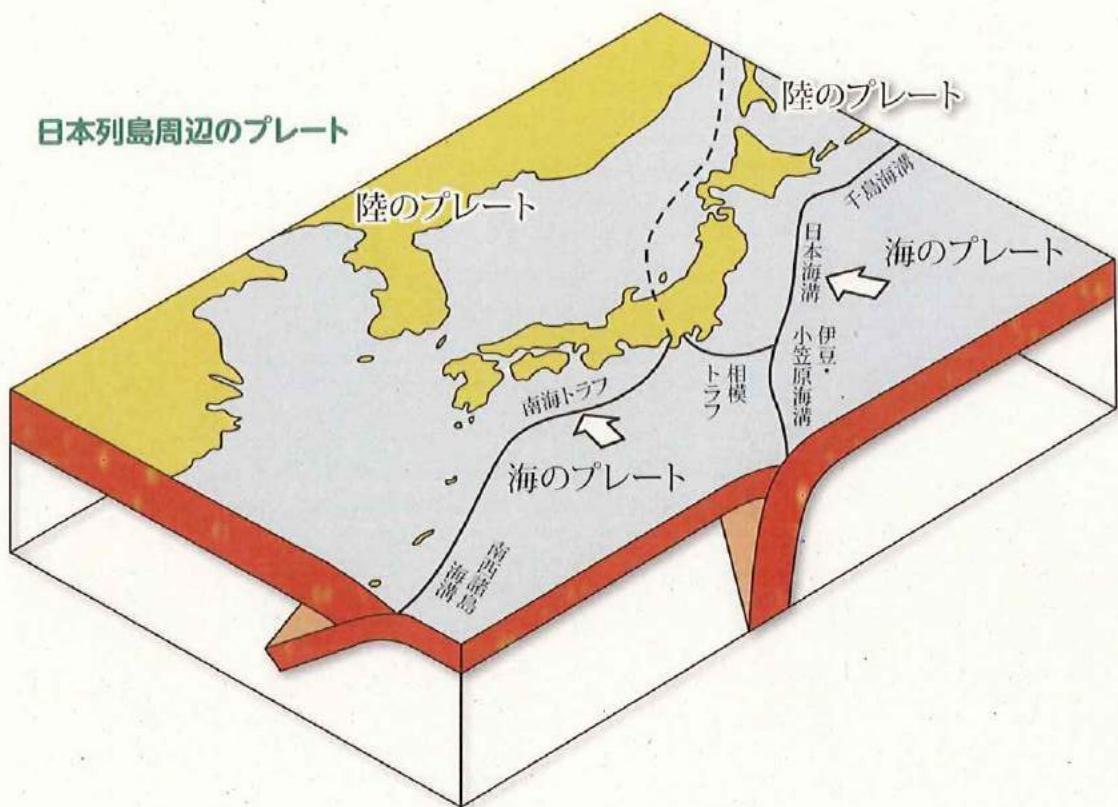


プレートが離れたり、近づいたり、すれ違ったりしており、これらの動きが地下の岩盤に強い力をかけている（図26）。（乙ヨ15（1～2頁），（乙ヨ16（6頁））



（地震調査研究推進本部HPより抜粋）

図26 日本列島周辺のプレート

ウ 断層運動とその種類

プレート運動による伸張の力や圧縮の力は、地下の岩盤に歪みを蓄積させる。その歪みに岩盤が耐え切れなくなると、ある面を境にして岩盤が急激に破壊され、地震が発生する。その破壊された面を断層面といい、既存の断層を動かしたり、新たに断層を作ったりする動きを、断層運動と呼ぶ。（乙ヨ15（5頁），乙ヨ16（7頁））

断層運動は、地下の岩盤に働く力の向きの違いにより、断層面を挟んだ両側の岩盤に異なる動きを生じさせるため、①逆断層型、②正断層型、③横ずれ断層型の3つの基本的なパターンに分けられる（図27）。

