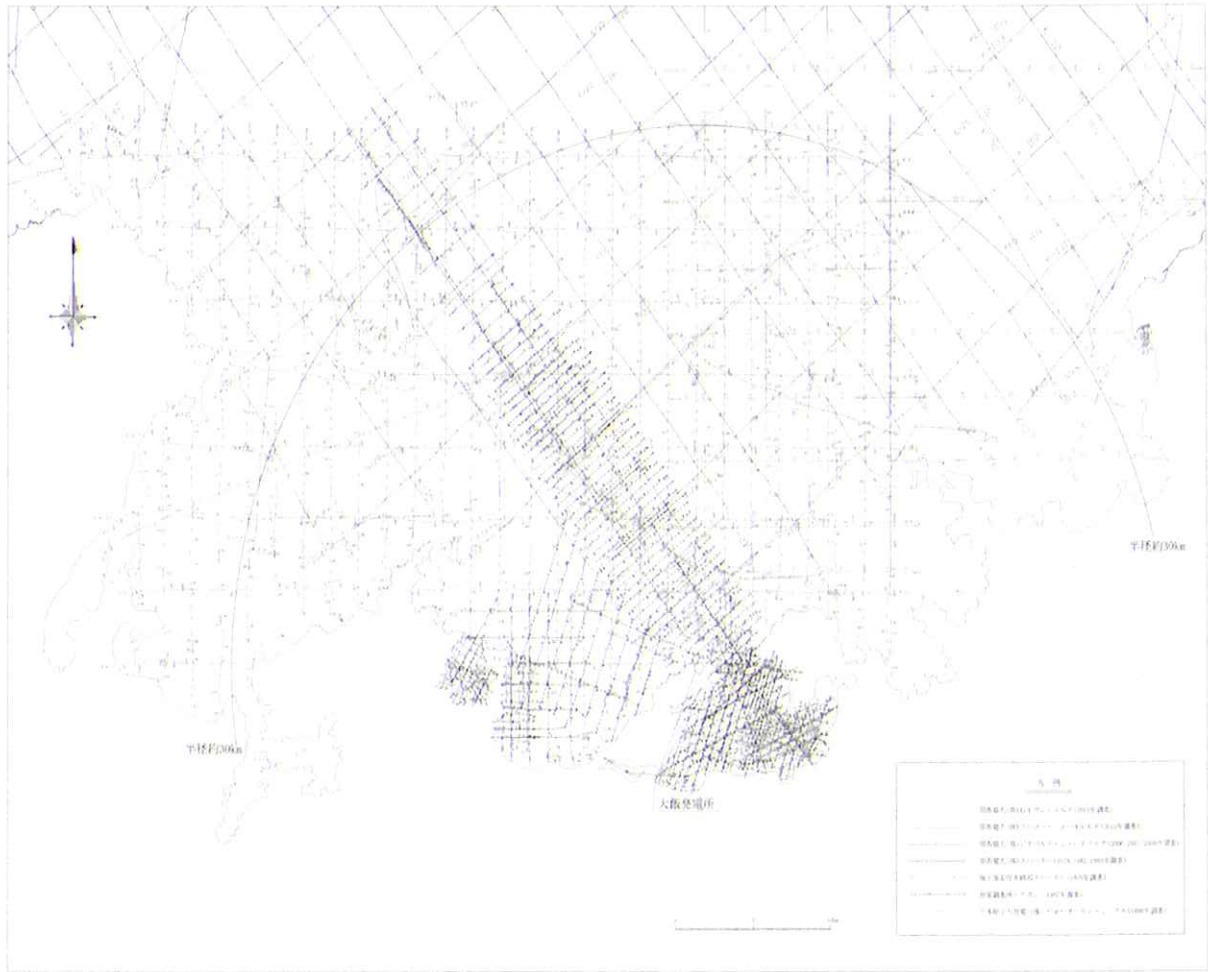


【図表 2 2 海上音波探査】

(b) 海上音波探査では、本件発電所敷地周辺の海域における断層の有無や活動性を網羅的に把握するため、当該海域に格子状等に配置した無数の海上音波探査測線により、詳細に調査・評価した（図表 2 3。丙10, 「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」, 160頁）。

これらの調査により、陸域と同様、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の断層活動の痕跡（断層活動による変位・変形）の有無を確認した。

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



【図表 2 3 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、陸域・海域を問わず、概ね半径100km以内の全域で、活断層の有無、位置、長さ等の概要を把握するとともに、半径30km以内の全域で変動地形学的調査及び海上音波探査により、活断層や変動地形・リニアメントが存在する可能性のある地形を抽出した。

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

エ 各断層の具体的な評価

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

（ア）F O - A ~ F O - B 断層

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

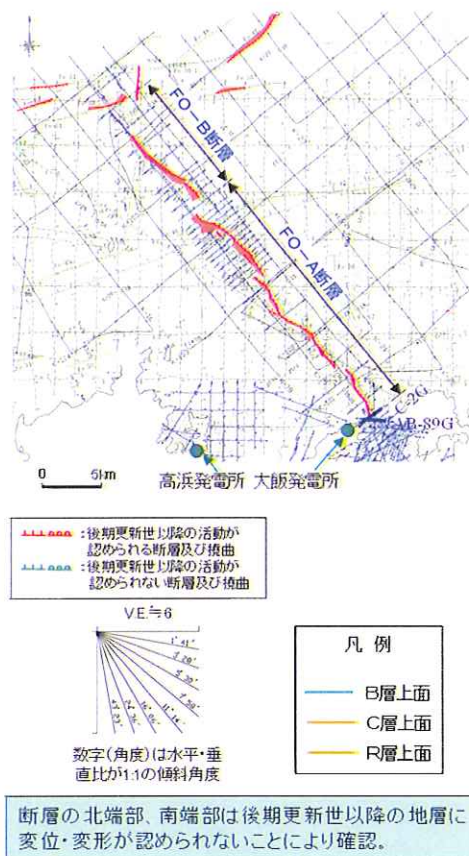
参加人は、F O - A 断層及びF O - B 断層について、詳細に海上音波探査等を行い、慎重に検討した結果、その長さをそれぞれ約24km、約11kmと評価した。両断層は、それらを区分するC - 4 7 G 測線において鉛直方向の変位量が認められないこと等から個別の断層と評価されるが、断層の走向がいずれも北西 - 南東方向であること等、特徴が類似していることから両断層は同時活動するものとし、「F O - A ~ F O - B 断層」として、その長さを約35kmと評価した。

（丙4，添付書類六，6-3-74～6-3-76頁，丙10，170～177頁）

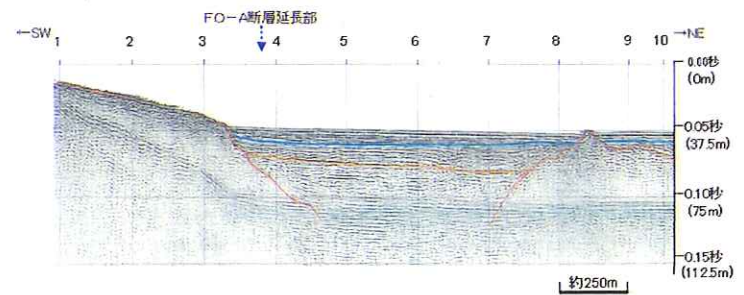
具体的には、参加人は、海上ボーリング調査で採取した堆積物や岩石を分析することによって海域に堆積している地層の年代を把握した上で、海上音波探査を行い、後期更新世以降に堆積したと考えられるB層の中で最も古く堆積した地層に断層活動による痕跡が認められな

い、つまりこの地層に段差がない箇所を端部とした。

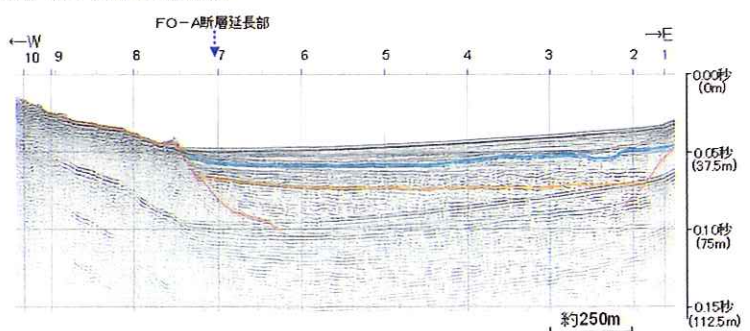
その結果、FO-A断層の南東端についてはC-2G測線を端部と評価し（図表2-4（丙10，172頁）の右上図。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表1として添付する）、FO-B断層の北西端についてはC-58G測線を端部と評価した（図表2-5（丙10，176頁）の右上図。なお、この図を拡大したものを本書面末尾の別紙に別紙図表2として添付する）。



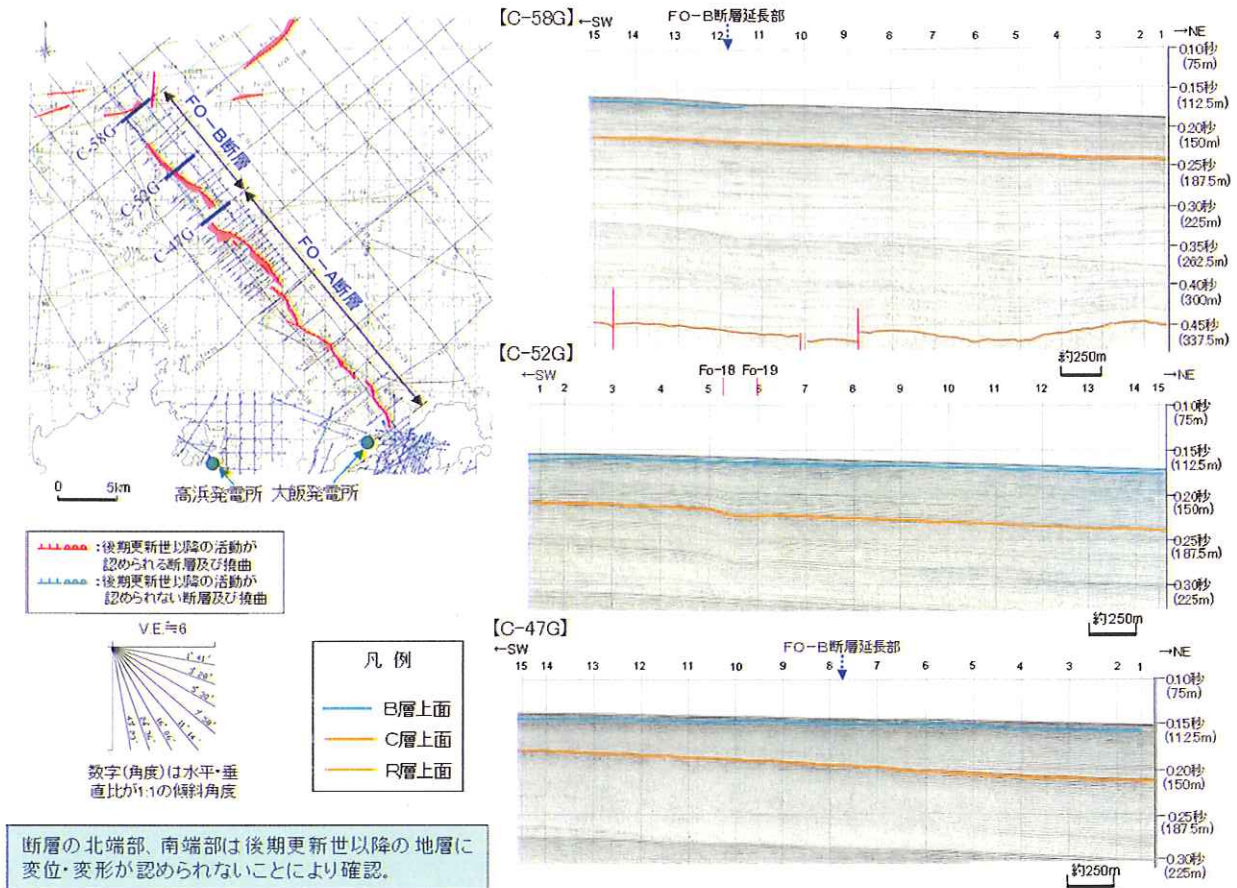
【C-2G（再処理後）Mig】



【AB-89G（再処理後）Mig】



【図表2-4 FO-A断層に関する調査結果】

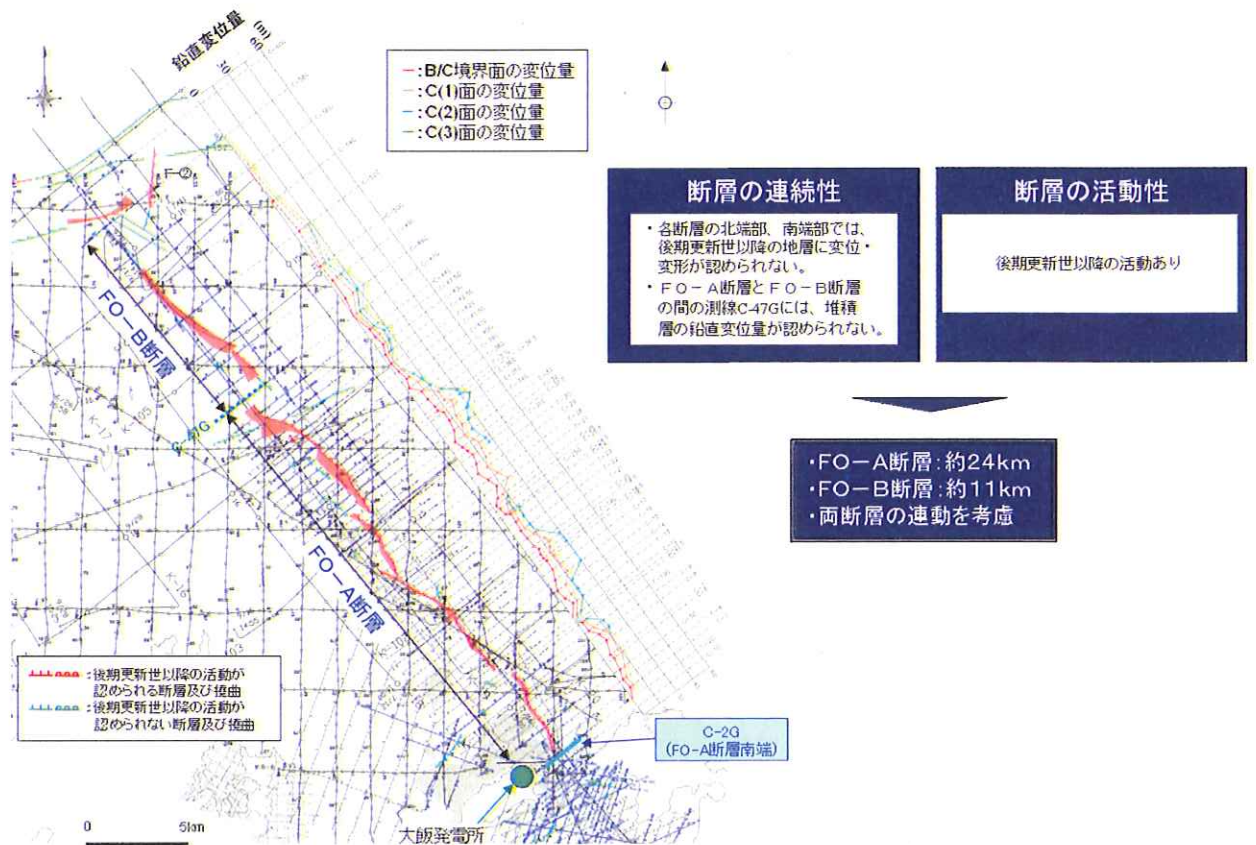


【図表 2 5 FO-B断層に関する調査結果】

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26(丙10, 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。

FO-A断層及びFO-B断層に沿って「鉛直変位量」の折れ線グラフが並べられているが、その中の赤色の折れ線(「B/C境界面の変位量」)がB層の下面の変位・変形の大きさを示している。この赤色の折れ線グラフの値は、FO-B断層の北西及びFO-A断層の南東に向かうにつれてそれぞれ減少していき、C-58G測線(図内で「FO-B断層」の両向き矢印(←→)の左上端が触れている右上-左下

方向の測線)及びC-2G測線(図内で「C-2G」と示されている測線)では、その値が「0m」になっており、B層に変位・変形がないことが分かる。



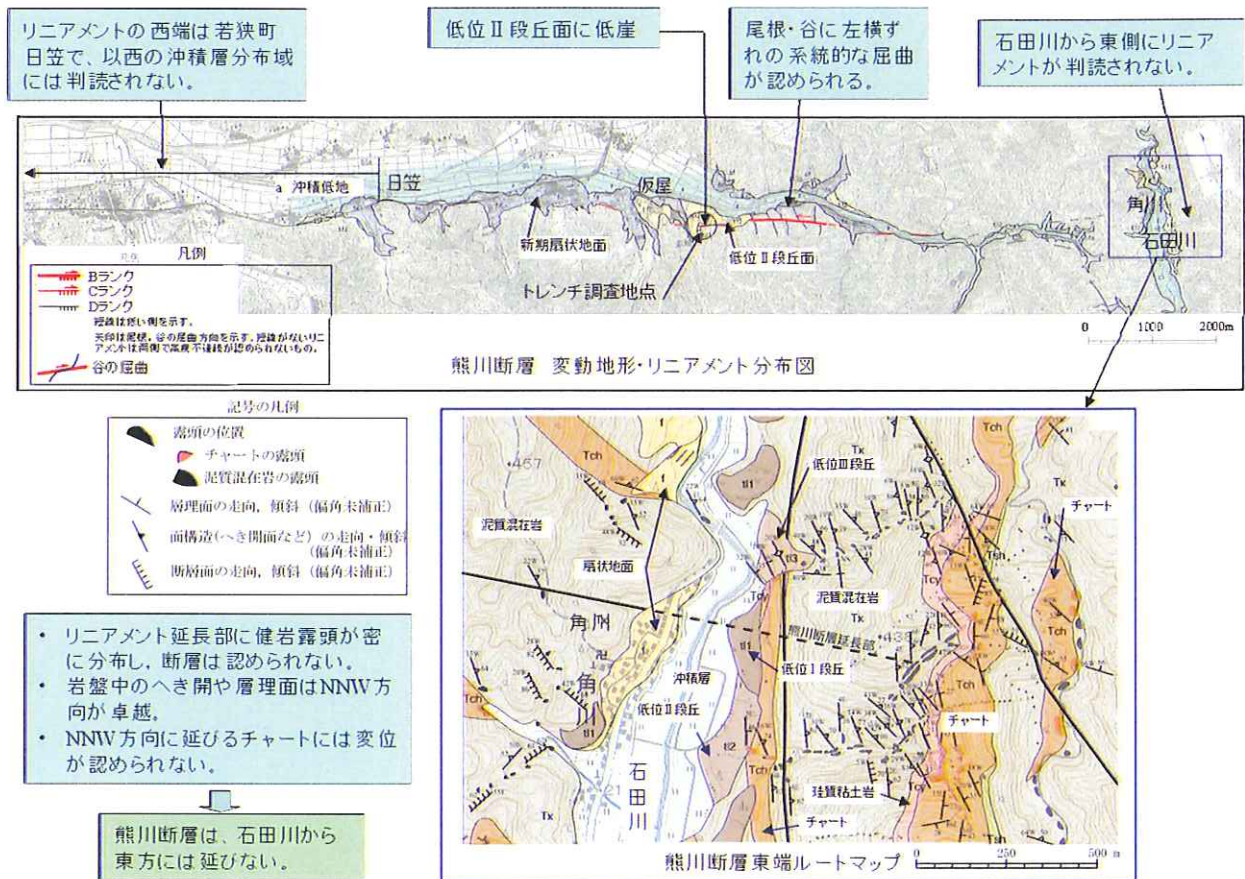
【図表 2 6 FO-A断層, FO-B断層の評価】

(イ) 熊川断層

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

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(丙4, 添付書類六, 6-3-19～6-3-25頁, 丙10, 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27。丙10，43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27 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

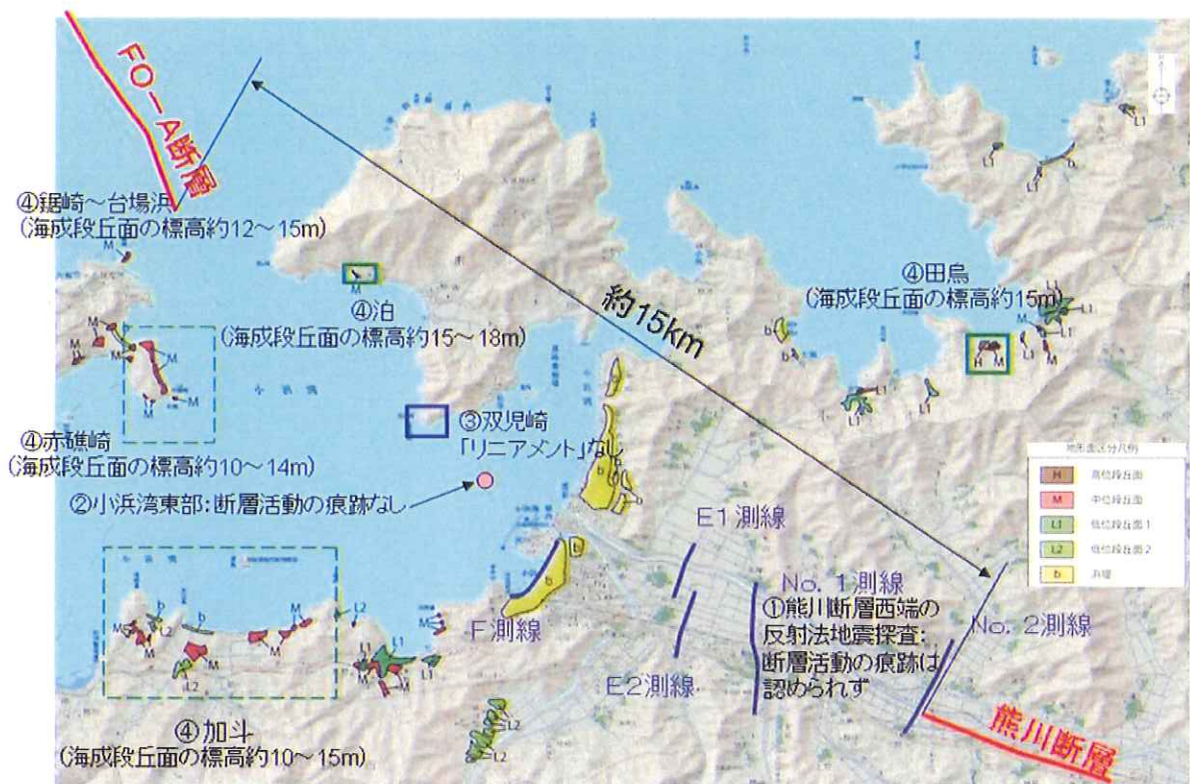
ない、つまり後期更新世より前の岩盤から、後期更新世以降に堆積した層を含む地表までの地層が大きな段差なく堆積しているNo.2測線（下記（ウ）bの図表28の下の図、右下にある「No.2測線」）とした（丙10, 63頁）。

（ウ）FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動

- a FO-A～FO-B断層と熊川断層については、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。

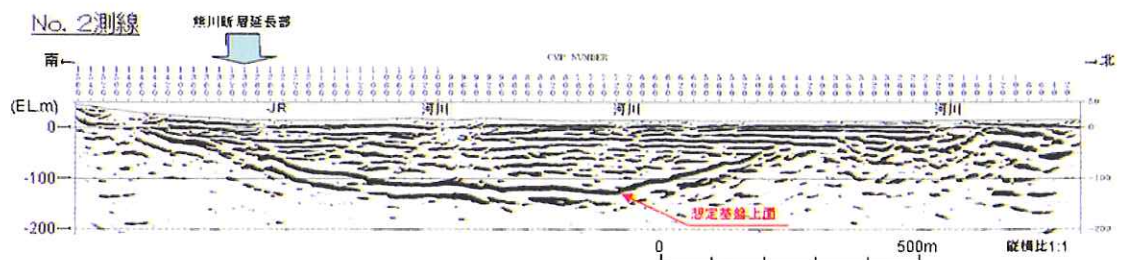
具体的には、図表28のとおり、①熊川断層西端の反射法地震探査（下記（a））、②小浜湾における海上音波探査及び②'小浜湾周辺のボーリング調査（下記（b））、③双児崎のリニアメント調査（下記（c））、④小浜湾東側段丘面調査（下記（c）及び（d））を