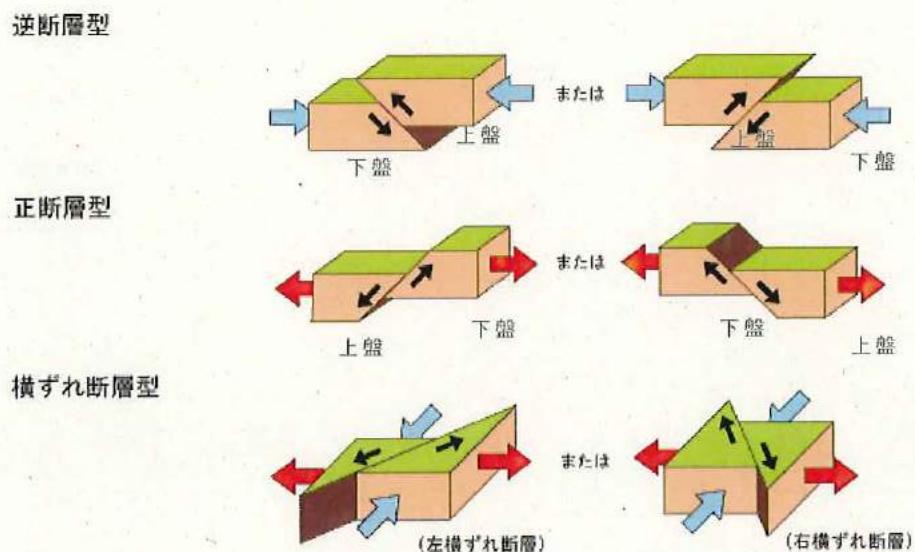


図27 断層運動の基本的なパターン

①逆断層型は、水平の方向から岩盤が圧縮されたため、断層面を挟んで上側の岩盤がずり上がる（上側の岩盤が下側の岩盤にのり上がる）動きをしたものという。②正断層型は、水平の方向に岩盤が引っ張られることにより、断層面を境にして、上側の岩盤が下へ滑り落ちる動きをしたものという。③横ずれ断層型は、岩盤に圧縮や伸張がかかって、断層面を挟んで、それぞれの岩盤が逆方向にずれる動きをしたものをいい、断層面を挟んで向かい側の岩盤が右側にずれたものを「右横ずれ断層」、左側にずれたものを「左横ずれ断層」と呼ぶ。また、正断層と逆断層は、いずれも断層面に沿って岩盤が上下にずれる動き

をするので、「横ずれ断層」に対して「縦ずれ断層」に分類される。

工 地震の分類

地震は、発生する様式（発生様式）の違いによって分類され、2つのプレートの境界面で発生するものをプレート間地震、陸側のプレートの内部で発生するものを内陸地殻内地震、海側のプレートの内部で発生するものを海洋プレート内地震と呼ぶ（図28）（乙ヨ15（3頁）、乙ヨ16（7頁））。