実施したが、次に述べるとおり、いずれの調査からも、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとの結果は認められなかった。



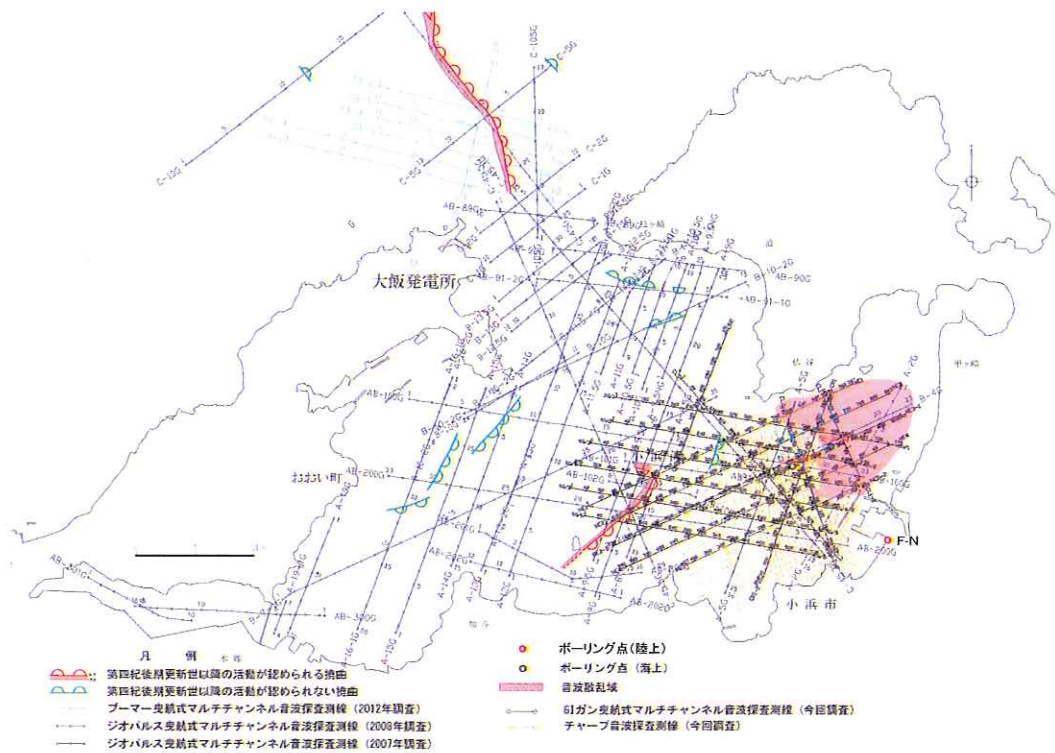
【図表 2 8 小浜湾等の海域・陸域調査】

(a) ①熊川断層西端の反射法地震探査では、図表28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29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29 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30のとおりである。



【図表 30 小浜湾における海上音波探査及びボーリング調査】

その結果、(i) 反射面の変形（堆積した地層の境界面における段差）が確認できたとされる付近において砂礫層がマウンド状に堆積しており、原子力安全・保安院が確認したとする反射面の変形は、その堆積の一部を捉えたものであること（丙4，添付書類六，6-3-434頁等），(ii) 断層活動が起きると、その時点で堆積している地層に変位・変形が生じるため、繰り返し活動する活断層の場合、古くから堆積していた地層の方が断層活動の影響を多く受けることで変位・変形量が大きくなる場所、そうした状況が認められなかったこと（同6-3-441頁等），(iii) 原子力安全・保安院が指摘した場所以外で、その近辺における反射面においては、同様の反射面の変形が認められなかったこと（同6-3-440頁等），(iv) 海上ボーリング調査によって各年代

の地層の広がりを確認したところ、後期更新世以降の活動を示唆するような地層の段差が認められなかったこと（同6-3-449頁等）等から、原子力安全・保安院から指摘のあった反射面は断層活動によるものではない（つまり、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとは認められない）と判断した。

(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、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31に示すとおり、その両側に位置する同年代に形成された岩盤であるベンチ（波打ち際で波浪によりできた平坦面）の高さは、いずれも標高約30～50cmであり、そのような高度差は認められなかった。

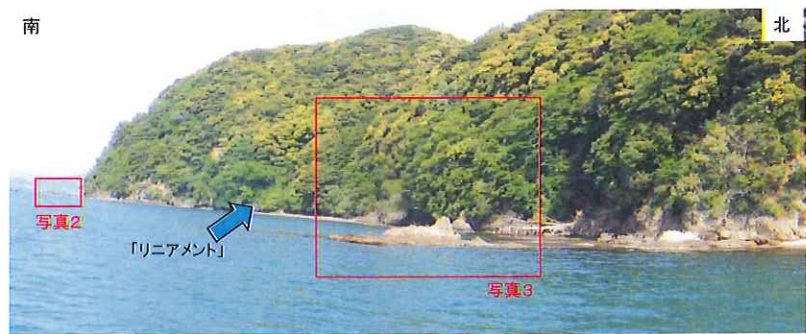


写真1(双児崎)
 双児崎南東岸の全景写真(東方から西方に向かって撮影)
 「リニアメント」と指摘されているエリアの北側と南側の岩礁には、どちらにも、標高約30～50cmのベンチが分布する。



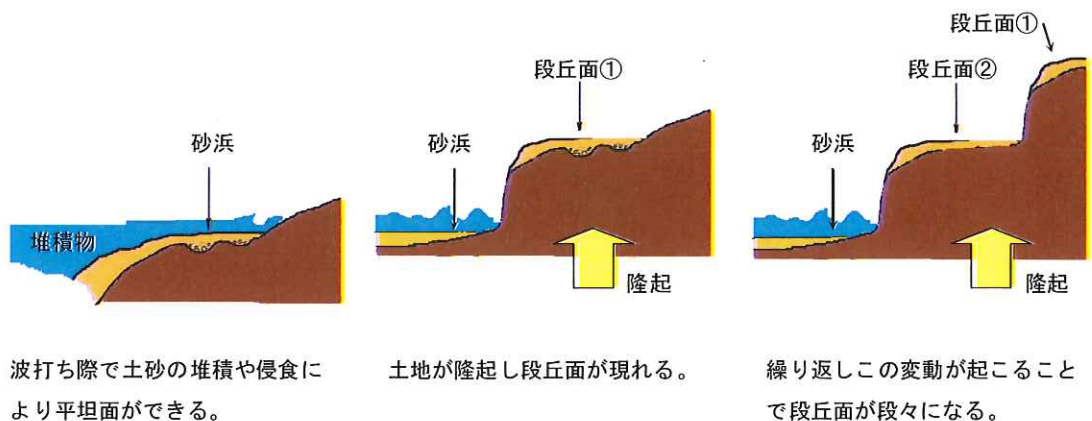
写真2(双児崎)
 「リニアメント」と指摘されているエリアの南側に分布するベンチ。
 ベンチの高さは標高約30～50cm。



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

【図表 3 1 双児崎のリニアメント調査】

(d) さらに、④小浜湾東側段丘面調査では、小浜湾を挟んだ東西の半島等で海成段丘面の高さを調査した。海成段丘面とは、波打ち際で土砂の堆積や侵食によりできた平坦面が隆起することのできる面をいい(図表3 2)、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 3 2 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28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、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～c について、丙4，添付書類六，6-3-74～6-3-79頁。なお、調査結果の詳細については、丙10，182～185頁，丙11の1，「大飯発電所，高浜発電所 FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動に関する調査結果 コメント回答」，丙11の2，「同 別添資料集」，丙12の1，「大飯発電所，高浜発電所 FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動に関する調査結果 コメント回答」，丙12の2，「同 別添資料集」，丙13，「大飯発電所，高浜発電所 敷地周辺の活断層評価について コメント回答」のとおり）

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

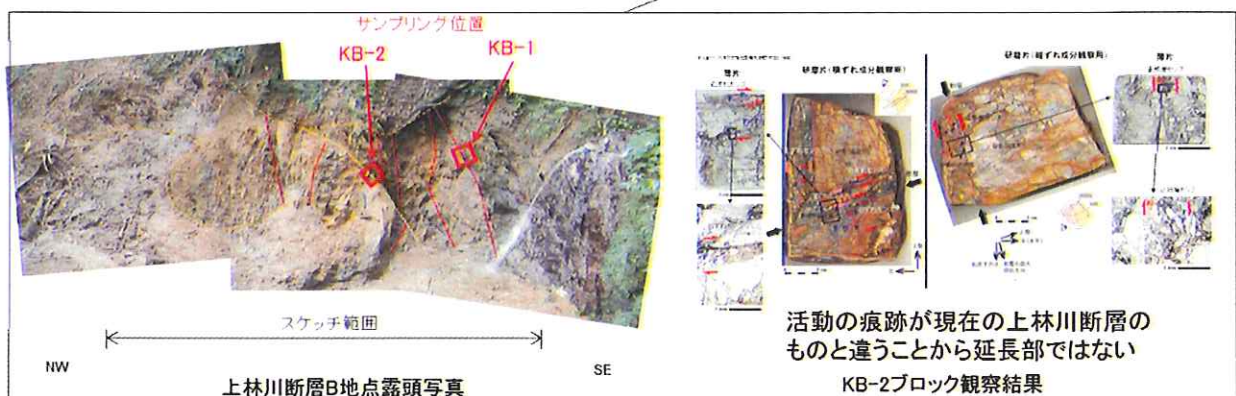
（エ）上林川断層

上林川断層は、本件発電所の南西側の陸域に位置し、北東から南西方向に延びる断層である。上林川断層は、既存文献（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・京都西山断層帯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。

具体的には、北東端については、リニアメントが認められなくなる

故屋岡町付近よりもさらに東側の延長線上において、露頭した岩盤に後期更新世以降の活動が確実にないことが確認できた県境付近とした（図表3-3）。また、南西端については、文献調査で南西端とされていた付近の地域は比較的新しい年代の厚い堆積層に覆われており、活断層の痕跡の端付近で端部が確認できなかった。そのため、そこからさらに延長し、後期更新世より前に形成された地層（高位段丘面）に変動地形が認められず、確実に活断層がないと確認できた福知山市付近を南西端と評価した（図表3-4）。（丙4，添付書類六，6-3-31～6-3-41頁，丙10，15～40頁）



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

【図表3-3 上林川断層の北東端の評価】



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

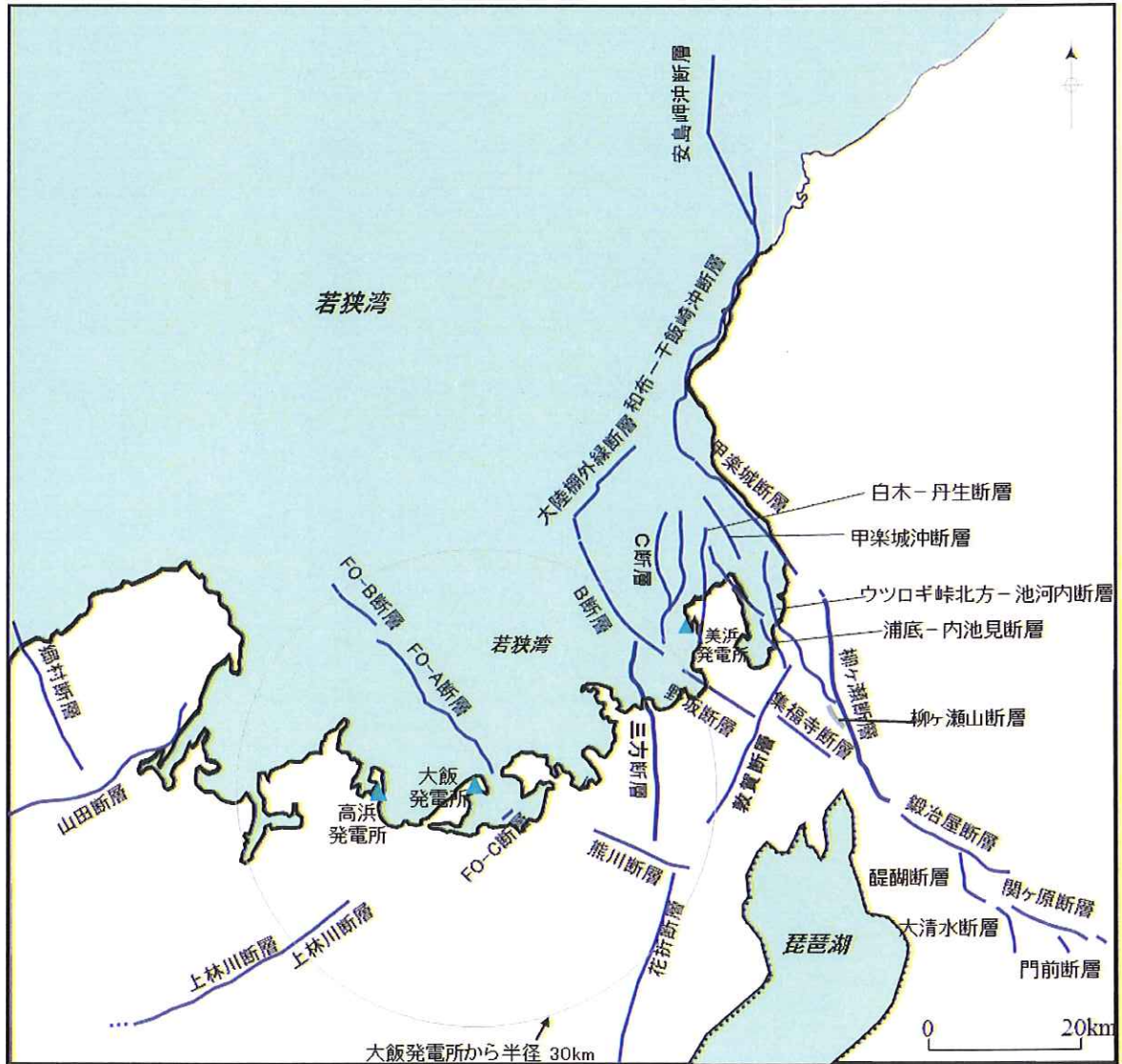
【図表 3 4 上林川断層の南西端の評価】

(オ) 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、その長さや連動を保守的に考慮することにより、地震動評価に用いる活断層の長さを保守的に評価した。

オ 活断層の分布状況と検討用地震の候補

以上の調査によって確認した、本件発電所敷地周辺を含む若狭湾周辺における「震源として考慮する活断層」の主なものの分布は、図表 3 5 のとおりである (丙 5, 6 頁)。



(丙 5, 6 頁に一部加筆)

【図表 3 5 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36）、「敷地ごとに震源を

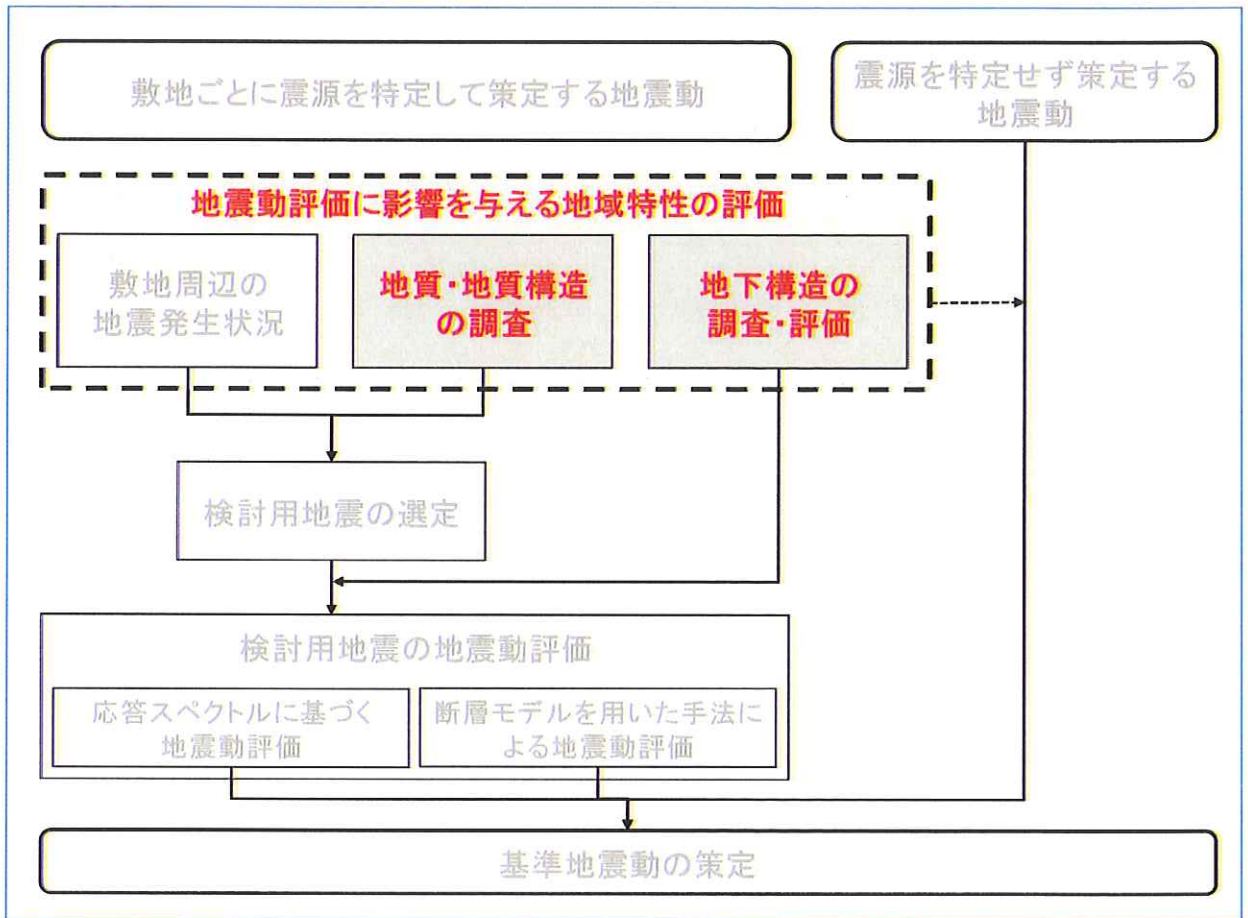
特定して策定する地震動」の評価に用いる「検討用地震」の候補とした
(丙5, 7頁)。

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)
1	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層	76 [*]	8.0	66
2	柳ヶ瀬断層	31	7.3	49
3	ウツロギ峠北方-池河内断層	24	7.1	45
4	C断層	18	6.9	36
5	敦賀断層	23	7.1	36
6	大陸棚外縁～B～野坂断層	49 [*]	7.7	32
7	三方断層	27	7.2	23
8	花折断層	58	7.8	44
9	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	45
10	濃尾地震断層系	80	8.0	95
11	上林川断層	39.5 [*]	7.5	38
12	有馬-高槻構造線	45	7.6	81
13	山田断層	33	7.4	51
14	郷村断層	34	7.4	63
15	F _{GA} 3東部断層	29	7.3	54
16	FO-A～FO-B～熊川断層	63.4 [*]	7.8	3
17	FO-C断層	20 [*]	6.8	5.5
18	甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	36 [*]	7.4	42

(※ 地震動評価上の長さ)

【図表36 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³²。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。

³² 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）、乙44、127頁）。また、「基準地震動の策定に当たっての調査については、目的に応じた調査手法を選定するとともに、調査手法の適用条件及び精度等に配慮することによって、調査結果の信頼性と精度を確保すること」を求めている（同項4号、乙44、129頁）。

次に、地震動評価にあたっては、「地震発生様式及び地震波の伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮すること」を求めている（同項2号④、乙44、127頁）。

そして、地震波の伝播特性に関して、「敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、岩相・岩質の不均一性並びに地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること」を求めている（同項4号①、乙44、129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））、F O - A ～ F O - 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）エで述べたとおりである。

（丙10、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³³と断層の方向（走向）との関係から、横ずれ断層であると評価した上で、既往の知見を踏まえて傾きを90°（断層面が鉛直）と評価した。

すなわち、まず、若狭湾付近の広域応力場が東西圧縮応力場であり（丙10、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35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³⁴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³⁵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（丙14、産業技術総合研究所ウェブサイト「活断層データベース」起震断層・活動セグメント検索）ことを踏まえ、各断層とも断層の傾きが90°（断層面が鉛直）と評価した。

（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

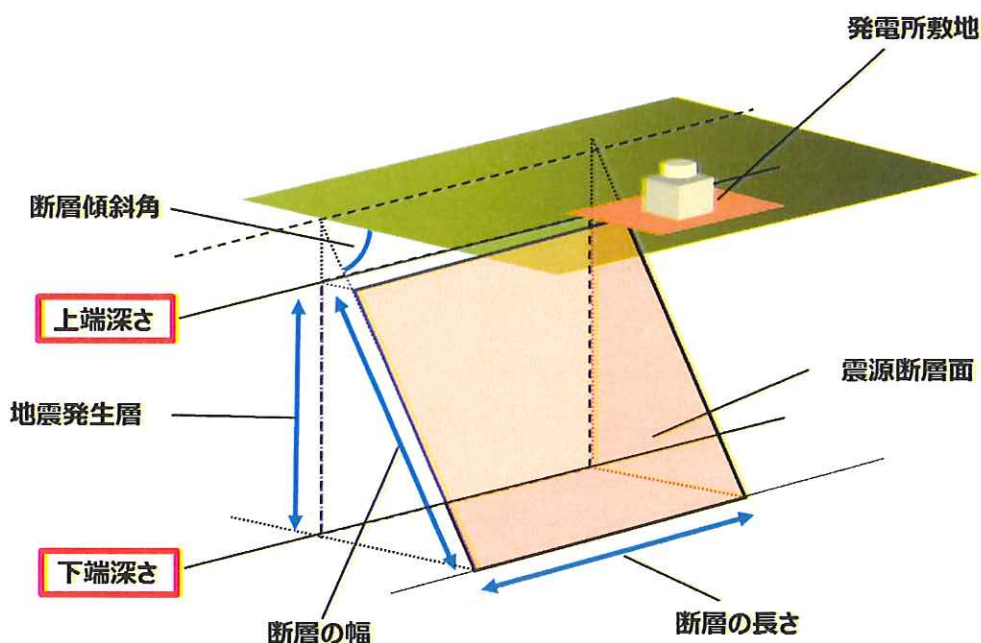
³³ 広域応力場とは、地殻にどのような力が加わっているかを示すもので、水平方向を基準にして押されていれば圧縮応力場、引っ張られていれば引張応力場という。

³⁴ 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。

³⁵ 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』）」（乙87）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（乙87、4頁）。

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37）。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。

地震動を発生させる震源断層は、1回の地震で必ずしも断層全体が一度にずれるとは限らないところ、地震発生層の上端から下端まで一杯に広がった震源断層面の全体が一度にずれる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、評価を行った。