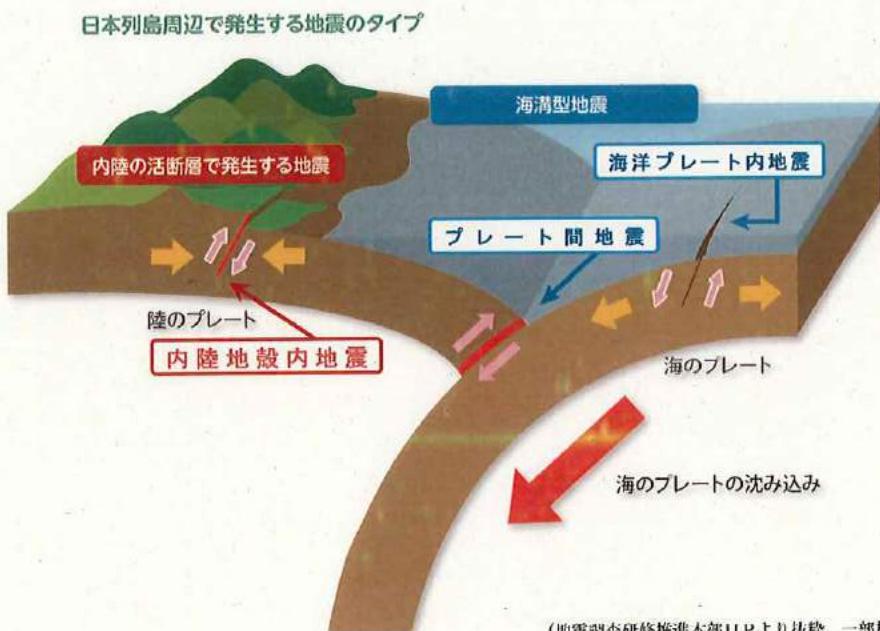


図28 日本列島周辺で発生する地震の分類

以下では、この分類について、本件発電所が位置する四国地方において発生している地震との関連において説明する。

(ア) プレート間地震

四国の太平洋側沖合いの南海トラフ⁴⁴において、海側のプレート（フィリピン海プレート）が陸側のプレート（ユーラシアプレート）の下へ沈み込んでいる。沈み込むプレートと陸側のプレートとの境界では、プレート間の広い範囲で圧縮の力がかかり、規模の大きな地震が発生する。このようなタイプの地震はプレート間地震と呼ばれる。このタイプの地震は、沈み込むプレートの動きから歪みのエネルギーが直接的に蓄積されるため、その発生間隔は比較的短く、四国沖合いの南海トラフにおいては、100から150年間隔でM8クラスの巨大地震が繰り返し発生していることが知られている。

（乙ヨ15（3頁，23頁），乙ヨ16（6～7頁，10～11頁））

なお、東北地方太平洋沖地震（M9.0）は、このプレート間地震に分類される。

（イ）内陸地殻内地震

プレートの沈み込みに伴ってプレート境界面の周囲にかかる力により、沈み込むプレート境界から少し離れた場所（陸側プレートの浅い場所）において地震が発生する。このようなタイプの地震は内陸地殻内地震と呼ばれる。内陸地殻内地震では、断層面への力のかかり方がプレート間地震と比べて間接的であり、歪みの蓄積が遅いため、発生間隔は数千年から数万年と長く、規模も比較的小さいとされている。我が国において発生した内陸地殻内地震で最大規模のものは、濃尾地震（1891年，M8.0）とされている。（乙ヨ15（3～4頁），乙ヨ16（7頁，11頁））

⁴⁴ 南海トラフとは、西南日本の南側の海底にある帯状の深みをいう。このトラフの北端は駿河トラフ、南端は琉球海溝に続いている。

なお、本件発電所の前面海域に位置する中央構造線断層帯において想定される地震は、内陸地殻内地震であり、プレート間地震である東北地方太平洋沖地震（M 9.0）とは発生様式が異なっている。

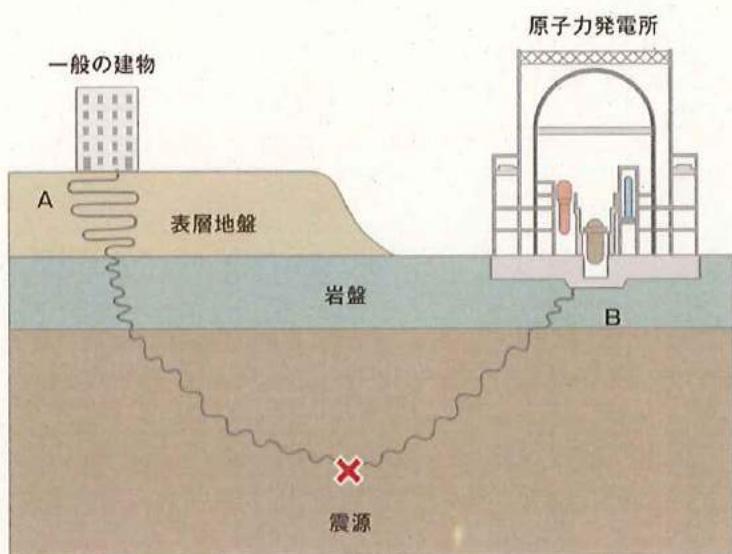
(ウ) 海洋プレート内地震

海側のプレートと陸側のプレートの境界ではなく、海側のプレートの内部が割れて地震が発生する。このようなタイプの地震は海洋プレート内地震と呼ばれる。我が国において発生した代表的な海洋プレート内地震の一つとして、2001年芸予地震（M 6.7）がある。

才 地震動に影響を与える特性

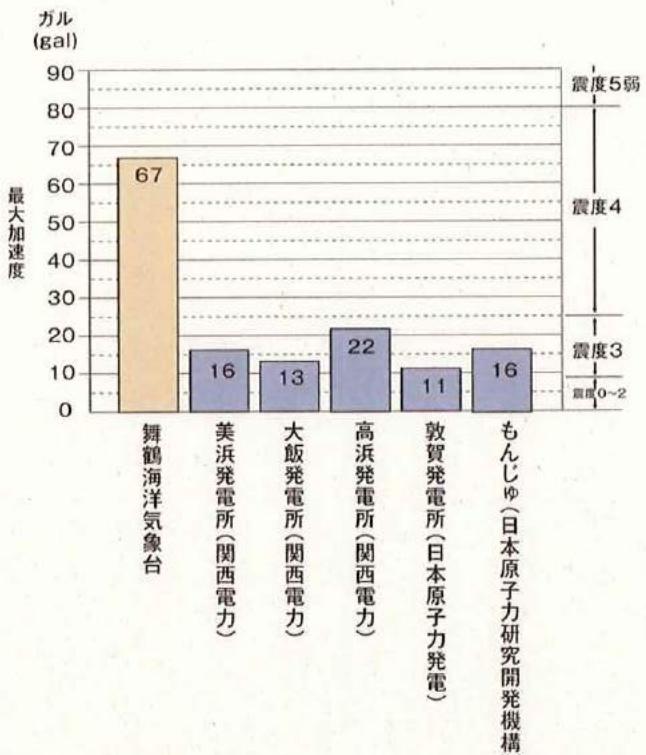
地震は、地下の岩盤が周囲から力を受けることによってある面（震源断層面）を境として破壊する（ずれる）現象であり、ある点から始まった破壊は震源断層面を拡大していき、地震波が逐次放出される。この震源から放出される地震波の性質は、断層の大きさ、断層面の破壊の仕方等によって決まる。これを地震の「震源特性」という。また、震源から放出された地震波は、震源からの距離とともにその振幅を減じながら地下の岩盤中を伝播していく。この伝播の仕方等を地震波の「伝播特性」という。さらに、地震波は、硬い地盤から軟らかい地盤に伝わる際に振幅が大きくなる性質を持っているため、軟らかい地盤上の地点では、岩盤上の地点に比べて大きな揺れ（地震動）をもたらすことになる。岩盤上の観測地震波と軟弱地盤上の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生じる場合もある。これを地盤の「増幅特性」という。（図29及び図30）（乙ヨ16（13頁））これらの地域特性が地震動に与える影響は、震源特性は地震ごとに、

伝播特性及び増幅特性は地震波が伝わり揺れとして現れる地点ごとに、それぞれ異なる。このため、特定の地点における地震動を想定するには、まず、当該地点における地域特性を十分に把握することが不可欠となる。



(（一財）日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集2016」より)

図29 堅固な地盤上に設置した原子力発電所と一般の建物の揺れの伝わり方



(（一財）日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集2016」より)

図30 1995年兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値

力 加速度時刻歴波形と応答スペクトル

地震動は、加速度等の大きさを单一の数値で示したものではなく、時々刻々の地盤の揺れ（動き）である。そのような地盤の揺れ（動き）を時々刻々の加速度の変化で表すため、横軸に時間、縦軸に加速度をとって描いたグラフを「加速度時刻歴波形」という（図31）。このグラフの中で、最も振幅の大きな値が最大加速度である。