【図表37 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】

具体的には、まず、上端深さについて、以下のとおり評価した。すなわち、震源車等で起震して地中の地層で反射した波を、若狭湾地域を含む近畿地方を縦断・横断するような測線上に配置した受振器によって観測することにより地盤の速度構造（地震波（P波・S波）が伝わる速さが異なる地層の並びをいう。下記ウで述べる）を求めた、文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる地下構造探査（図表38）や、若狭湾地域を含む近畿地方において発生した地震について震源から複数の観測点までの地震波の到達する時間差を用いた解析を行うことで地盤の速度構造を求めた、地震波トモグラフィ³⁶による検討（図表39）といった、既往の研究成果を参照して若狭湾周辺における地下の速度構造を把握した（丙15、「大飯発電所 地盤モデルの評価について」、117～118頁）。その上で、地震発生層の上限はP波速度と良い相関があるという既往の知見や、下記ウ（イ）の地震波干渉法及び微動アレイ観測による地盤の速度構造の解析結果をもとに、保守的に（断層の幅が広くなるように）評価するため、できるだけ浅く評価することとし、上端深さを4kmと評価した。

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

³⁶ 地震波速度トモグラフィ（解析）とは、ボーリング孔を利用して、人工的に発生させた地震波（P波・S波）が地盤内を伝播するデータを多数観測し、それらを解析することで、地震波速度の三次元的分布を求める調査手法をいう。

■地盤速度構造による地震発生層の検討

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

○新宮—舞鶴測線(2004)の探査結果

○藤橋—上郡測線(1989)の再解析結果

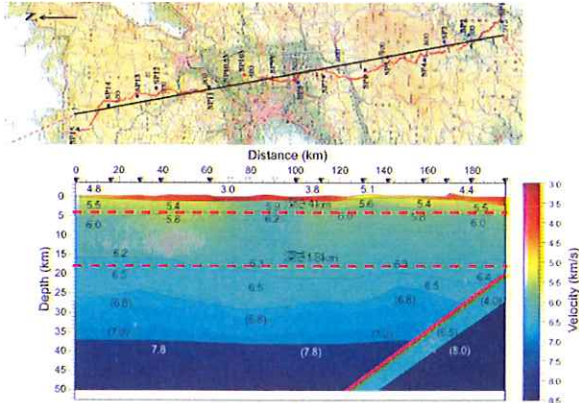


Fig. 9 P wave velocity structure for the. Numerals show P wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

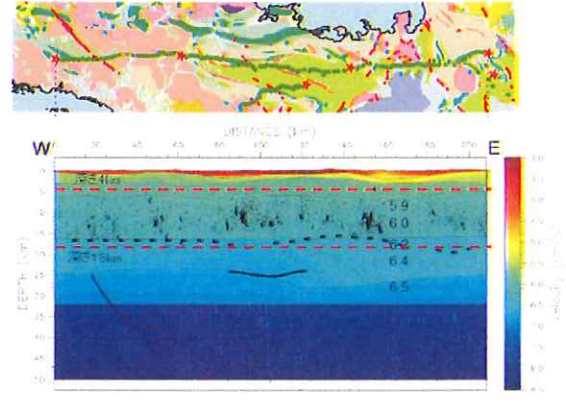


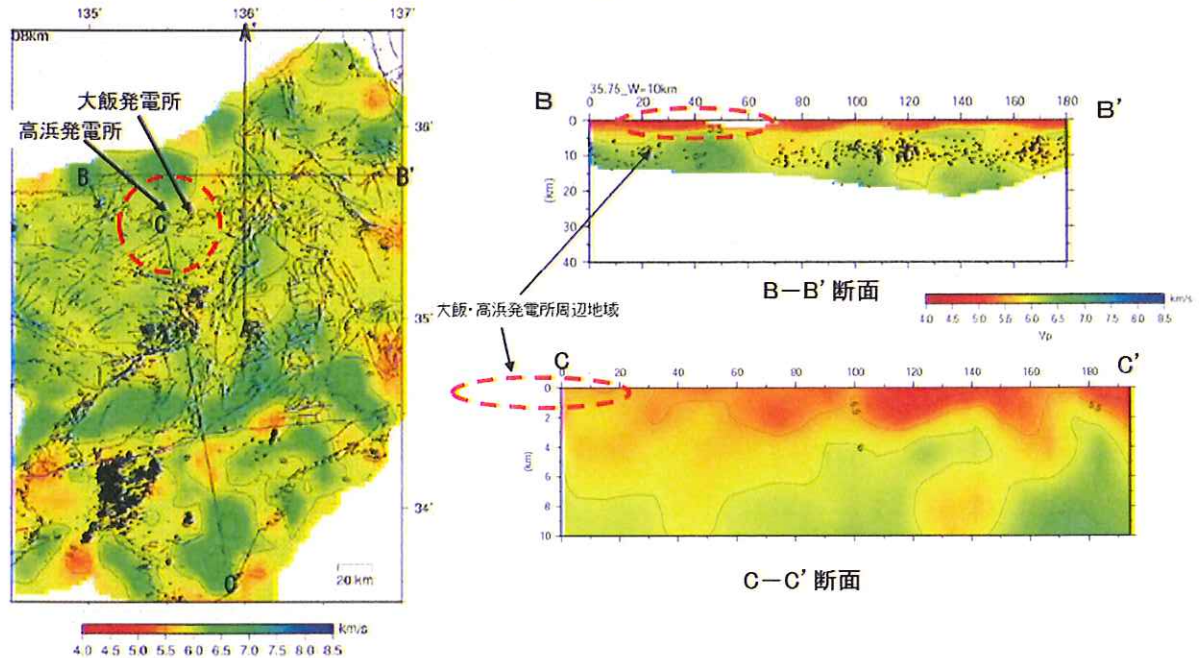
図 16 藤橋—上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

【図表 3 8 大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる地下構造探査】

■地震波トモグラフィによる検討

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



深さ8kmのP波速度分布(川里・他(2007)に一部加筆)

【図表 3 9 地震波トモグラフィによる検討】

また、下端深さについては、気象庁の震源データを用いた震源深さの分布の検討（丙5，61頁）等，既往の研究結果を用いて，保守的に18kmと評価した。

以上のとおり，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ことから、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）³⁷の知見をもとに、Q値を $50f^{1.1}$ （fは地震波の周波数³⁸で、周波数毎にQ値は変化する）と設定した（丙5、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³⁹。

(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 地盤の増幅特性（サイト特性）

地震波は、硬い（地震波の伝わる速さが大きい）地層から相対的に軟らかい（地震波の伝わる速さが小さい）地層へ伝播する際に増幅される

³⁷ 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。

³⁸ 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）。

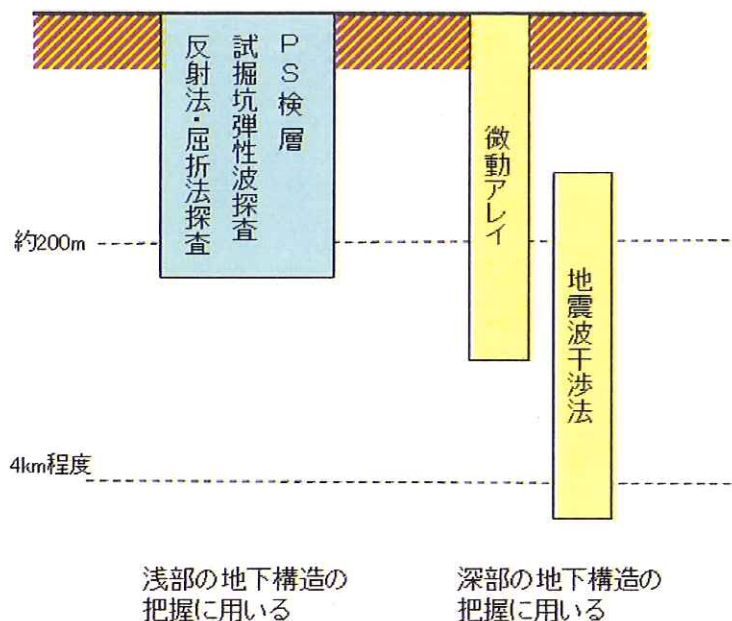
³⁹ 佐藤智美「伝播経路モデルの与え方」日本建築学会2006年地盤震動シンポジウム、23-34頁。

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、地表に近づくと従って地層は相対的に軟らかくなるため、地中の硬い岩盤を伝わってきた地震波は、いくつかの地層を通して地表に到達するまでに順次増幅される。このような特性を地盤の増幅特性（サイト特性）といい、その増幅の程度は、速度構造（地震波の伝わる速さが異なる地層の並び）の影響を受ける。

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、局部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40。丙4，添付書類六，6-5-7～6-5-8頁，丙15，5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。



【図表 4 0 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、本件発電所敷地の地表面近くの浅部地盤の速度構造について、ボーリング調査により地盤の特徴を調査した上で、PS検層、試掘坑弾性波探査、反射法地震探査等を行い、それらの調査結果を総合して評価した。

これらの調査結果により、敷地浅部にP波速度及びS波速度がそれぞれ約4.3km/s、約2.2km/sの硬質な岩盤が広がっていることを確認した（丙15、7～12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（丙15、51頁、56頁、63頁）。

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））を作成する

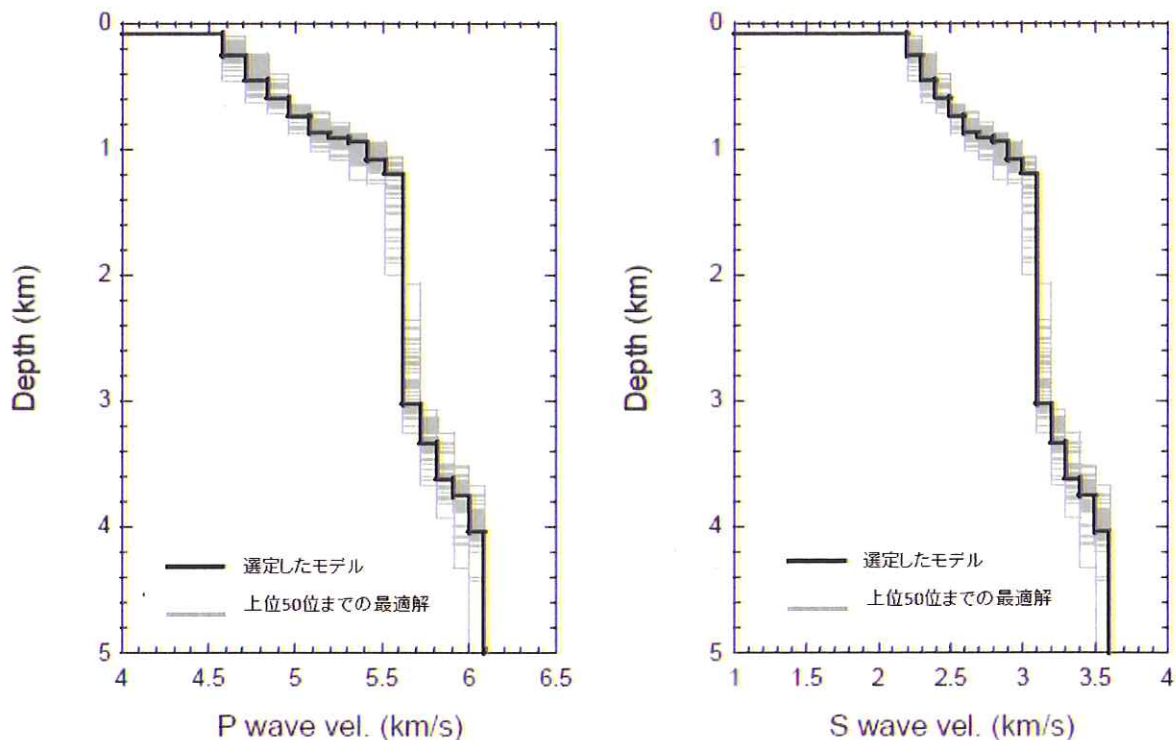
こととした（丙4，添付書類六，6-5-7～6-5-8頁）。

（イ）深部地盤の速度構造に関する調査

参加人は，地震波干渉法及び微動アレイ観測により，本件発電所敷地内や周辺地点において，非常に小さな地震・波浪・風や，産業活動・交通に伴う振動等によって常時存在する地面の小さな揺れ（常時微動）の観測を行い，その観測記録を解析して，深部までの地盤の速度構造を評価した（丙15，64～115頁）。

これらの調査を踏まえ，本件発電所敷地の地盤の一次元の速度構造モデル（波の速度が変化する境界面（速度構造）が地表面と平行となっているモデル）を解析により求めた結果，本件発電所敷地の地盤の速度構造モデルは，図表4 1（丙15，107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）。

（以上について，丙15，6～63頁）



【図表 4 1 本件発電所の地盤の速度構造モデル（左：P波速度，右：S波速度）】

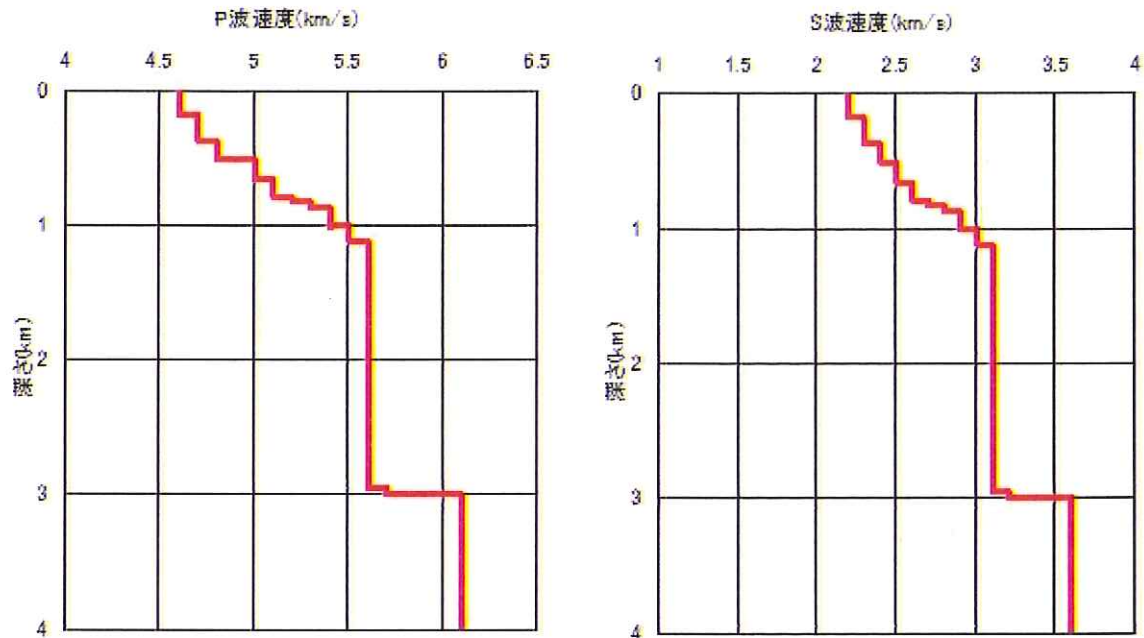
(ウ) 小括

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（上記ア（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 4 2（丙4，添付書類六，6-5-72頁）のとおり設定した⁴⁰。

⁴⁰ 例えば，P波速度について説明すると，図表 4 1 の左のグラフにおいて，P波速度が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 4 2 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 4 1 及び図表 4 2 のそれぞれ右のグラフ）も同様である。

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



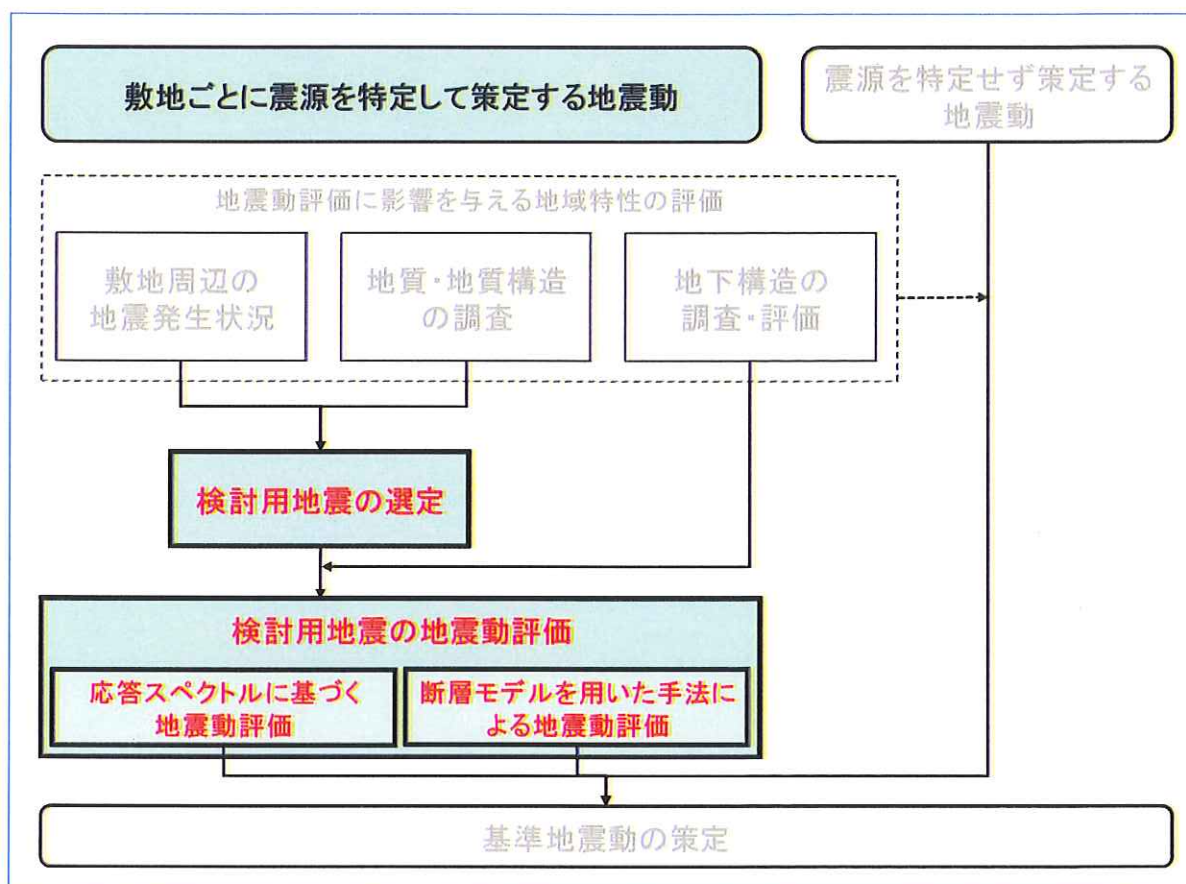
【図表 4 2 本件発電所の地震動評価に用いる地下構造モデル

（左：P波速度，右：S波速度）】

エ まとめ

以上のように、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）。

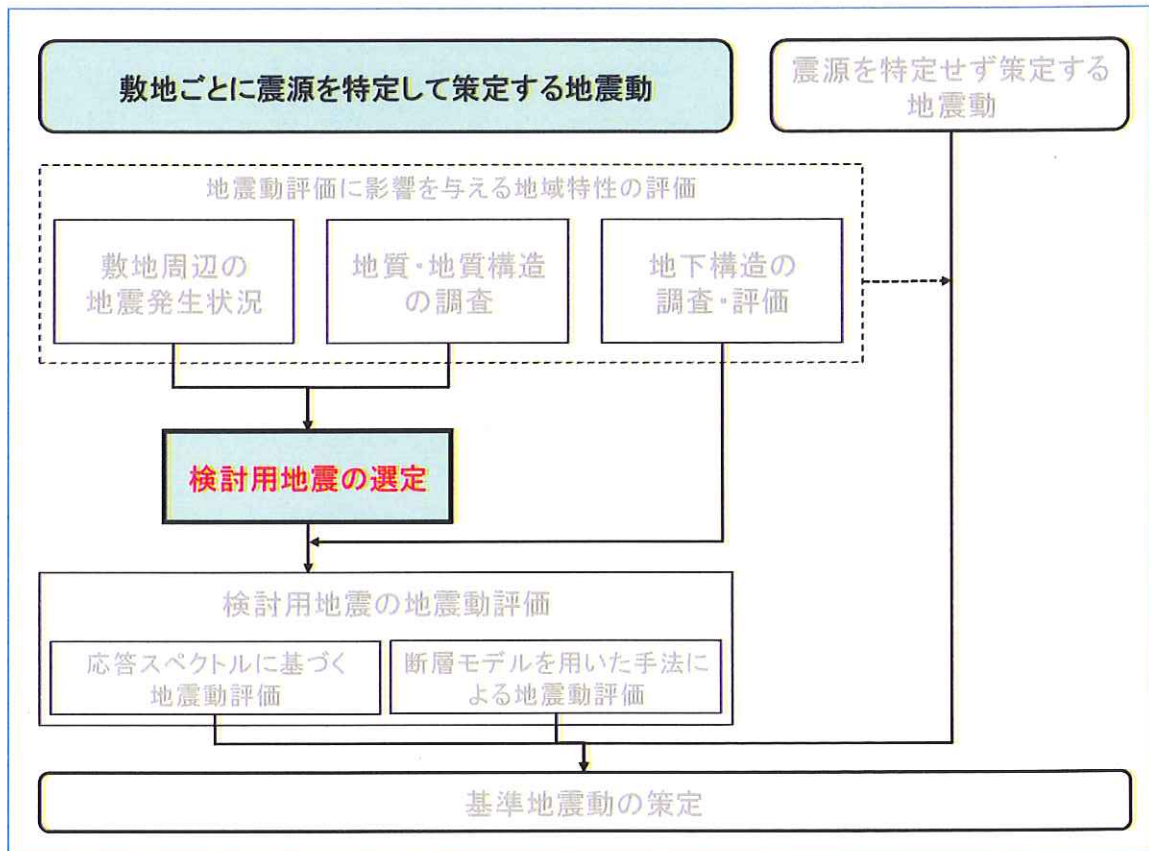
「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、実際には広がりをもった震源断層面から放出される地震波を、ある1点の震源から放出されるものと仮定し（点震源）、距離減衰式を用いて、地震の規模、評価地点までの距離等の諸元から地震動の応答スペクトル（上記第2の6を参照）を求めて、地震動を評価するものである。

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増幅特性（サイト特性）を考慮して行う地震動評価である。

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

以下、この地震動評価の過程及びその結果について述べる。

1 検討用地震の選定



(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価）にあたって、「内陸地殻内地震・・・について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を複数選定」することを求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号，乙44，126頁）。

(2) 本件発電所における検討用地震の選定

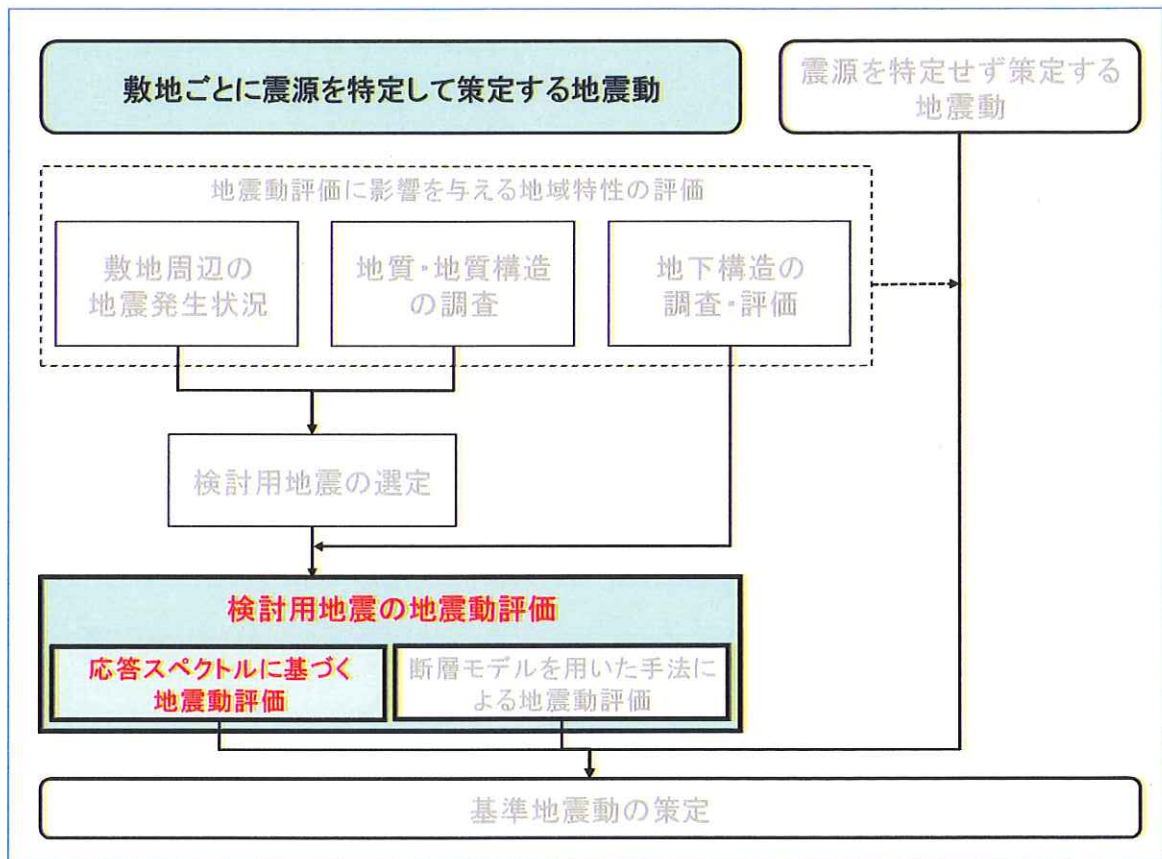
参加人は、上記第4の1（敷地周辺の地震発生状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された9個の地震及び上記第4の2（活

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、「F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震」(上記図表 3 6 の 16 番)及び「上林川断層による地震」(上記図表 3 6 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、丙 4, 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④ i，乙44，127～128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」（乙52。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「参照する距離減衰式に応じて適切なパラメータを設定する必要がある、併せて震源断層の広がりや不均質性・・・が適切に考慮されていること」を確認するとともに、②伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価について、「参照する距離減衰式の特徴を踏まえ、敷地周辺の地下構造に基づく地震波の伝播特性（サイト特性）の影響を考慮して適切に評価されていること」を確認するとしている（乙52，4頁，I 3.3.1(1)）。

（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)⁴¹の方法（以下、「耐専式」という。丙16，「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（丙5，63頁）。

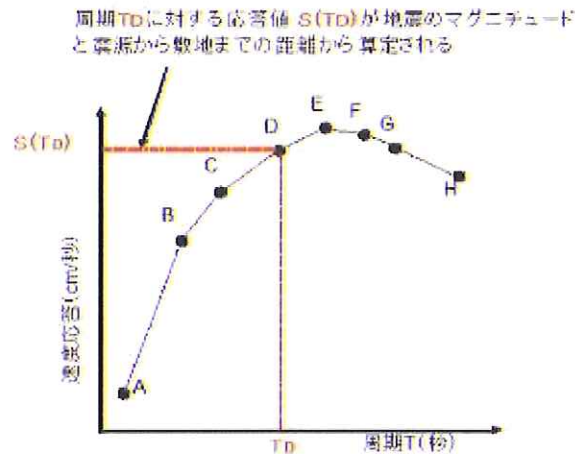
⁴¹ Noda et al. (2002) 「Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites」。

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（丙 16, 2 頁）、本件発電所敷地地盤と同様の岩盤上の 20 年間の地震記録（水平成分 214 個、上下成分 107 個）を統計的に分析すること（回帰分析）により得られた算定式である。同式は、上記部会において平成 11 年に策定されて以降、地震観測データを用いて適用性の検証、確認が継続的に行われており、信頼性を有する地震動評価手法である。

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 4 3 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。



【図表 4 3 耐専式による応答スペクトルの作成】

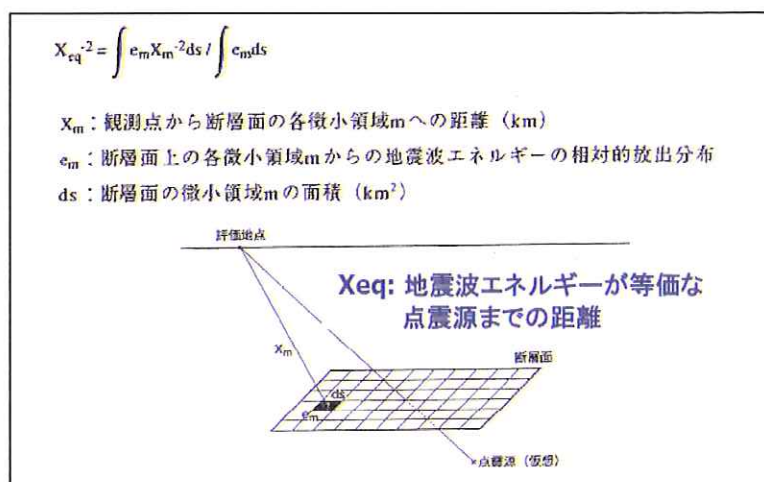
- b 耐専式に入力する地震の規模 (M) については、松田時彦東京大学名誉教授が「活断層から発生する地震の規模と周期について」(丙 17) で提案した、活断層長さ (L) と地震の規模 (M) との関係を表す経験式 ($\log L = 0.6M - 2.9$) (丙 17, 271 頁) を用いて、断層長さから求めた。この式は「松田式」と呼ばれる。(丙 5, 63 頁)

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』)」(乙 87, 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 (乙 87, 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⁴²。

- 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

⁴² 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(乙87, 5頁, (d), 欄外)。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)オの図表36参照)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。

(点震源) から放出されたものと仮定した場合に到達するエネルギーと等しくなる時の点震源から敷地までの距離をいう (図表 4 4)。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⁴³分布) の効果をも考慮することができる。



【図表 4 4 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

耐専式においては, その開発にあたって基礎とされた地震観測記録群に, 等価震源距離が「極近距離」よりも著しく短い場合のデータは含まれていない。また, 等価震源距離が「極近距離」より著しく短い場合は, 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。そのた

⁴³ 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樣に同じずれ幅・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 (甲96, 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う。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。

め、耐専式を用いることが適当ではない場合がある。

b 本件発電所における取扱い

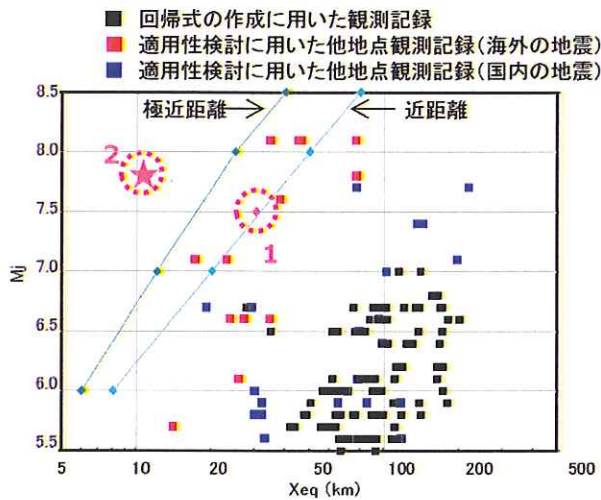
本件発電所の地震動評価において、上林川断層による地震（マグニチュード7.5）は、等価震源距離が30.2kmであり、耐専式における「極近距離」に比べて十分長い一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震（マグニチュード7.8）は、等価震源距離が11.0kmと、「極近距離」に比べて著しく短い（図表45）。

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）⁴⁴の関係式、片岡ほか（2006）⁴⁵の関係式、Abrahamson and Silva（2008）⁴⁶の関係式等により応答スペクトルを求めることとした（丙4、添付書類六、6-5-46頁、丙5、65頁等）。

⁴⁴ 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

⁴⁵ 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

⁴⁶ Abrahamson, N. and W. Silva 「Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations」Earthquake Spectra, Vol. 24, 67-97頁



No.	検討用地震	Mj	Xeq ※ (km)
大飯	1 上林川断層	7.5	30.2
	2 FO-A~FO-B断層~熊川断層	7.8	11.0

※Xeqは基本ケースの値

FO-A~FO-B~熊川断層については、極近距離との乖離が大きいため、耐専式を適用範囲外と判断する。

(丙5, 64頁から抜粋)

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

【図表 4 5 耐専式の適用可否の検討】

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（乙92，253頁），新規制基準においても，この点が承継されている（乙52，3頁，I 3.1(2)）。

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，丙4，添付書類六，6-5-11～6-5-12頁，丙5，63～65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に基づき，断層のずれのタイプの違いや観測点と断層面の位置による影響もパラメータとして考慮できるもの等，それぞれ特徴を有していることから，参加人は，それらの特徴を踏まえた上で，各種の距離減衰式を用いた。また，各パラメータの設定においては，詳細な調査に基づき不確かさを考慮した保守的な値を入力し，起こりうる不確かさについても適切に考慮するなどした。

（丙4，添付書類六，6-5-11～6-5-12頁，6-5-37頁，6-5-84～6-5-85頁）

(ア) 基本ケース⁴⁷

参加人は、9個の距離減衰式（丙5、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、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで保守的に評価したことから（上記第4の2（2）エ（ウ）、同3（2）ア）、それらをもとにした地震の規模も、保守的に大きな値を設定した。

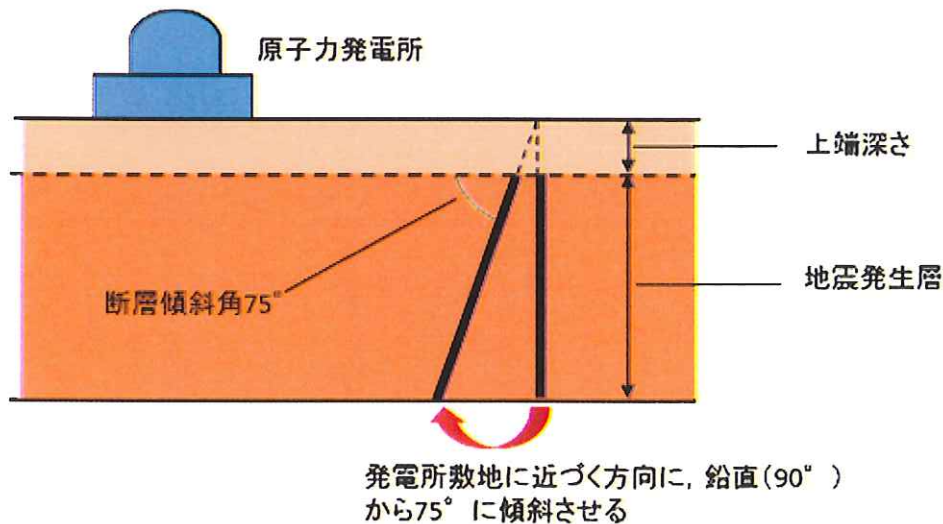
(イ) 不確かさを考慮したケース（傾斜角75° ケース）

また、FO-A～FO-B～熊川断層については、本件発電所敷地

⁴⁷ 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。これらは、地震動評価において設定すべき各種パラメータについて、そもそも詳細な調査に基づき、不確かさを考慮して保守的な条件で基本ケースを設定しているところ、それらのパラメータについて、（場合によっては科学的・専門技術的知見から合理的に考慮できる範囲を超えて）さらに不確かさを考慮して設定したものを「不確かさを考慮したケース」と呼び、これとの区別のため、前者を便宜上「基本ケース」と呼んでいる。

との位置関係等を踏まえ、各種の距離減衰式による応答スペクトルを求めるに際し、不確かさを考慮して、敷地での地震動が更に大きくなるケースを追加的に検討した。

すなわち、FO-A～FO-B～熊川断層は、上林川断層と同様、横ずれ断層であり、断層の傾きが 90° （断層面が鉛直）であると評価される（上記第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層面の傾斜角を 75° に変えることで、震源断層面と敷地との距離を近づける（地震動がより大きくなる）ケースを検討した（図表46）。



【図表46 断層傾斜角】

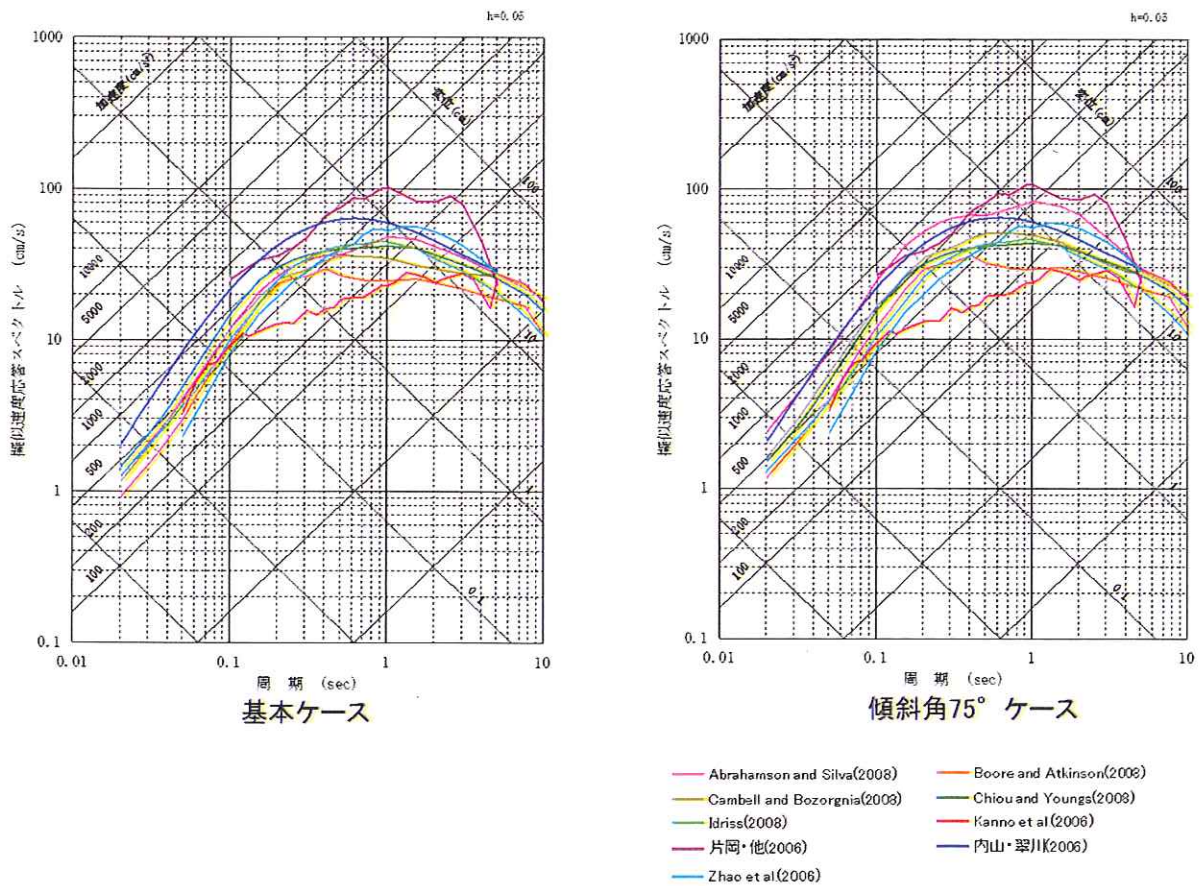
(ウ) その他のパラメータ等

参加人は、各種の距離減衰式が提案されている論文（丙5、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

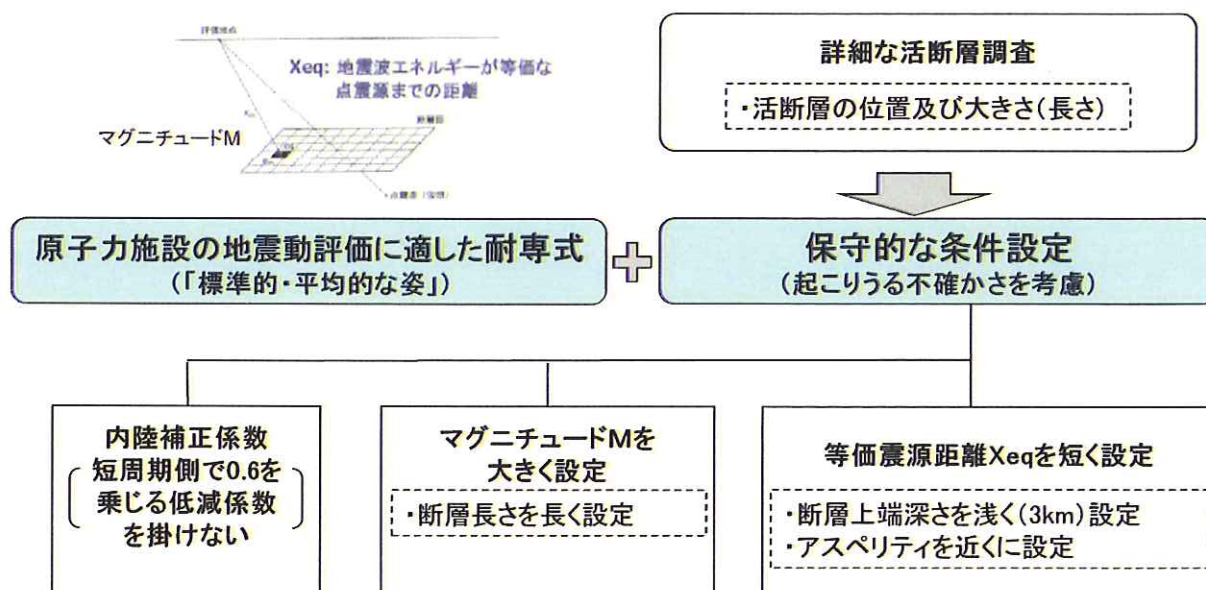
9個の距離減衰式により求めたFO-A～FO-B～熊川断層による地震の応答スペクトルは、図表47のとおりである（丙4，添付書類六，6-5-84～6-5-85頁，丙5，93頁）。参加人は，上記ア（イ）bで述べたように，これらの応答スペクトルを「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性の検討に用いることとした（検討結果については下記第7の1（2）を参照）。



【図表47 FO-A～FO-B～熊川断層による地震（基本ケース・傾斜角75° ケース）の各種の距離減衰式による応答スペクトル】

ウ 上林川断層の地震動評価

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48）。



【図表48 耐専式を用いる際の保守的な条件設定】

すなわち、耐専式を用いる際に必要となる、地震の規模（M）と等価震源距離（Xeq）については、詳細な調査に基づいて断層の位置や大きさを適切に把握し、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで、保守的な条件設定を行った。また、耐専式において、内陸地殻内地震に適用できるとして用意されている低減係数である内陸補正係数について、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。

（丙4，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、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで保守的に評価した上で（上記第4の2（2）エ（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。

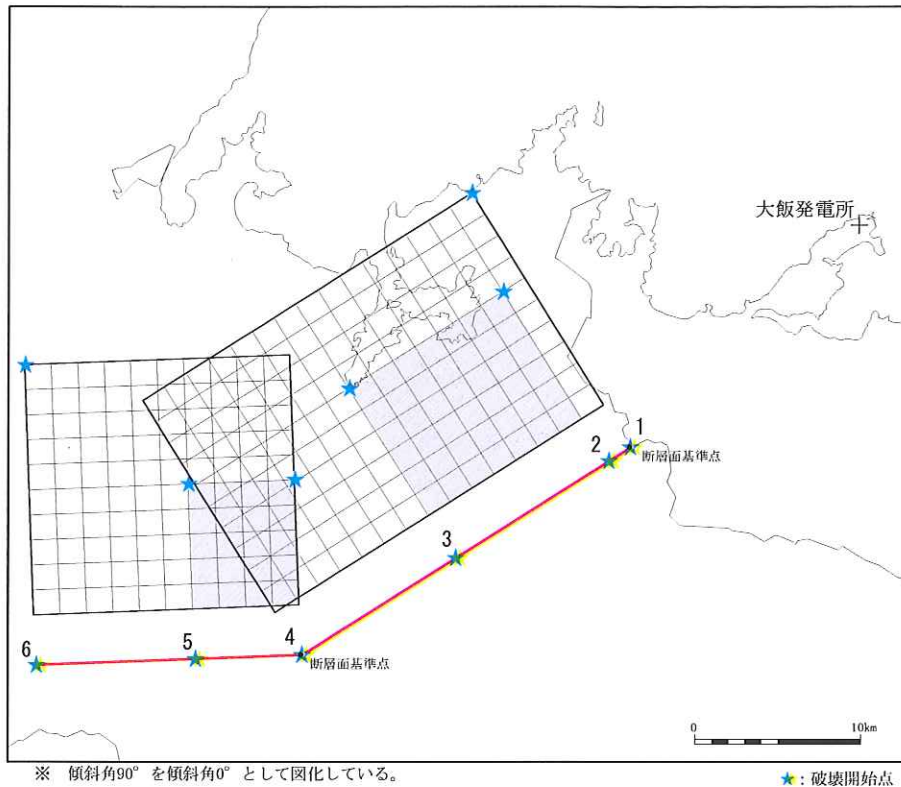
a 断層の上端（地震発生層の上端）の深さ

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、震源断層面が本件発電所敷地により近づく設定とした（下端深さは18kmと設定し、これにより断層の幅は15kmとした）（上記第4の3（2）ア（ウ））。

b アスペリティの配置

震源断層面におけるアスペリティの配置については、断層面の中央付近に設定することが基本とされている⁴⁸。しかしながら、参加人は、上林川断層について、詳細な調査に基づいてその位置を把握し、断層の長さや幅（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49。丙4，添付書類六，6-5-80頁，丙5，112頁）。

⁴⁸ 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照するレシピ（乙87）においても、アスペリティが1個の場合の位置は、震源断層面の中央付近とすることが基本の設定であるとされている（乙87，9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層面を表しており、赤い線の位置の地下にあることを示している。そして、格子状の震源断層面のうち、青色で塗りつぶされている区画がアスペリティである。

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

また、図内に複数ある小さな星印は、破壊開始点（下記3（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、震源断層面における位置を示している）。

【図表 4 9 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、断層面がほぼ鉛直で地震時のずれ方向は水平方向が主である「横ずれ断層」（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，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。

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，短周期側を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（丙18，「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）⁴⁹。

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

⁴⁹ 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。

大きく見積もり、保守的な地震動評価を行った（丙4，添付書類六，6-5-11頁）。

（エ）その他のパラメータ等

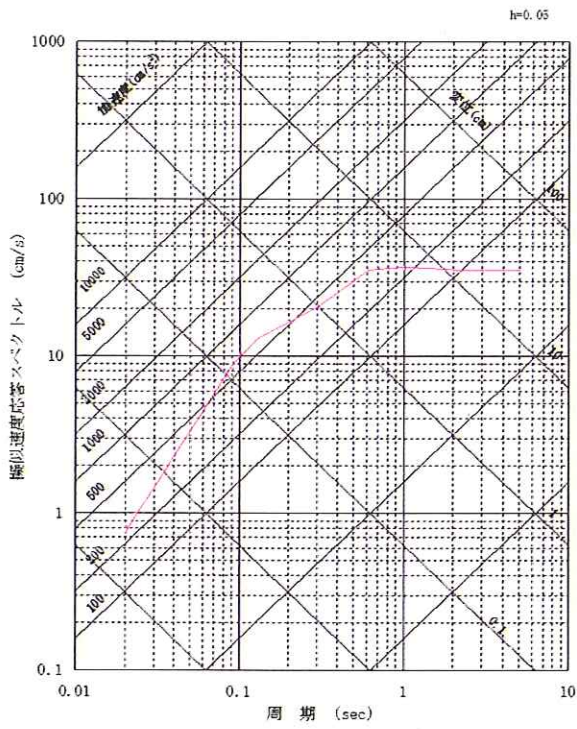
耐専式は，評価地点の地盤のP波速度・S波速度を考慮して地盤増幅率を乗じることで，評価地点の岩盤の硬さに応じた応答スペクトルに補正されるようになっており（上記ア（ア）a），評価地点の地域性を踏まえて地震動評価を行うことが予定されている。