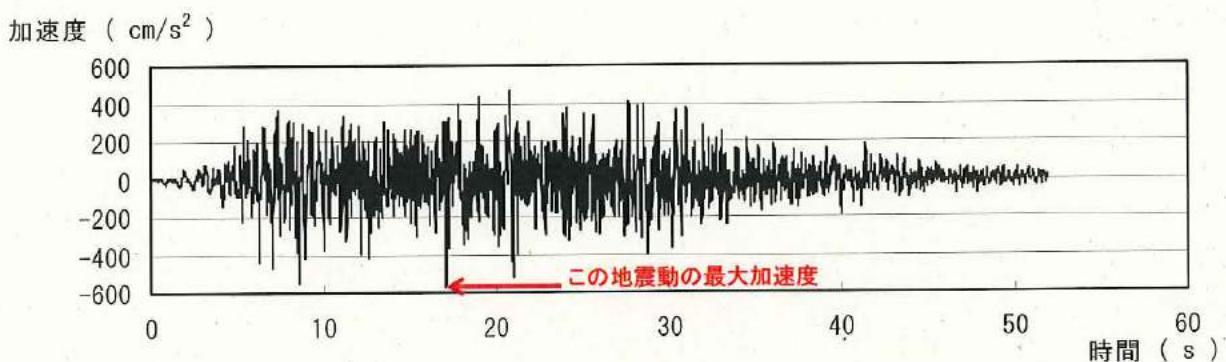


図 3-1 加速度時刻歴波形の一例

また、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⁴⁵。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。一般に、建物等の構造物は、基礎地盤における地震動に比べ、大きく揺れる（応答する）ことになる。特に、ある地震動が特定の周期において大きな揺れをもたらす場合、同じ周期に固有周期を持つ構造物は非常に大きく揺れる（これを共振という。）（乙ヨ16（15頁））。そこで、建物等の構造物の耐震設計を行うにあたっては、ある地震動が構造物にどのような揺れをもたらすのかを把握することが重要であり、そのために「応答スペクトル」が利用される。応答スペクトルは、ある地震動が固有周期を異にする種々の構造物に対して、それぞれどの程度の大きさの揺れ（応答）を生じさせるかという性質（周期特性）を、縦軸に加速度や速度等の最大応答値、横軸に固有周期をとって描いたものをいう（図3-2）。構造物の固有周期が分かれれば、応答スペクトルにより、

⁴⁵ 短周期成分を多く含む地震動は、ガタガタとした震動間隔の短い揺れをもたらすのに対し、長周期成分を多く含む地震動は、ゆらゆらとした震動間隔の長い揺れをもたらす。

その地震動によって当該構造物に生じる揺れ（応答）の大きさを把握できるのであり、地震動の特徴（その地震動がどの周期帯の構造物を大きく揺らすか）は、この応答スペクトルにより分かりやすく示すことができる。