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）について，上記第4の3（2）イ及びウで述べた詳細な調査に基づいて，本件発電所敷地の解放基盤表面のP波速度及びS波速度をそれぞれ約4.3km/s，約2.2km/sと評価するとともに，地震波の局所的な集中を生じさせるような特異な地下の速度構造がなく，耐専式で得られる評価結果を補正する必要がないことを確認した。

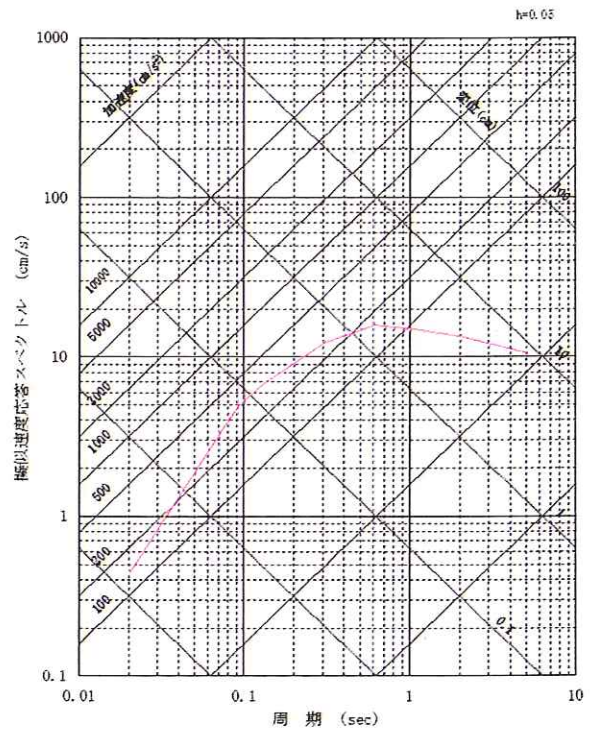
（オ）地震動評価結果

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50のとおりである（丙4，添付書類六，6-5-82～6-5-83頁，丙5，115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。



水平方向



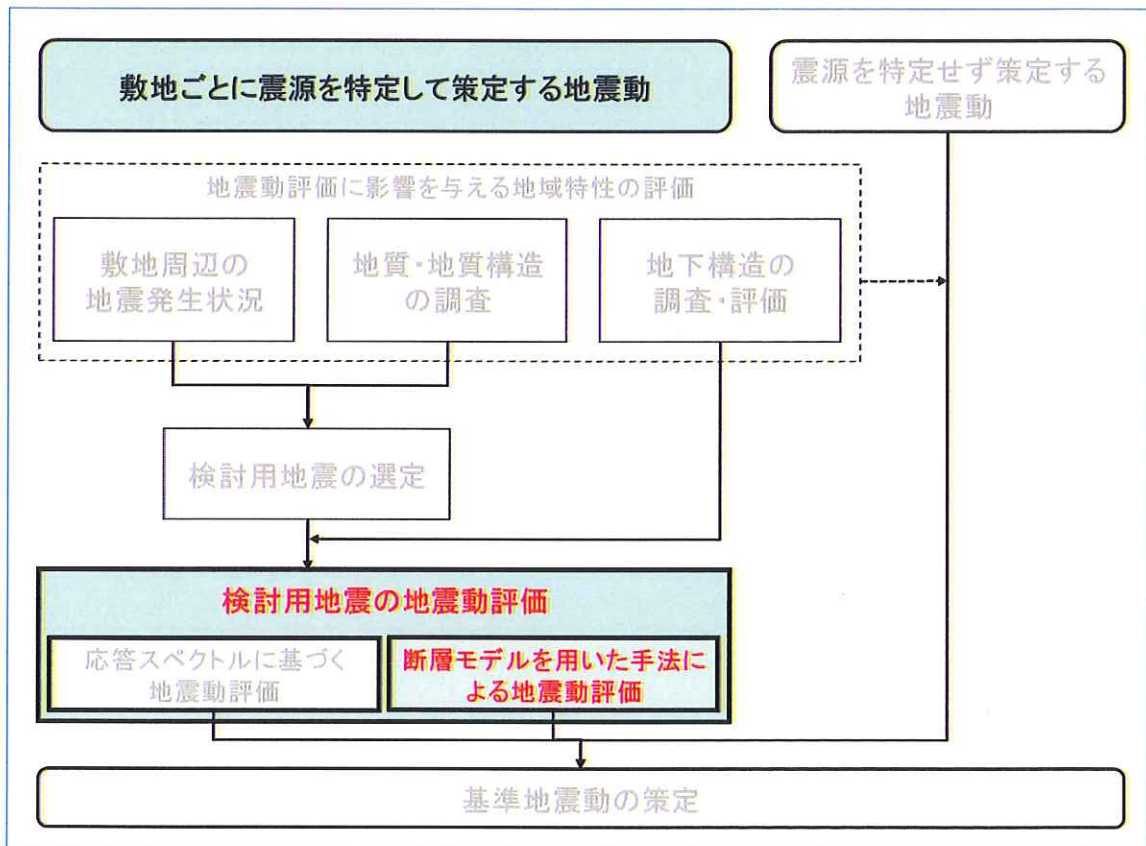
鉛直方向

— 基本ケース (M7.5, Xeq=30.2km)

【図表 5 0 上林川断層による地震（基本ケース）の

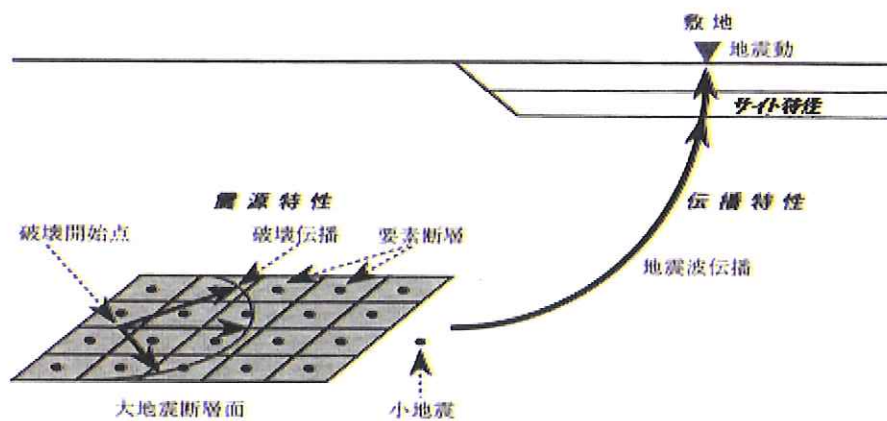
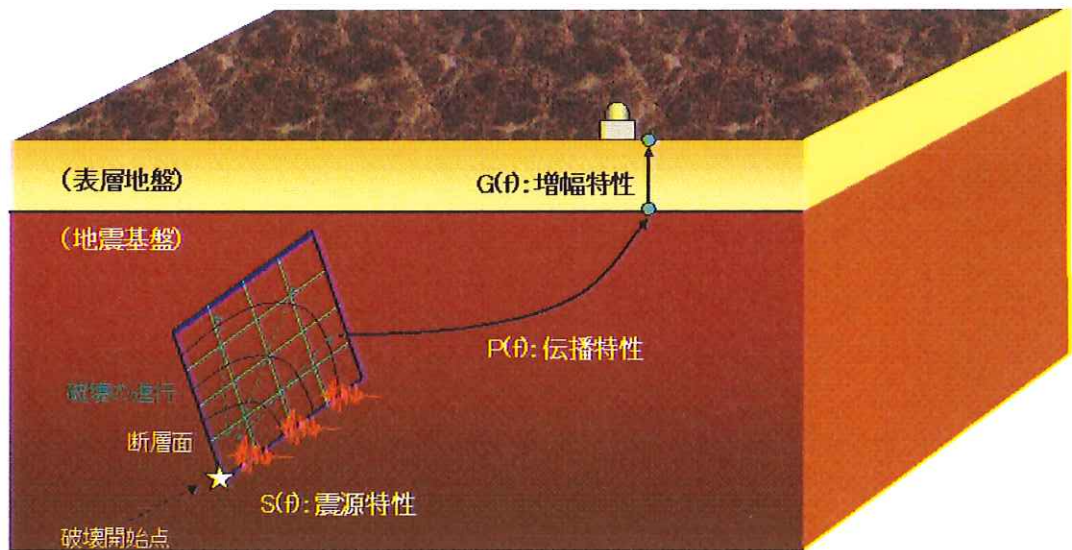
耐専式による地震動評価結果】

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増幅特性（サイト特性）を考慮して行う地震動評価である（図表 5 1）。

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 5 1 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④ ii），乙44，128頁）。

これを受けて、地震ガイドは、まず、震源モデルの設定について、「震源

断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法』（引用者注：「レシピ」（乙87）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（乙52, 4～5頁, I 3.3.2(4)①）。

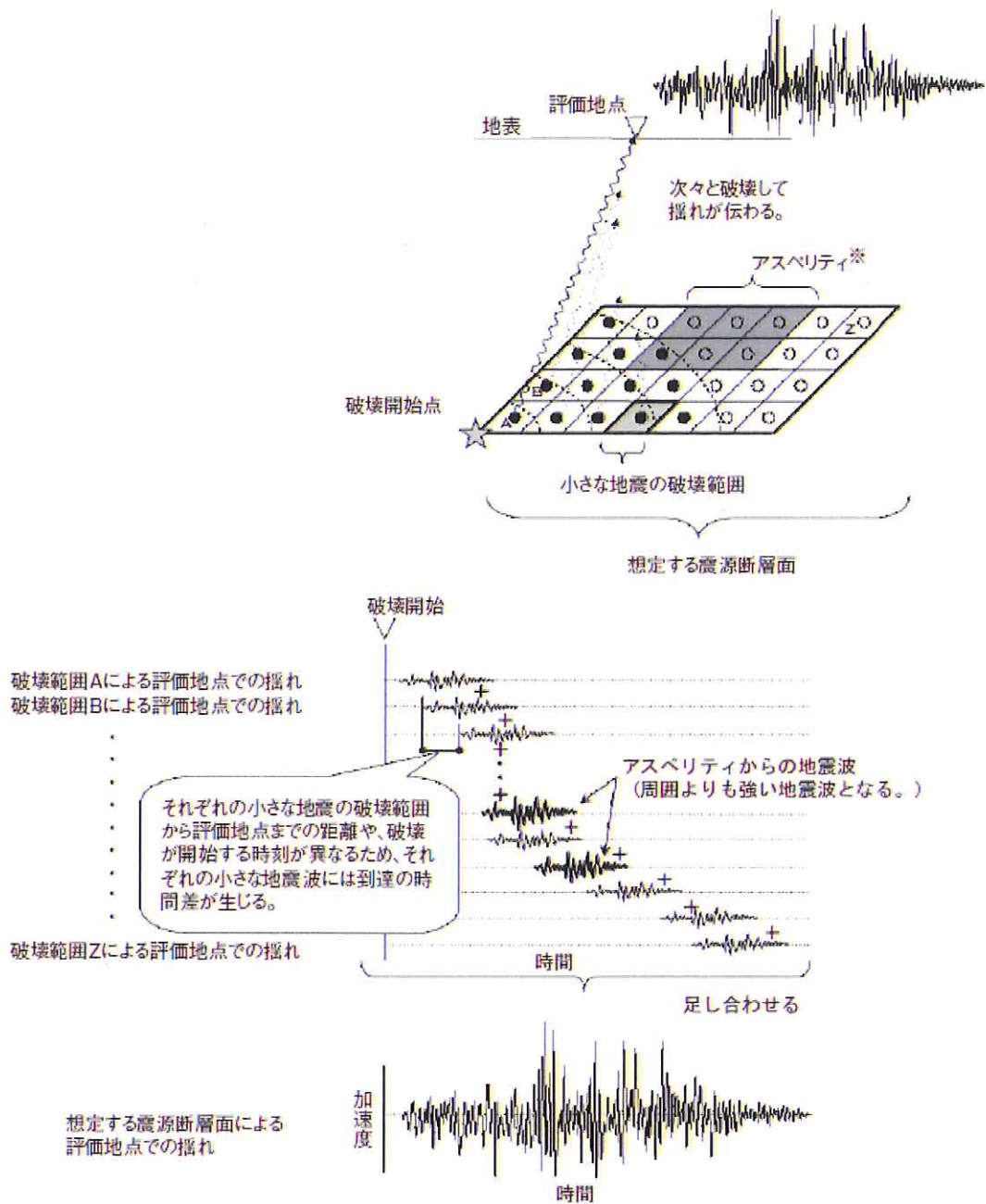
また、地震動計算において統計的グリーン関数法（下記（2）ア（ア））等を用いる場合について、「震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの増幅特性が地盤調査結果等に基づき評価されていること」を確認するとしている（乙52, 5頁, I 3.3.2(4)③1）。

（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⁵⁰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52）。

⁵⁰ 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 5 2 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（乙87）等を参照するなどして、検討用地震ごとに、十分に不確かさを考慮して、震源断層パラメータを設定し、震源断層をモデル化した（下記イ）。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）。

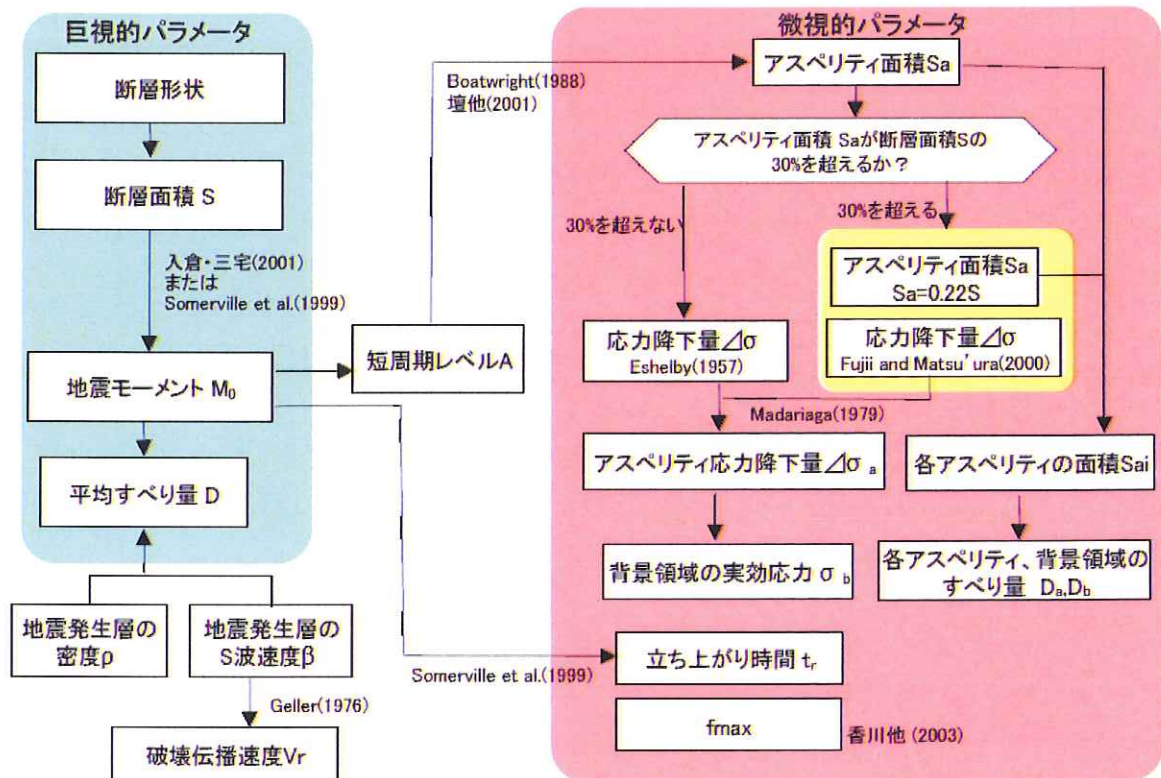
（イ）ここで、参加人が参照したレシピ（乙87）は、多数のパラメータが、パラメータ間の関係式を用いて設定されている一連の地震動評価手法であるが、このレシピは、実際の地震動を精度よく再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている。

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（乙52，4～5頁，I 3.3.2(4)①1）ことに加え、国の防災計画や地方公共団体の地域防災計画等の検討において実績の豊富な信頼性の高い手法として採用されていることから裏付けられる。

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照するなどして、震源断層パラメータを設定した（図表5.3。丙4，添付書類六，6-5-75頁，丙5，66頁）。



【図表 5 3 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」における
震源断層パラメータの設定の流れ】

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)エ)。また、断層の幅については、FO-A

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

この結果，震源断層面積は，F O－A～F O－B～熊川断層は951km²，上林川断層は592.5km²となった（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-39頁，6-5-44頁等，丙5，80頁，113頁等）。

（b）不確かさの考慮

さらに，F O－A～F O－B～熊川断層については，下記（イ）c（b）で述べるとおり，不確かさを考慮し，断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ，断層面を90°から75°に傾斜させると（上記2（2）イ（イ）の図表46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（丙4，添付書類六，6-5-40頁，丙5，87頁）。

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・m（Nはニュートン））である。

レシピでは，入倉・三宅（2001）⁵¹（甲96）で提案されている，

⁵¹ 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

震源断層面積と地震モーメント (M_0) との関係式⁵² ($M_0 \geq 7.5 \times 10^{25}$ dyne-cmの場合は $S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}$ 。以下、「入倉・三宅式」という) が示されている。

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

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⁵³、この関係式を用いて震源断層面積から地震モーメントを求めた。上記 a のとおり震源断層面積を保守的に大きく設定した結果、震源断層面積から求められる地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となり、FO-A～FO-B～熊川断層については 5.03×10^{19} N・m、上林川断層については 1.95×10^{19} N・m となった（丙4、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、丙5、80頁、113頁等）。

⁵² 甲96号証861頁、図8の「Step3」の式（レシピでは、乙87号証4頁、(3)の式）。

⁵³ レシピでは、「(3)式（引用者注：入倉・三宅式）を適用するのは、 $M_0 = 7.5 \times 10^{18}$ (N・m)・・・以上 $M_0 = 1.8 \times 10^{20}$ (N・m)・・・以下の地震とする。一方、 $M_0 = 1.8 \times 10^{20}$ (N・m) を上回る地震では、・・・次式（引用者注：(4)式）を用いる」（乙87、5頁、(c)）、「利便性に配慮して機械的に値が求められるように、式の使い分けの閾値を決めているが、原理的には断層幅や平均すべり量が飽和しているかどうかでスケール則が変わるため、断層幅が飽和していない場合(1-a)式は(2)式を、飽和している場合(1-b)式は(3)式（引用者注：入倉・三宅式）あるいは(4)式を用いる方が合理的である」（乙87、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-B～熊川断層については $M_0 = 5.03 \times 10^{19}$ N・m、上林川断層については $M_0 = 1.95 \times 10^{19}$ N・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。

(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（丙4，添付書類六，6-5-40頁，
丙5，87頁）。

c 短周期レベル (A)

(a) 基本ケース

続いて，上記bの地震モーメントから短周期レベルを求めた。

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

レシピでは，壇ほか (2001)⁵⁴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 $1.96 \times 10^{19} \text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ ，
上林川断層については $1.43 \times 10^{19} \text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ となった（丙4，添付
書類六，6-5-39頁，6-5-44頁等，丙5，80頁，113頁等）。

⁵⁴ 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

(b) 不確かさの考慮

さらに、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、下記
(イ) c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、この場合の短周期レベル(A)は、 $2.03 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$ となった(丙4, 添付書類六, 6-5-40頁, 丙5, 87頁)。

また、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の短周期レベルが平均的な短周期レベルの1.5倍であったとの新たな知見⁵⁵については、このような現象がこれまで他の地震において一般的に見られたものではないこと、本件発電所敷地周辺では「標準的・平均的な姿」よりも大きくなる地域性が存する可能性を示すデータは特段得られていないことから、当該知見については、これを基本ケースとする必要はなく、別途不確かさとして考慮するのが適切であると判断し、短周期の地震動レベルを1.5倍とするケースも設定することとした⁵⁶(丙4, 添付書類六, 6-5-36頁)。

加えて、破壊伝播速度を 0.87β に上げるとともに短周期の地震動レベルを1.25倍とするケースも設定することとした(丙4, 添付書類六, 6-5-36頁, 丙5, 77~78頁)

⁵⁵ 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。

⁵⁶ 脚注55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。

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。

もともと、この方法では、断層が長大で面積が大きくなるほど、既往の調査・研究成果と比較してアスペリティ面積が過大評価となる傾向にあるとされている (乙87, 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)⁵⁷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⁵⁸。

以上の結果、各検討用地震の断層に係るアスペリティの総面積は、FO-A~FO-B~熊川断層で209.22km²、上林川断層で158.31km²となった (丙4, 添付書類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁等, 丙5, 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)

⁵⁷ Somerville, P. ほか「Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion」, Seismological Research Letters, 70, 59-80頁

⁵⁸ 被告準備書面 (19) 第3の2 (32~36頁) で述べられている「(b) ルート」に相当する。

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、断層の幅が広くなることから震源断層面積も広くなり、それに伴ってアスペリティ面積も広くなる。この場合のアスペリティの総面積は、220.63km²となった（丙4，添付書類六，6-5-40頁，丙5，88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)⁵⁹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 ($\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$)⁶⁰ (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

⁵⁹ 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

⁶⁰ 本文記載の方法は、震源断層面を円形のもの（円形破壊面）と仮定し、等価半径（震源断層面積 S と等価になる円の半径） R を求めた上で、等価半径及び地震モーメントと震源断層全体の応力降下量との関係式（乙87，12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。

量については、Fujii&Matsu'ura (2000) ⁶¹において、収集した観測データに基づく回帰計算により $\Delta \sigma = 3.1 \text{MPa}$ が提案されており、レシピでは、長大な断層についてこの知見を用いることが示されている (乙87, 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、丙4, 添付書類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁等, 丙5, 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、震源断層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、震源断層面全体で平均した単位面積当たりの応力降下量 (平均応力降下量: $\Delta \sigma$) よりも大きな値となる。

レシピでは、Madariaga (1979) ⁶²で提案されている、震源断層面積 (S) に占めるアスペリティ面積 ($S a$) の割合 (アスペリティ面積比。 $S a / S$) と、上記 e の震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$) から、アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma a$) を求める関係式が示されている ($\Delta \sigma a = (S / S a) \times \Delta \sigma$) (乙87, 11頁, (21-1))

⁶¹ 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

⁶² 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

式)。⁶³

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（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-39頁，6-5-44頁等，丙5，81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」（乙87，12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、丙5号証の81頁（FO-A～FO-B～熊川断層による地震の基本ケースのパラメータ設定）において、アスペリティの応力降下量（ $\Delta\sigma_a$ ）は、「FO-A～FO-B断層」内の「大アスペリティ」，「小アスペリティ」と，「熊川断層」のアスペリティは、いずれも14.1MPaで同じ値とした）。

g 破壊伝播速度（ V_r ）

（a）基本ケース

破壊伝播速度（ V_r ）は、断層の破壊開始点から始まったずれ（破壊）が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。既往の研究において、標準的には地震発生層におけるS波速度 β の0.72倍（ 0.72β ）とされており、本件発電所の地震動評価においても 0.72β としている（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-39頁，

⁶³ なお、アスペリティの応力降下量については、震源断層全体の応力降下量の場合（上記eの方法①）と同様に、アスペリティを円形のものとして仮定し、アスペリティの等価半径 r を乙87号証10頁の(13)式から求めた上で、アスペリティの等価半径 r ，震源断層面の等価半径 R ，地震モーメントと、アスペリティの応力降下量との関係式（乙87，11頁，(21-2)式）「 $\Delta\sigma_a = (7/16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$ 」から求める方法が提案されている。そして、この(21-2)式については、「(21-1)式と等価な式」（乙87，11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。

6-5-44頁，丙5，69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（ 0.87β ）としたケースを設定した（丙4，添付書類六，6-5-36頁，6-5-42頁，6-5-45頁，丙5，84頁，114頁）。

(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（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（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-76頁，6-5-80頁，丙5，79頁，112頁）。

(b) 不確かさの考慮

その上で、参加人は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について、原子力規制委員会の議論も踏まえ、念のため、現実には起こるとは想定し難いようなアスペリティの配置（アスペリティを一塊に寄せ集め、正方形又は長方形にして本件発電所敷地近傍に配置するケース）も設定することとした（丙4，添付書類六，6-5-36頁，6-5-78~6-5-79頁，丙5，89頁，91頁）。

b 破壊開始点

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

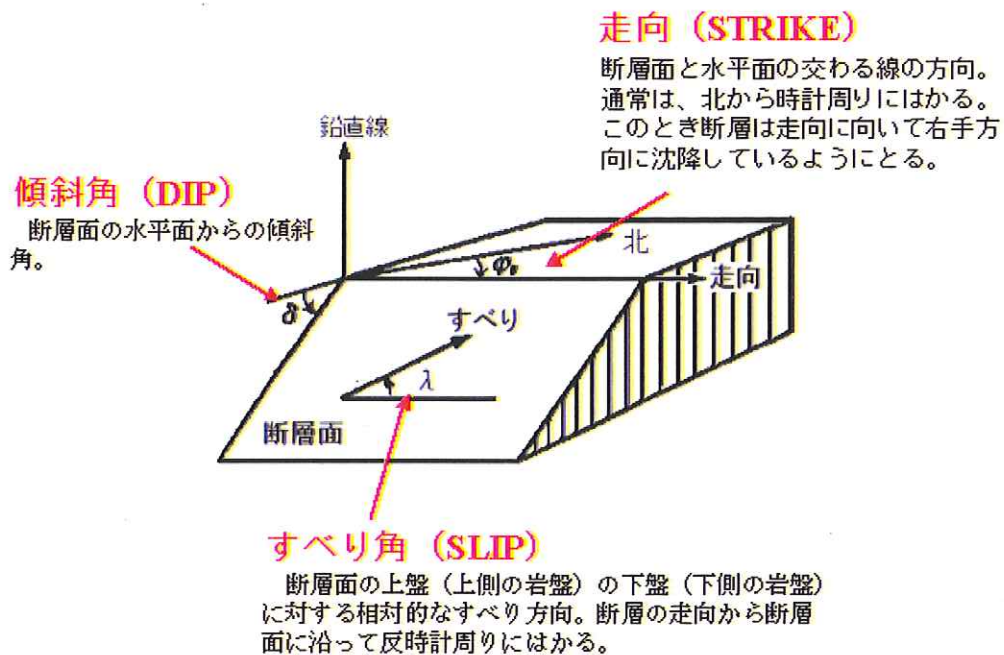
破壊開始点については、地震の発生前に位置を予測することが難しいとされており、また、地震動の評価地点（発電所敷地）から見て、遠い方から近い方に破壊が進行していく場合に評価地点での地震動が大きくなるとされている。

そこで、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（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-76頁，6-5-80頁等，丙5，79，112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54）



【図表54 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（丙4，添付書類六，6-5-35頁，6-5-39頁，6-5-44頁等，丙5，78頁，80頁，110頁，113頁等）。

(b) 不確かさの考慮

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

このことから、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（丙4、添付書類六、6-5-36頁、6-5-40頁～6-5-41頁、丙5、82頁、87頁）。

ウ 地震波の伝播特性、地盤の増幅特性（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、地盤の増幅特性（サイト特性）を適切に評価した。

具体的には、まず、地震波の伝播特性には幾何減衰と内部減衰があり、幾何減衰が大きな部分を占める。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、地盤の増幅特性（サイト特性）については、詳細な調査結果から、本件発電所敷地及び敷地周辺の地盤の速度構造を精度良く把握するとともに、局所的に地震波の集中をもたらすような特異な構造が見られ

ないことを確認した。

(上記第4の3(2)イ及びウ)

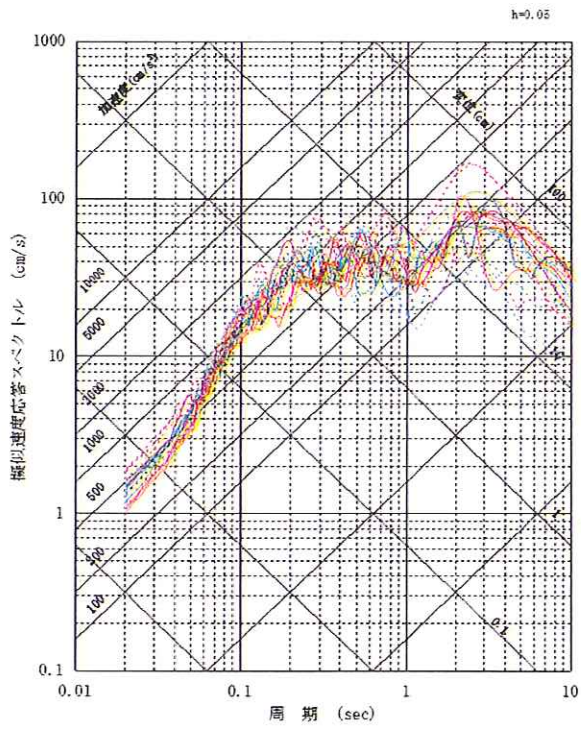
エ 地震動評価結果

(ア) 以上のとおり、震源断層をモデル化し(上記イ)、地震波の伝播特性と地盤の増幅特性(サイト特性)を設定した上で(上記ウ)、これらをもとに、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。

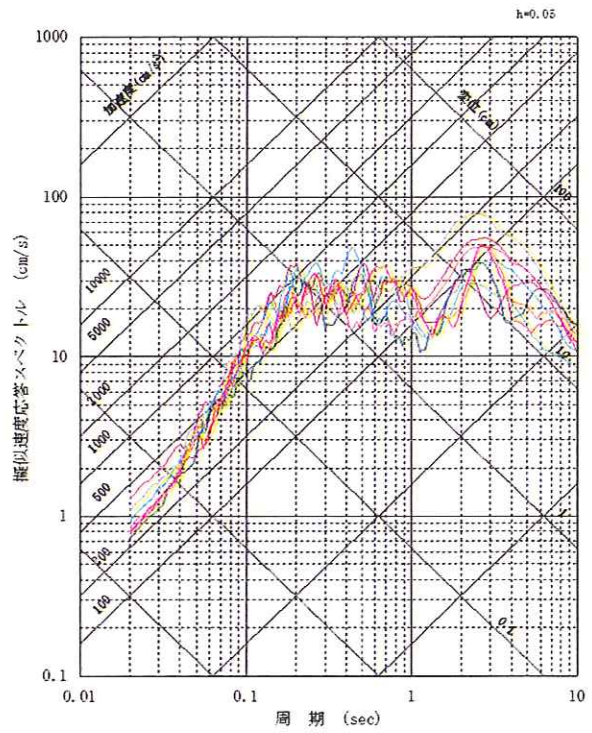
震源断層パラメータについて様々な不確かさを考慮することとした結果、本件発電所敷地に近いFO-A～FO-B～熊川断層による地震については64ものケースを設定して保守的に評価した。また、上林川断層による地震についても、18のケースを設定して保守的に評価した。

(丙4, 添付書類六, 6-5-38頁, 丙5, 78頁, 111頁)

(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55(FO-A～FO-B～熊川断層による地震)及び図表56(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、丙4, 添付書類六, 6-5-87～6-5-119頁等, 丙5, 94頁, 116頁等)。



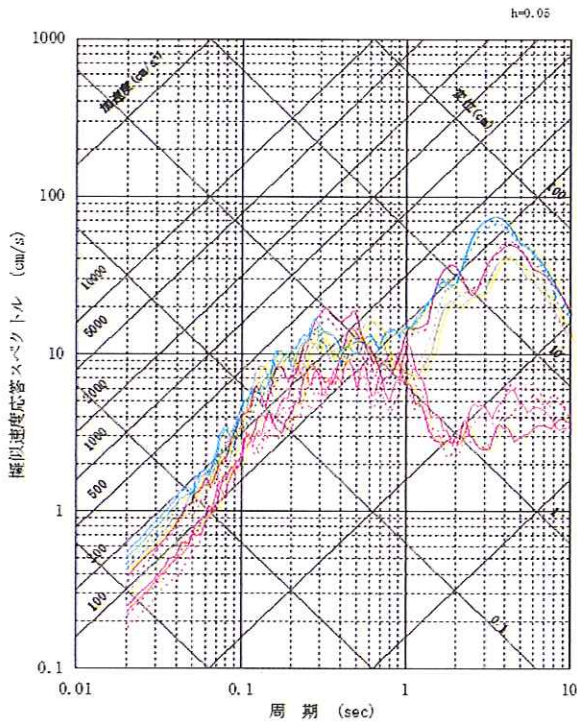
水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)



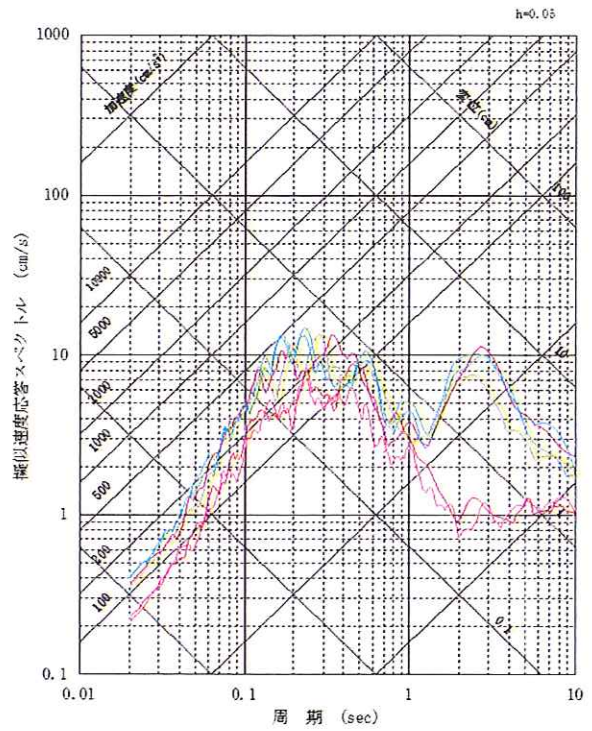
鉛直方向



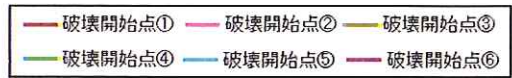
【図表 5 5 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震 (基本ケース) の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

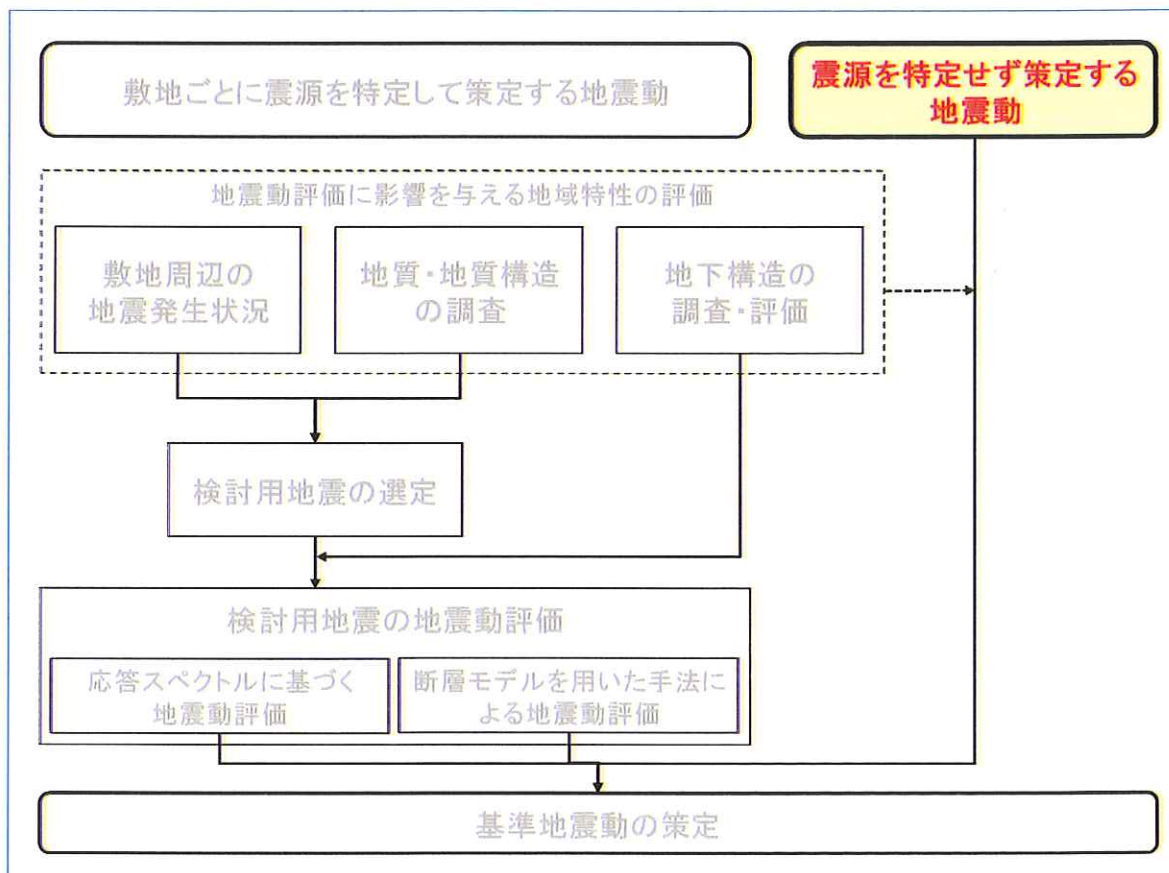


鉛直方向



【図表 5 6 上林川断層による地震（基本ケース）の
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】

第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，乙44，128～129頁）。

これを受けて、地震ガイドは、観測記録の収集に関して、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」と「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」を対象とすることとして、収集対象となる16の内陸地殻内地震を例示している（乙52，7～8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）オの図表36））。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。

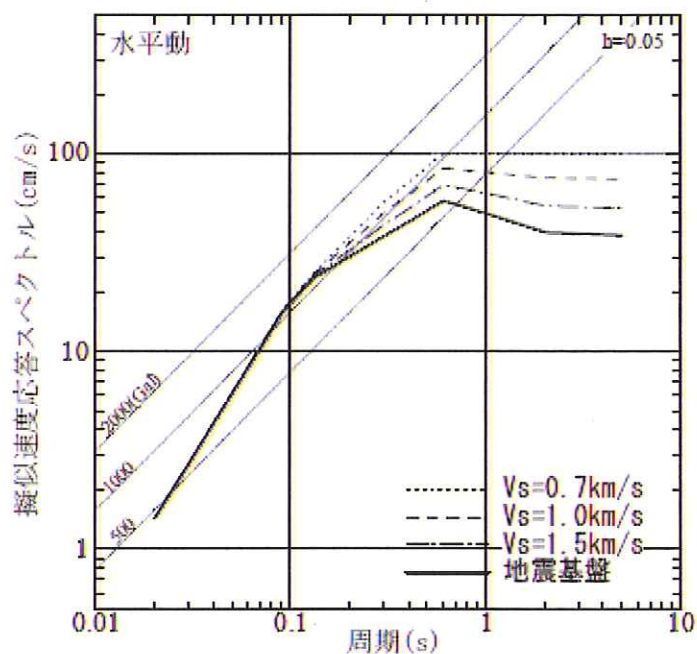
しかるところ、参加人は、上記の要求事項を踏まえ、「震源を特定せず策定する地震動」について、以下のとおり評価を行った。

（1）加藤ほか（2004）による応答スペクトル

まず、加藤ほか（2004）⁶⁴（丙19）で示されている応答スペクトルについ

⁶⁴ 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，

て検討した。加藤ほか（2004）では，日本や米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象⁶⁵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つたと考えられる地震を選定し，選定された地震の震源近傍の観測記録等を概ね上回るような地震動の応答スペクトルが示されている（図表5.7。丙19，65頁）。



（丙19，65頁の図9より）

【図表5.7 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5.7に示す「地震基盤」の応答スペクトルが設定されてい

⁶⁵ 加藤ほか（2004）は，地震カタログが整備された1885年以降に日本で観測された内陸地殻内地震，1940年以降に米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象として検討を行ったとしている。

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 5 8。乙52，8頁の表-1，丙4，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年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

【図表 5 8 地震ガイドで例示されている16地震】

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」と「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」の区別に従い、Mw6.5⁶⁶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（乙52、8頁、I 4.2.1解説(2)）ことを踏まえ、上記2つの地震の震源域周辺と本件発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどした。その結果、本件発電所敷地周辺において、上記2つの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が、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

⁶⁶ 地震の規模を表すマグニチュード（M）には、気象庁マグニチュード、モーメントマグニチュード（Mw）等、いくつかの種類があり、同じ地震でも異なった値になることがある。モーメントマグニチュード（Mw）は、断層運動の大きさ（エネルギー）を表す地震モーメント（M₀）をもとに、 $Mw = 1/1.5 \times (\log M_0 - 9.1)$ という算式で計算される値である。

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、上記第4の3(2)ウの冒頭で述べたとおり、地震波は、一般的に硬い地盤から軟らかい地盤に伝わる時に増幅して大きくなることから、仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも、地震波の増幅の程度は賀祥ダムの地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、この賀祥ダムでの観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、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、地盤の特性による補正等を行わず、観測記録をそのまま用いて応答スペクトルを設定した。

(以上アについて、丙4、添付書類六、6-5-13～6-5-14頁、丙5、124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）（丙20）⁶⁷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、地震波の増幅の程度はHKD020（港町観測点）の地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、このHKD020（港町観測点）での観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、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

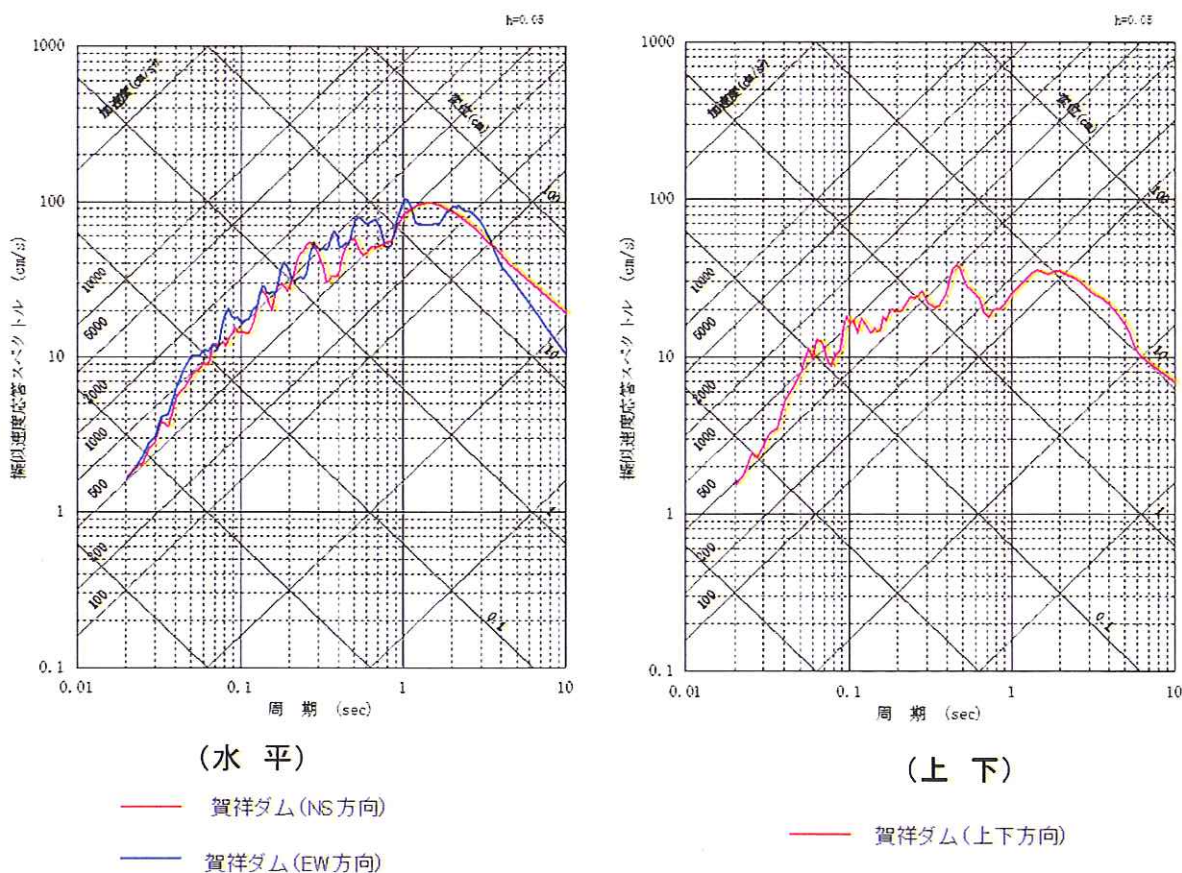
⁶⁷ 佐藤浩章ほか「物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点（HKD020）の基盤地震動とサイト特性評価」電力中央研究所報告

620ガルに、鉛直方向306ガルから320ガルに)して、本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」として評価し、応答スペクトルを設定した。

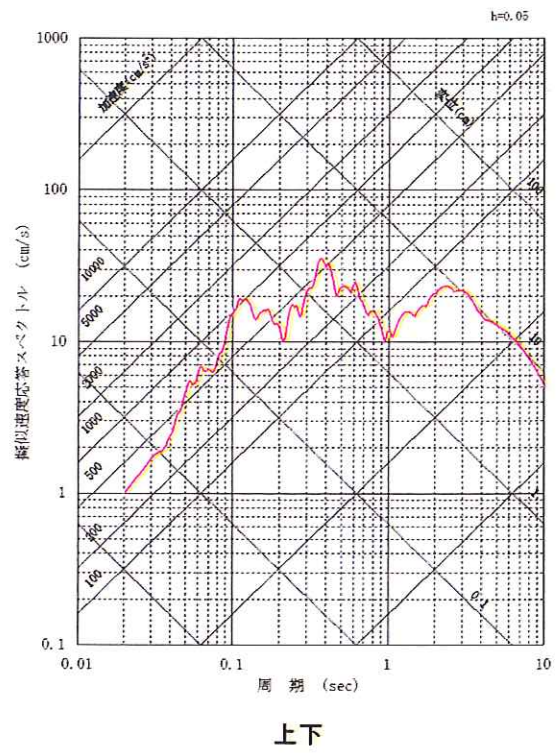
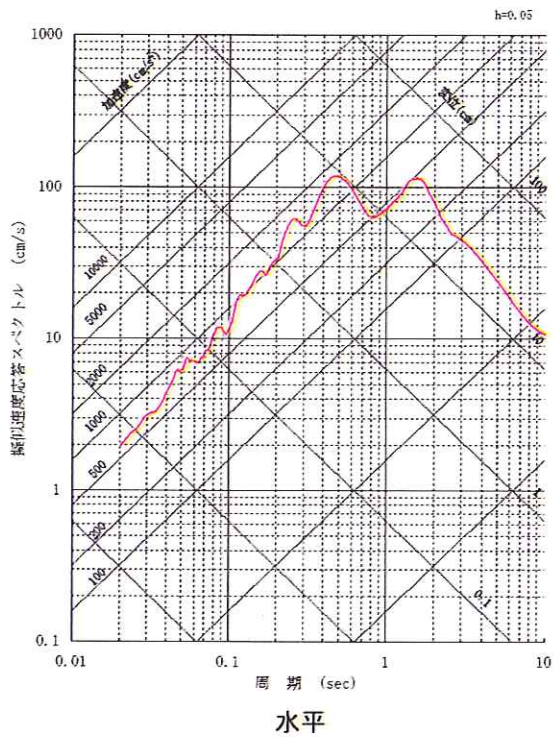
(以上イについて、丙4, 添付書類六, 6-5-14~6-5-15頁, 丙5, 125~128頁)

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59及び図表60のとおりである(丙4, 添付書類六, 6-5-123~6-5-124頁, 丙5, 124, 129頁)。



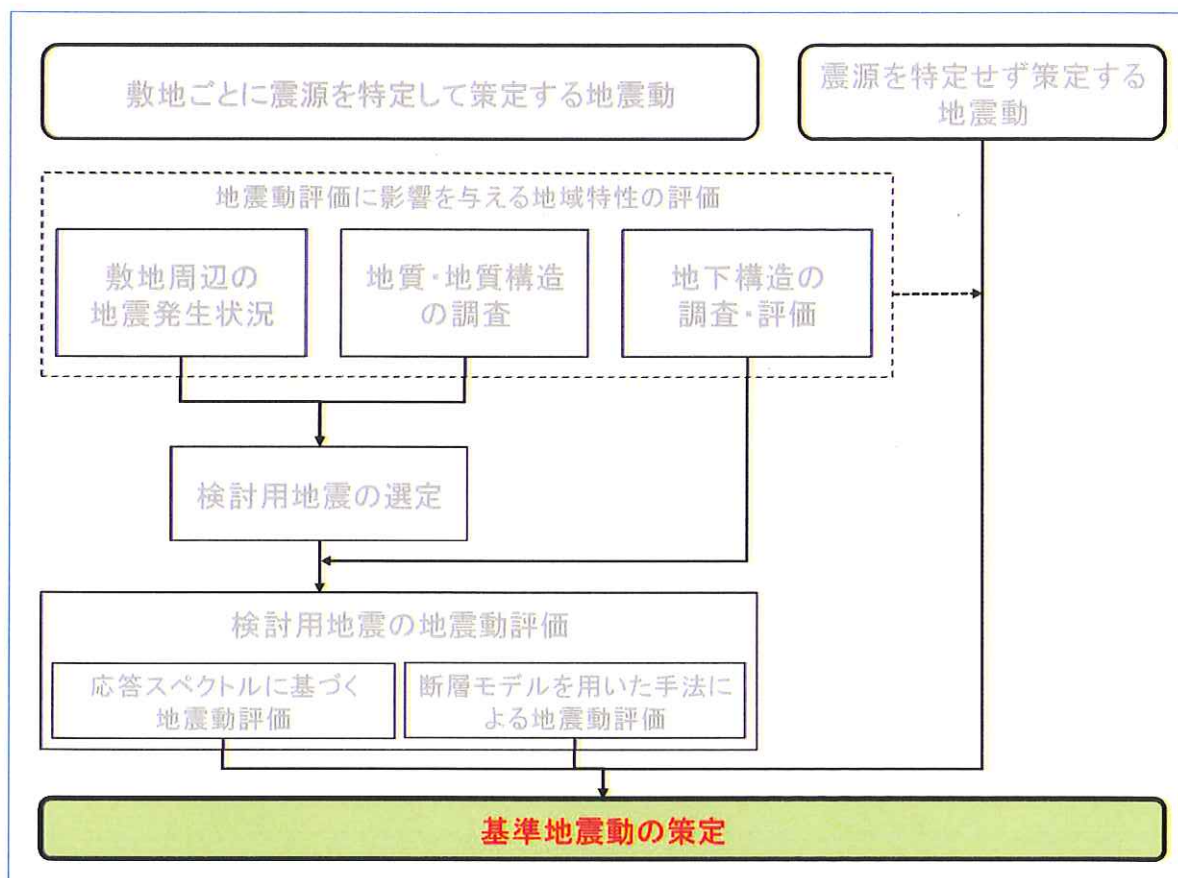
【図表59 鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル】



— 震源を特定せず策定する地震動(留萌)

【図表 6 0 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



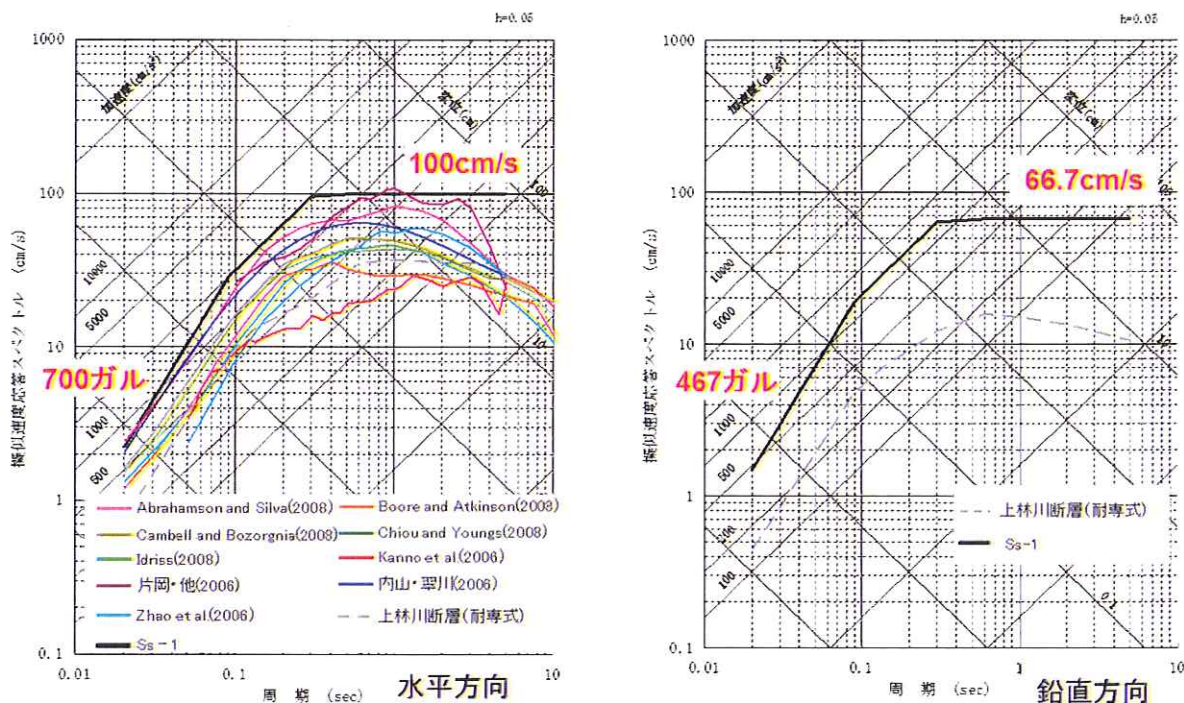
ここまで説明してきた、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」（上記第5）及び「震源を特定せず策定する地震動」（上記第6）の評価結果を踏まえて、以下のとおり本件発電所の基準地震動を策定した。

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61の黒色線のとおり策定した（丙4、添付書類六、6-5-125～6-5-126頁、丙5、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、丙 4 号証の添付書類六の 6-5-141 頁，丙 5 号証の 135 頁を参照）



【図表 6 1 基準地震動 S s - 1 の応答スペクトル】

基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルは，上林川断層による地震の耐専式による地震動評価結果（図表 6 1 の破線）を，水平方向・鉛直方向ともに，全ての周期帯で上回っている（丙4，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（エ）の図表47）と，基準地震動 S s - 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⁶⁸が，短周期側（0.02秒付近）で700ガルを超えており，また，②傾斜角75° ケースの片

⁶⁸ 図表 6 1 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。

岡ほか（2006）の関係式による応答スペクトル⁶⁹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6 1の左側の図を参照。丙4，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。

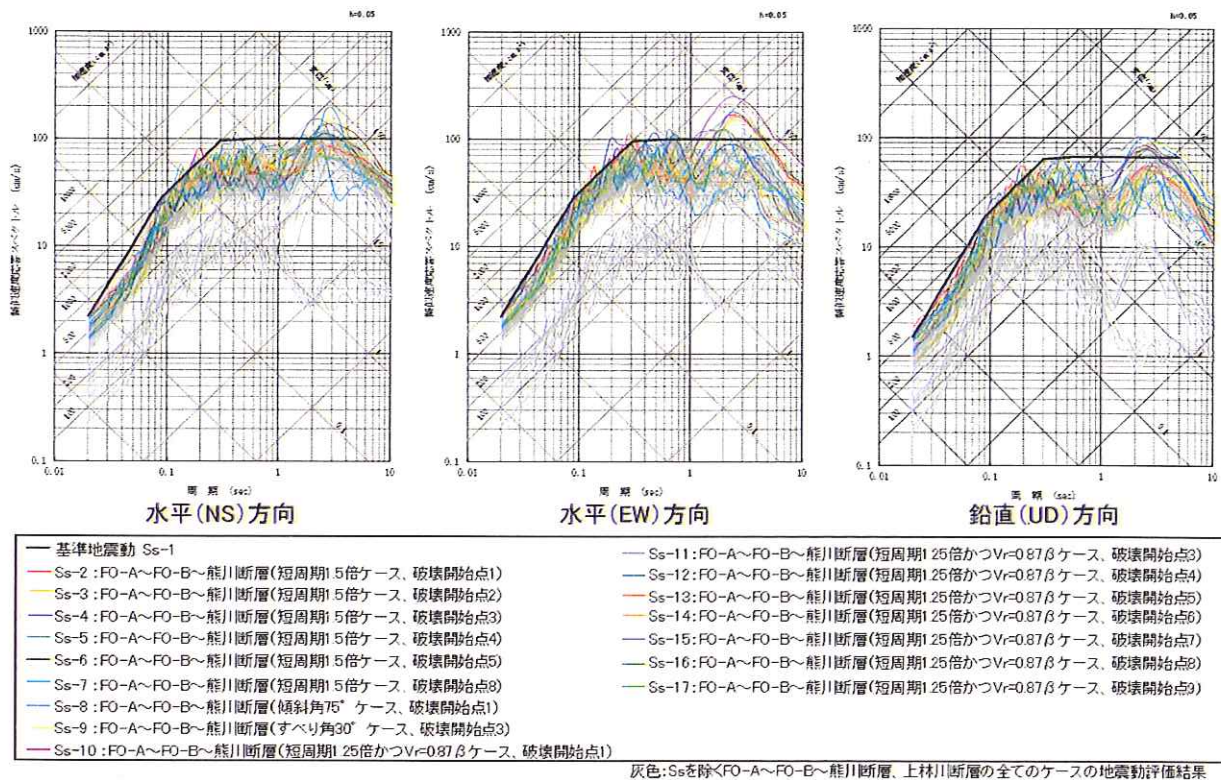
また，上記②については，片岡ほか（2006）の関係式が基礎としている観測記録が得られた各観測点の表層地盤のS波速度の平均値は720m/sであり，本件発電所の基準地震動を設定した解放基盤表面（S波速度2.2km/s）とは地震波の伝播速度が大きく異なり，硬さの異なる地盤であるため，片岡ほか（2006）の関係式による応答スペクトルと基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルとを精度良く比較するためには，前者を地盤の硬さを踏まえて補正する必要がある。そこで，複数の補正式を用いて補正したところ，いずれの補正式によっても，補正された応答スペクトルは，全周期帯で基準地震動 $S_s - 1$ の応答ス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）エ）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 $S_s - 2$ ～ $S_s - 17$ として策定した（図表6 2。丙4，添付書類六，6-5-134～6-5-136頁，丙5，131頁）。最大加速度は，水平方向が基準地震動 $S_s - 4$ （EW方向）の856ガル，鉛直方向が基準地震動 $S_s - 14$ の613ガル

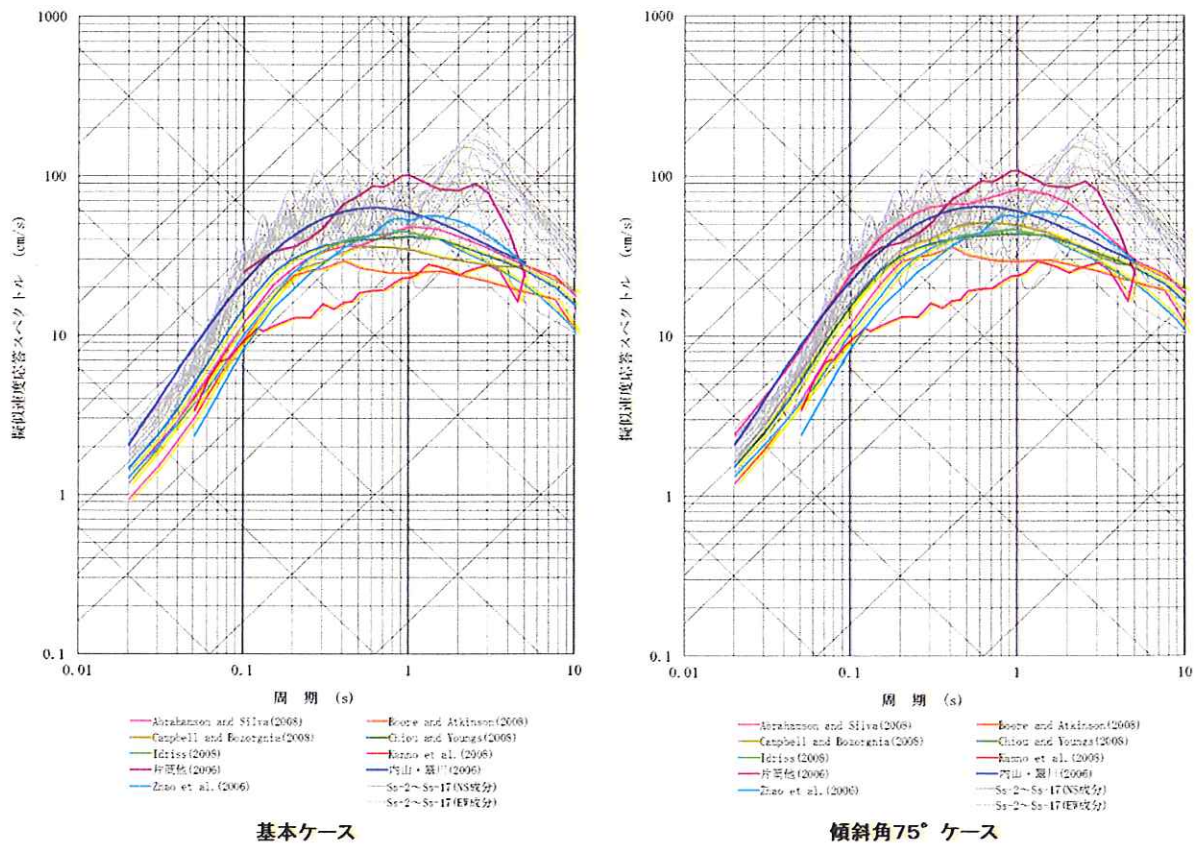
⁶⁹ 図表6 1の左側の図の「片岡・他（2006）」（紫色線）で示されている応答スペクトルを指す。

である。（基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 17$ の加速度時刻歴波形については、丙 4 号証の添付書類六の 6-5-142~6-5-157 頁，丙 5 号証の 136~139 頁を参照）



【図表 6 2 基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 17$ の応答スペクトル】

なお、FO-A~FO-B~熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトル（上記第 5 の 2 (2) イ (エ) の図表 4 7）と、基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 17$ の応答スペクトル（水平方向）とを重ね合わせて比較し、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性を検討したものが図表 6 3 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 $S_s - 2 \sim S_s - 17$ の応答スペクトルは、各種の距離減衰式による応答スペクトルと概ね同等ないしはこれを上回る結果となっており、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性が示されているといえる。



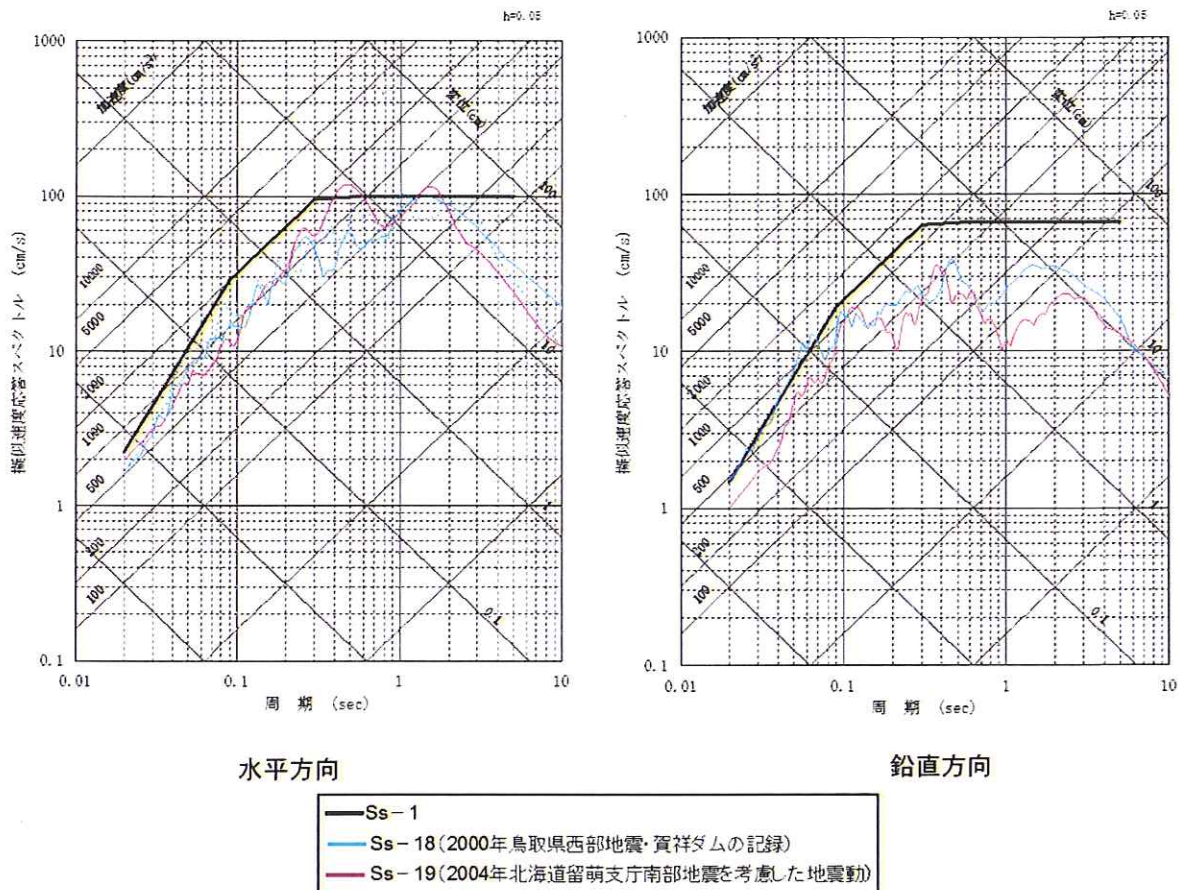
【図表 6 3 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の各種の距離減衰式による
応答スペクトルと基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 17$ との比較】

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 $S_s - 1$ 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 $S_s - 1$ 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 $S_s - 18$ 、 $S_s - 19$ として策定した (図表 6 4。丙 4、添付書類六、6-5-137~6-5-139 頁、丙 5、132 頁)。(基準地震動 $S_s - 18$

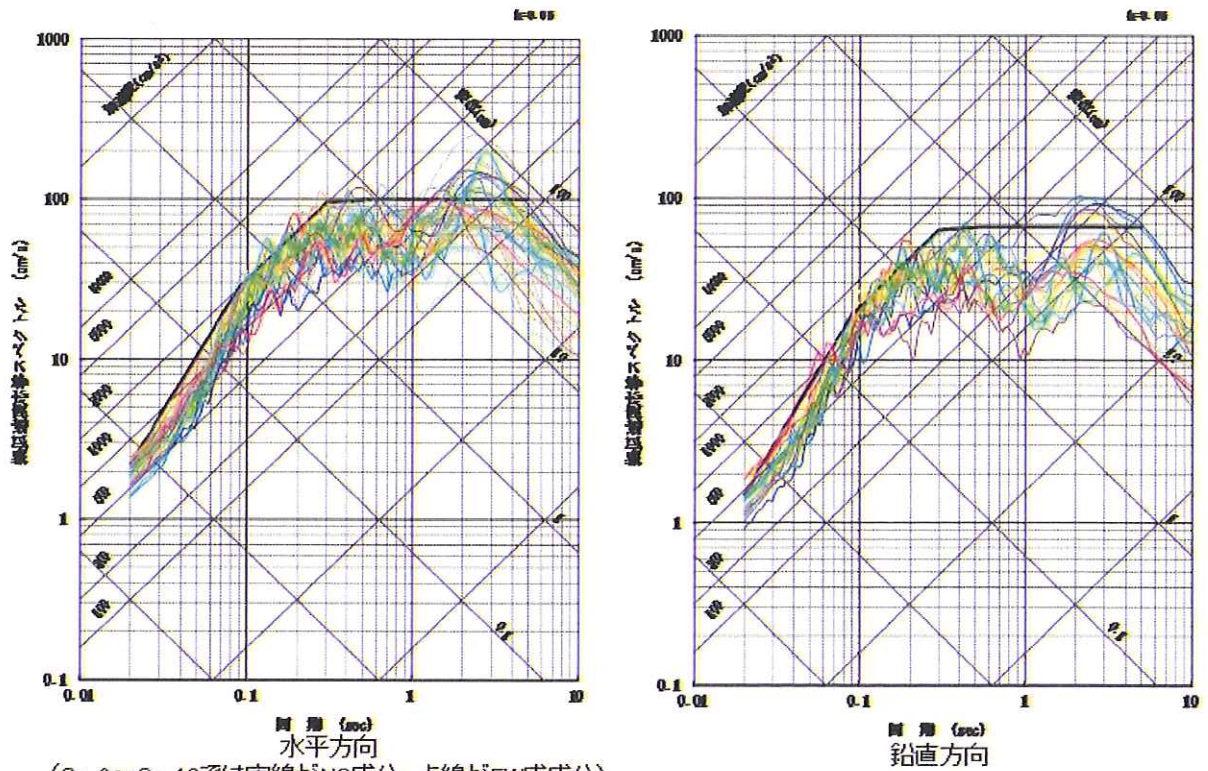
及びS s - 1 9の加速度時刻歴波形については、丙 4 号証の添付書類六の 6-5-158~6-5-159 頁，丙 5 号証の 140 頁を参照)



【図表 6 4 基準地震動 S s - 1 8 , S s - 1 9 の応答スペクトル】

3 小括

以上により策定した、本件発電所の基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 の応答スペクトルは図表 6 5 のとおりである (丙 5, 134 頁)。最大加速度は、水平方向が基準地震動 S s - 4 (EW 方向) の 856 ガル，鉛直方向が基準地震動 S s - 1 4 の 613 ガルである (丙 4, 添付書類六, 6-5-51 頁, 丙 5, 141 頁)。



【図表 6 5 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、乙44、129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⁷⁰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⁷¹を比較するとともに、当該結果の妥当性を確認すること等として、一様ハザードスペクトルの作成について、一般社団法人日本原子力学会の「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」（丙21。以下、「実施基準」という）を例示している（乙52、9～11頁、I 6.1及び6.2）。

⁷⁰ 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。

⁷¹ 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。

2 本件発電所の基準地震動の年超過確率

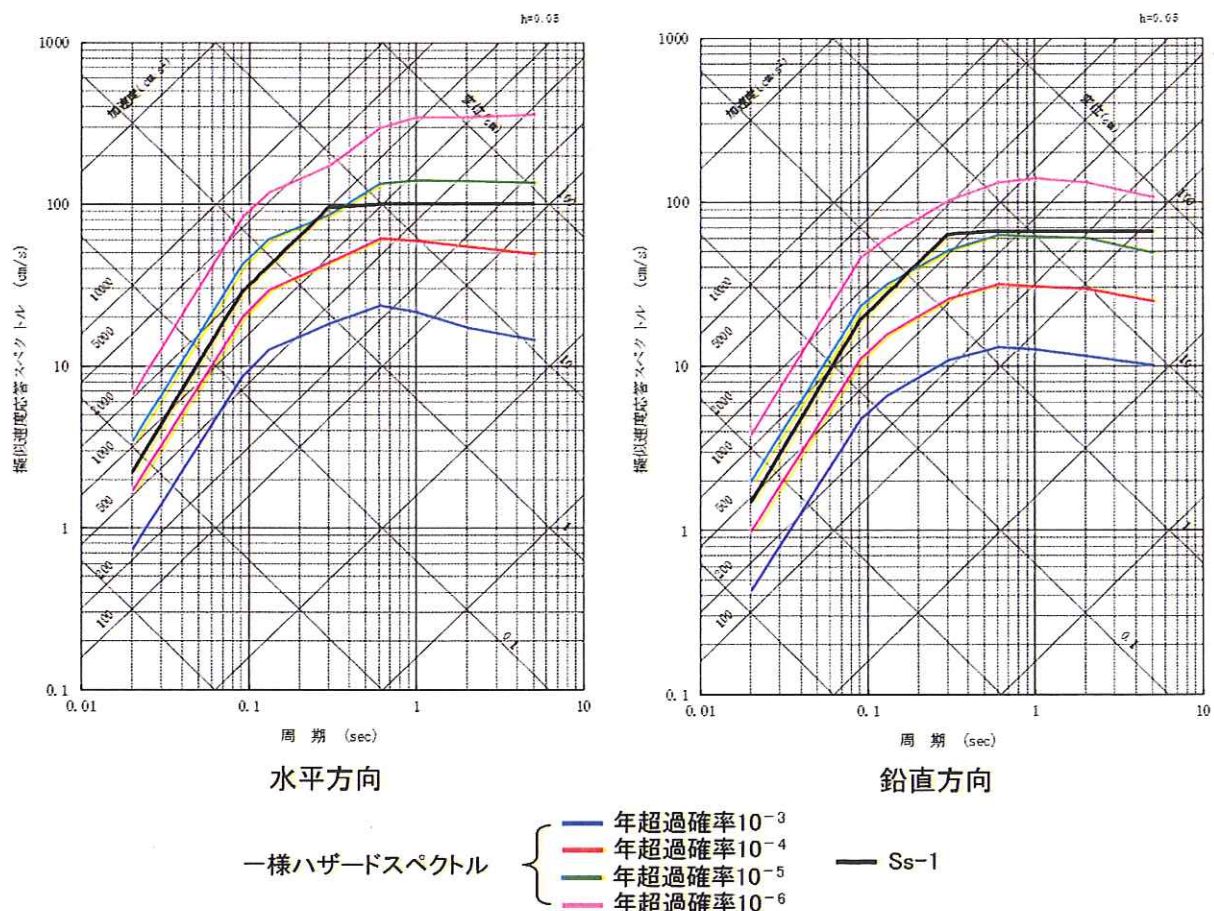
(1) 参加人は、上記1の要求事項を踏まえ、適宜実施基準を用いて、保守的な条件設定に基づいて策定された基準地震動の大きさについて、確率論的な考え方（解析条件の不確かさや地震動のばらつきも考慮して、ある大きさの地震動がどのくらいの頻度で起こりうるかを評価するとの考え方）から一様ハザードスペクトルを作成し、基準地震動の応答スペクトルと比較することにより、基準地震動の策定とは異なる視点から評価するとの目的から、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した。

(2) 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（丙4、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、丙5、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。

(3) 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⁷² となった (図表 6.6。丙4, 添付書類六, 6-5-171~6-5-172頁, 丙5, 161頁)。

以上により、本件発電所にこれらの基準地震動を超過する地震動が到来する可能性は極めて低く、妥当なレベルにあることを確認した。このことから、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 6.6 一様ハザードスペクトルと基準地震動 $S_s - 1$ との比較】

⁷² 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－」(丙22)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しつつ (丙22, 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。

第9 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ている。

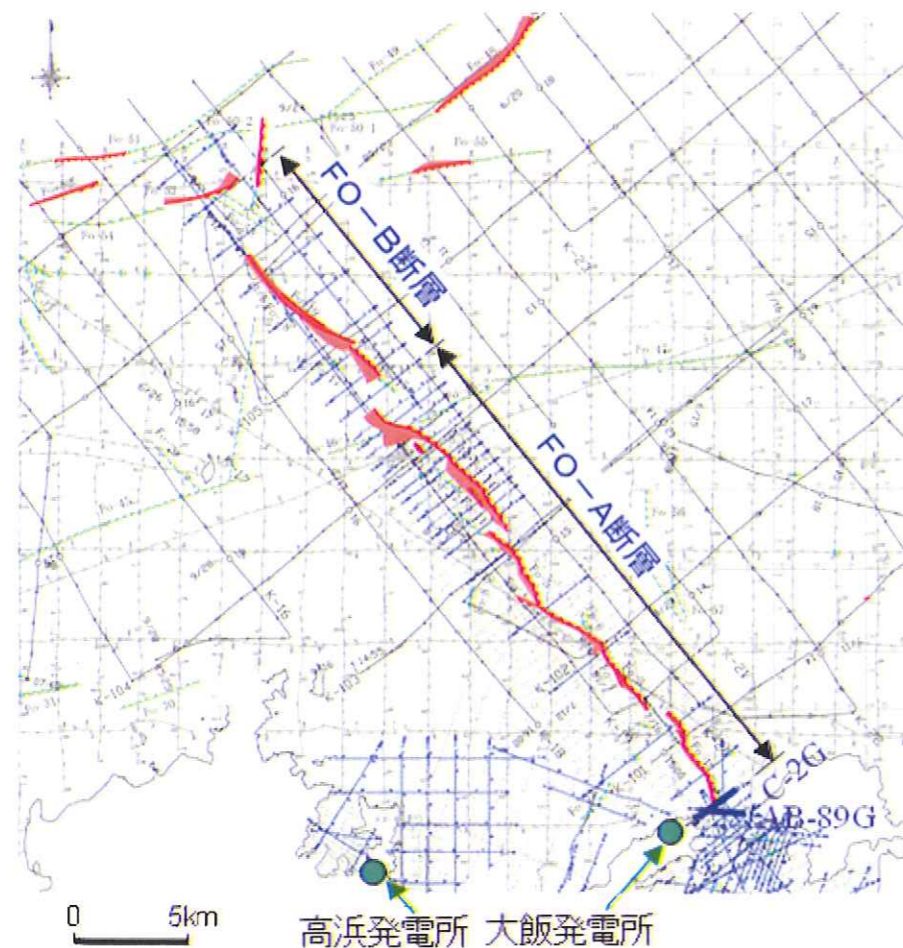
以 上

別紙：F O－A断層及びF O－B断層の調査・評価についての拡大図

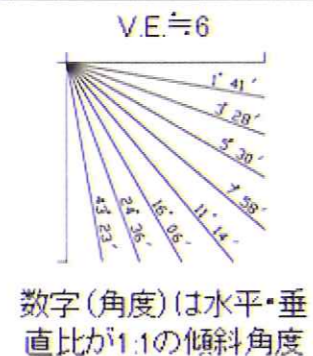
別紙図表 1 F O－A断層に関する調査結果（丙10号証172頁の図）
（第4の2（2）エ（ア）の図表24を拡大したもの）

別紙図表 2 F O－B断層に関する調査結果（同176頁の図）
（同図表25を拡大したもの）

別紙図表 3 F O－A断層及びF O－B断層の評価（同177頁の図）
（同図表26を拡大したもの）



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

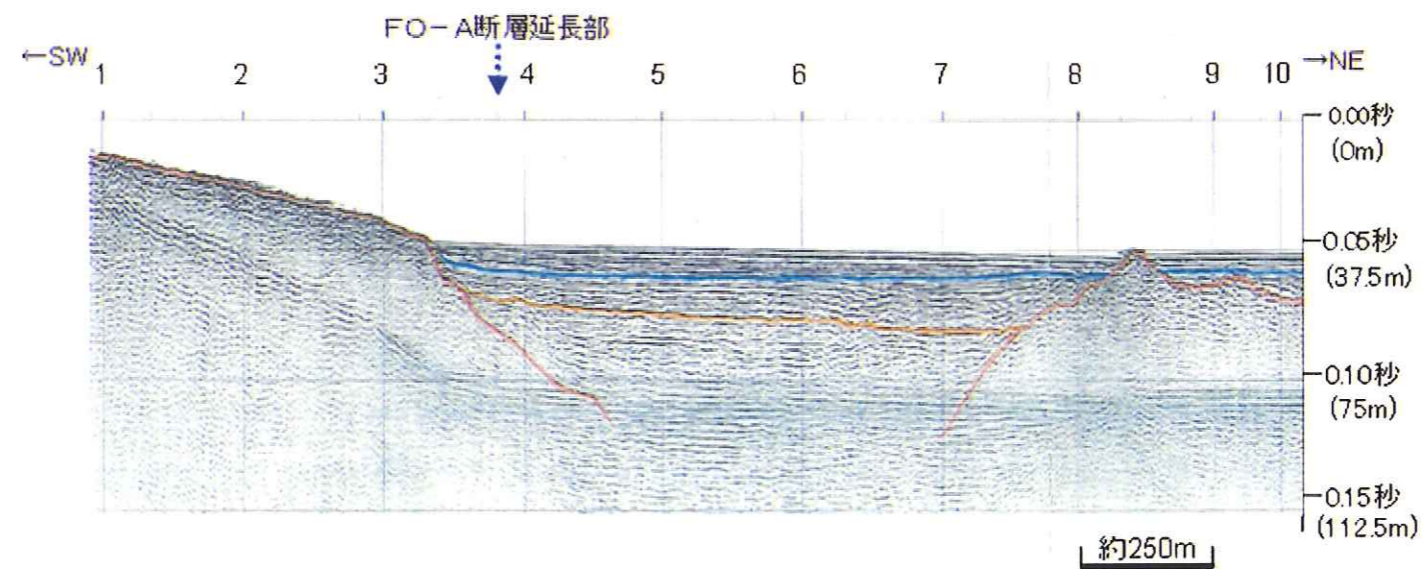


凡例

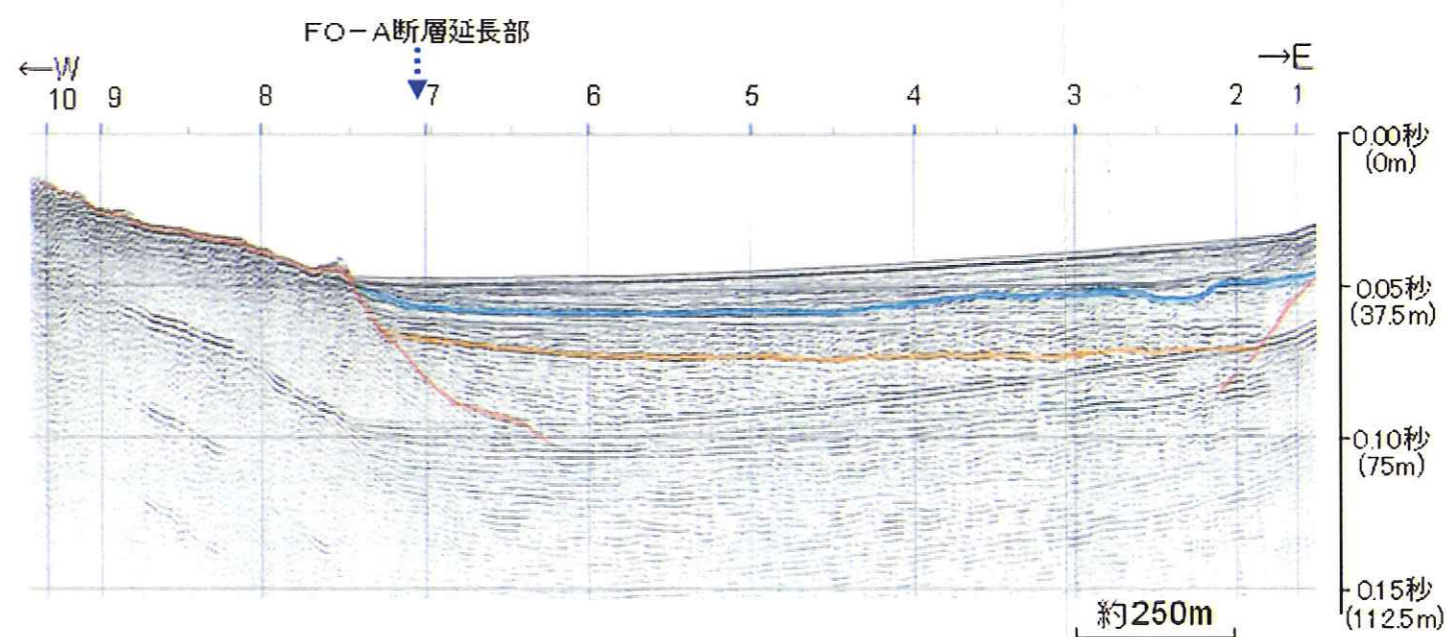
- B層上面
- C層上面
- R層上面

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

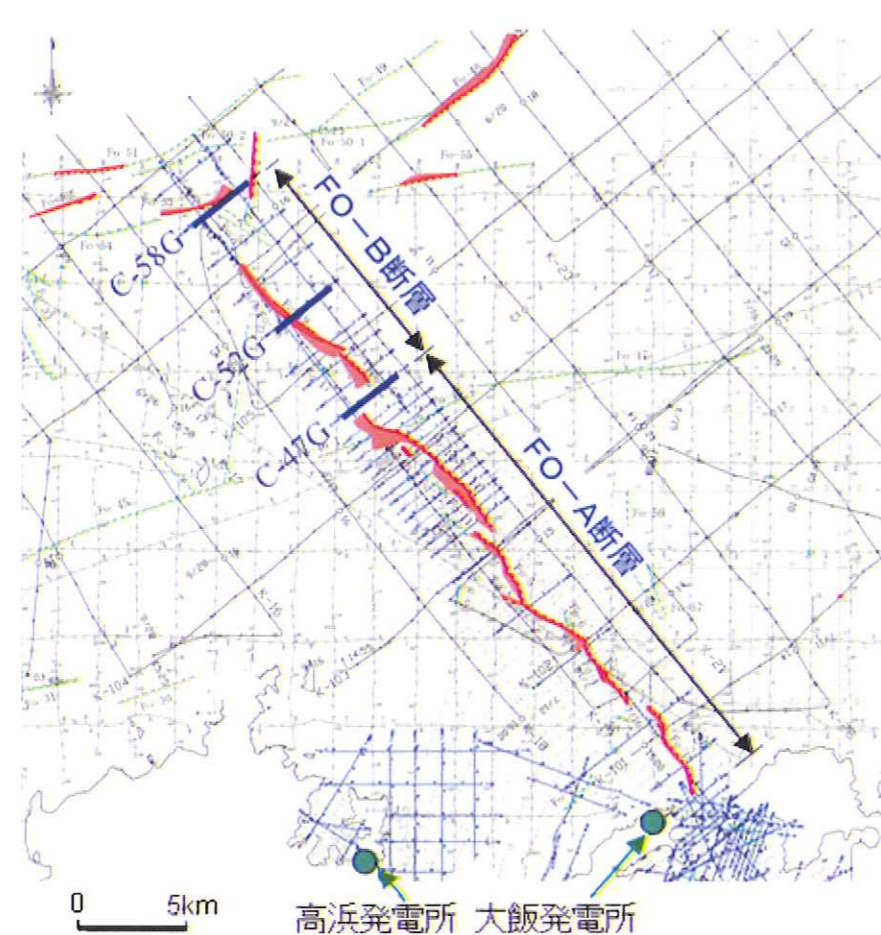
【C-2G (再処理後) Mig】



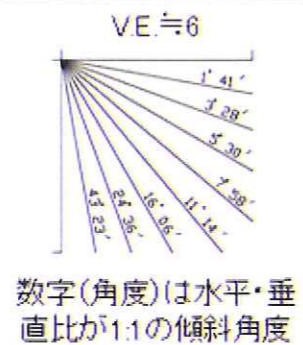
【AB-89G (再処理後) Mig】



【別紙図表 1 FO-A断層に関する調査結果 (丙10号証172頁の図)】



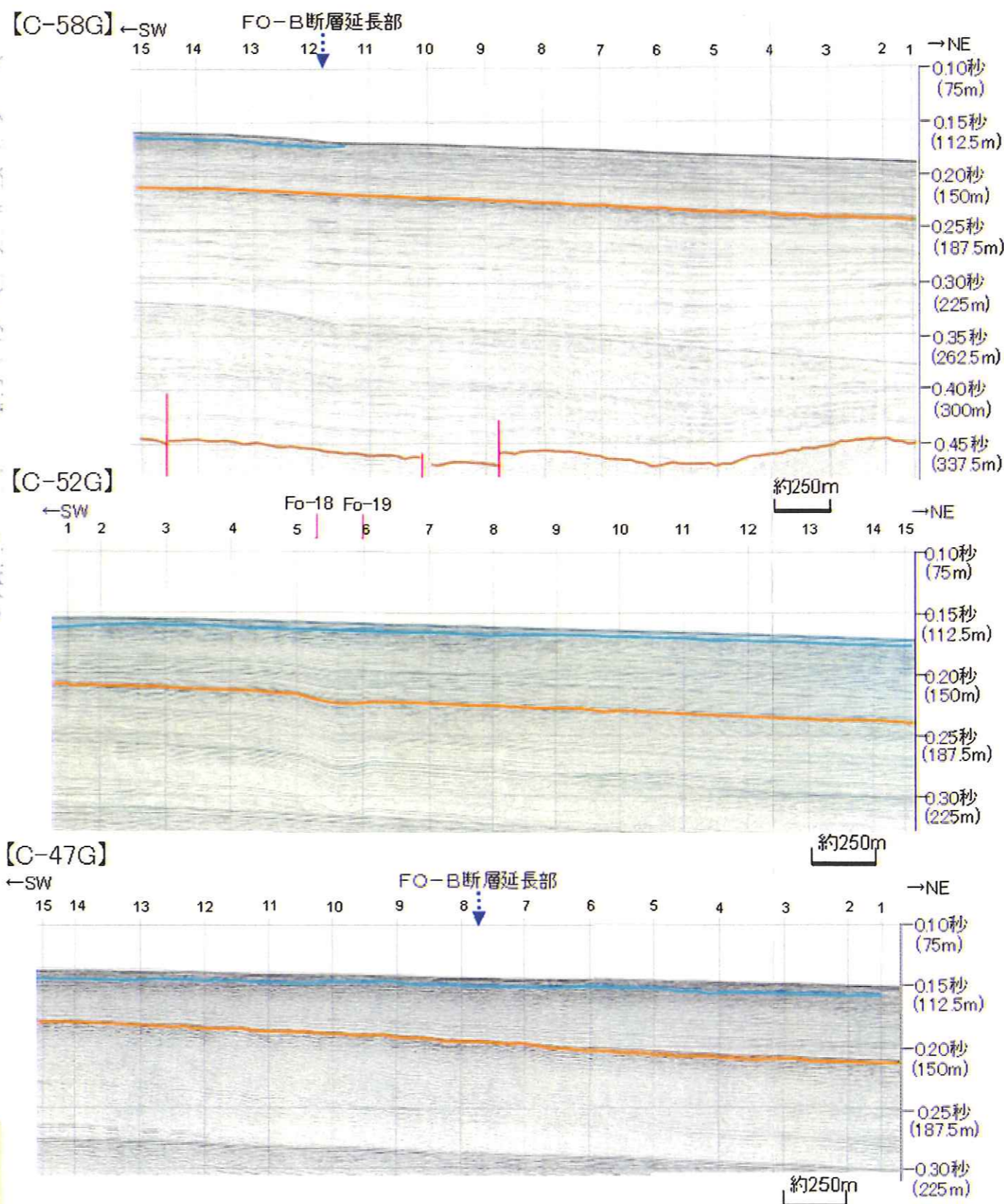
||||| : 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
||||| : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲



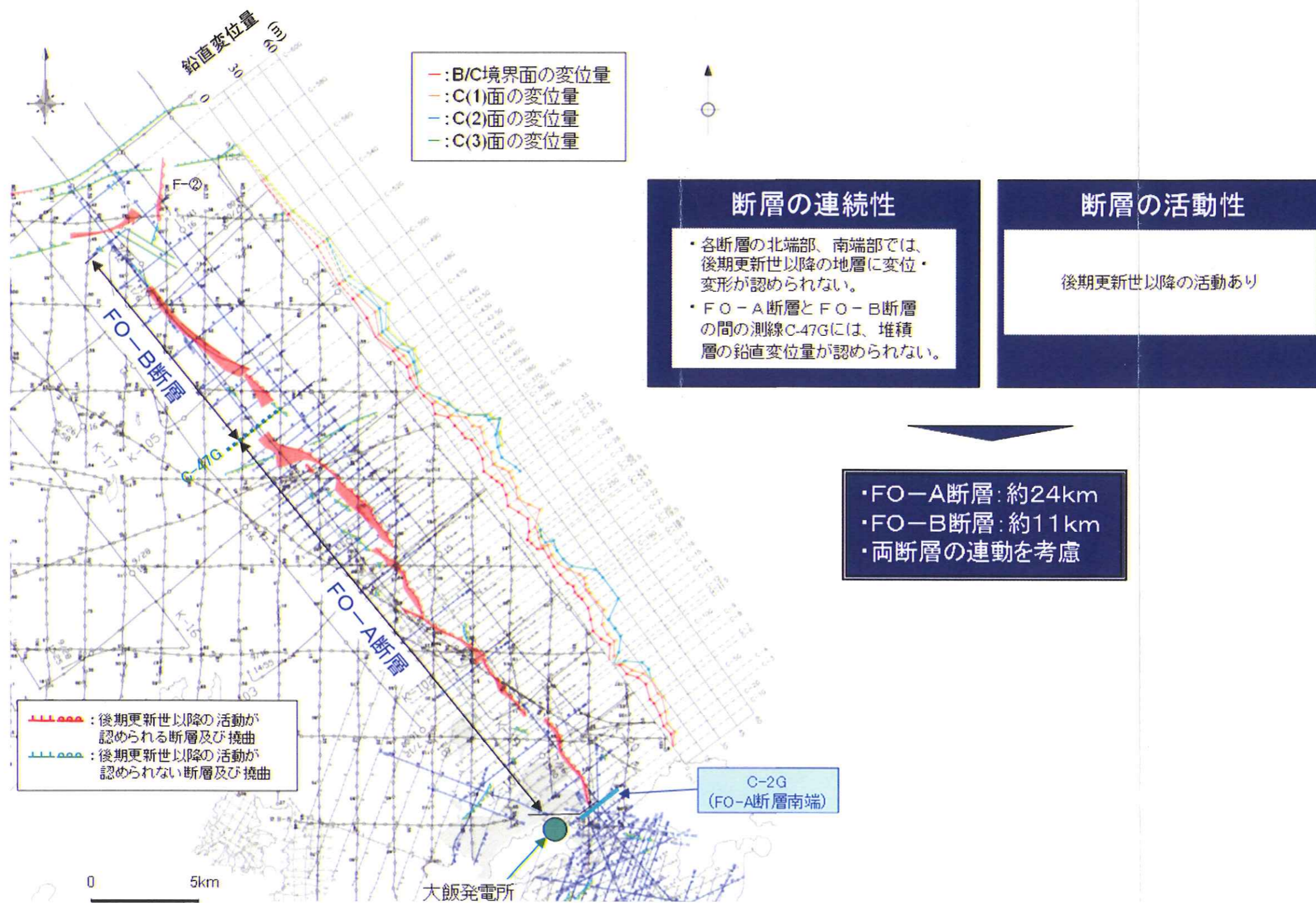
凡例

- B層上面
- C層上面
- R層上面

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



【別紙図表 2 FO-B断層に関する調査結果 (丙10号証176頁の図)】



【別紙図表3 FO-A断層及びFO-B断層の評価 (丙10号証177頁の図)】