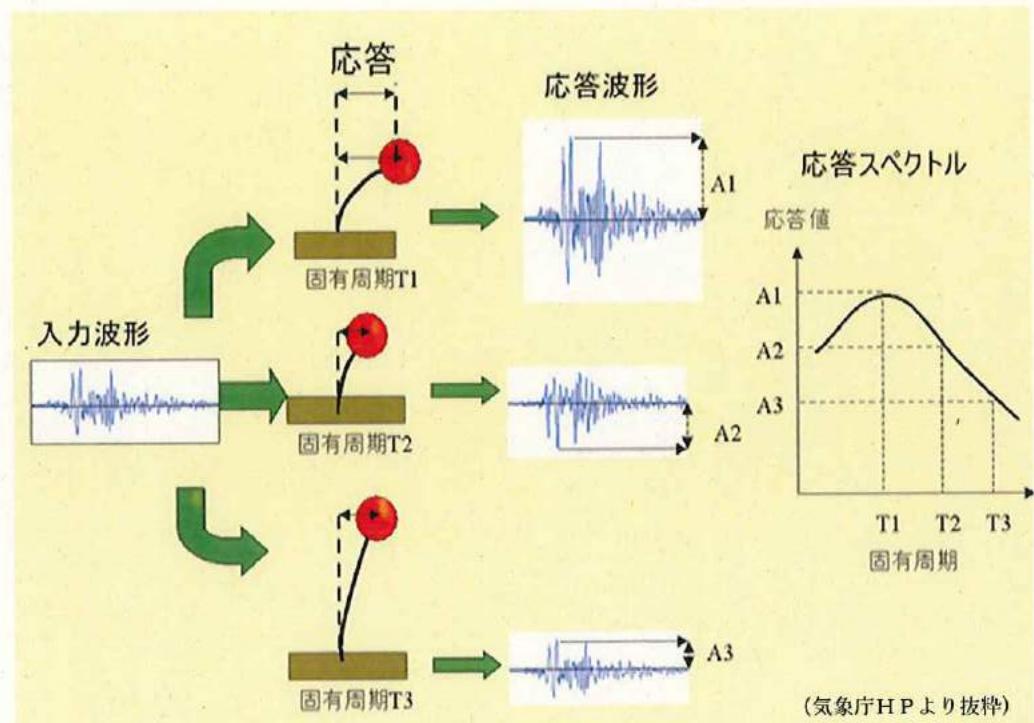


図3-2 応答スペクトルの概念図

そして、応答スペクトルは、実際には図3-3のように、1つのグラフで、構造物の揺れ（応答）の大きさとして、固有周期ごとの加速度、速度及び変位それぞれの最大値が分かるようにしたグラフ（「トリバタイト」図という。）が利用されることが多い。図3-3の横軸は構造物の固有周期（単位：秒（sec）），縦軸は構造物の揺れの速度（単位：cm/s），右上がりの斜線は構造物の揺れの加速度（単位：ガル

$= \text{cm} / \text{s}^2$), 右下がりの斜線は構造物の揺れの変位 (揺れ幅, 単位: cm) の目盛りである。

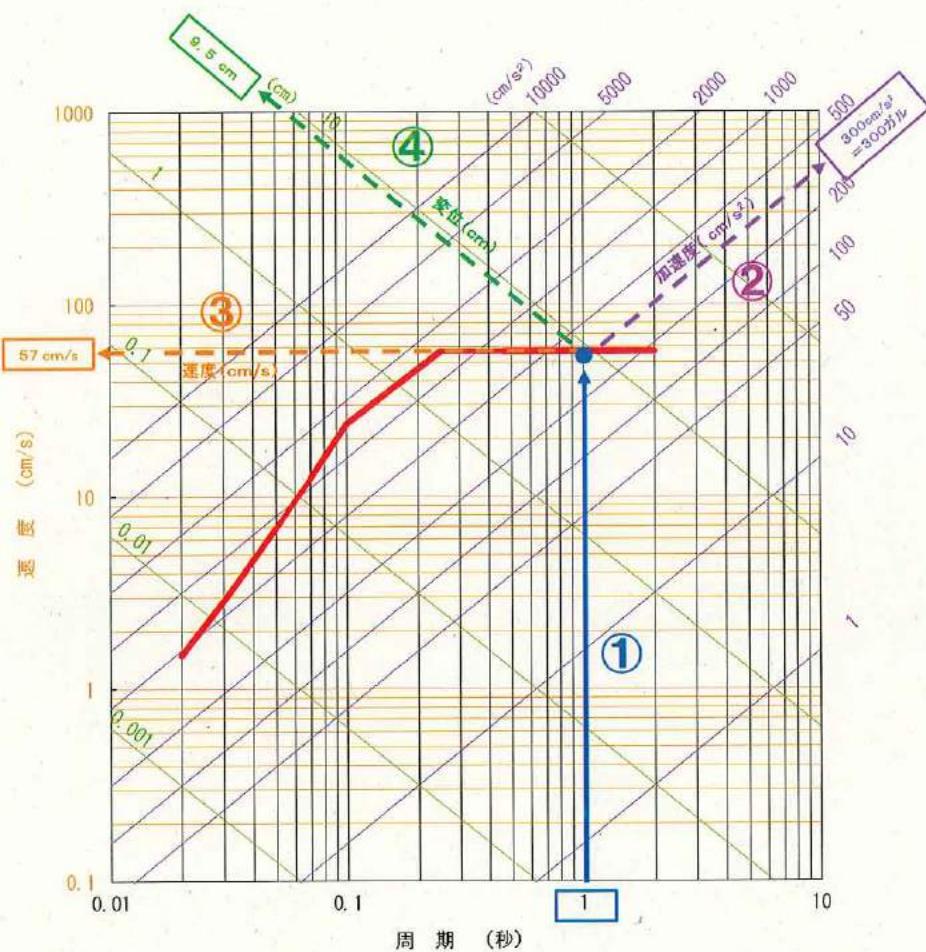


図 3 3 トリパタイト図による応答スペクトルの例

例えば、図 3 3 に示した周期特性を有する地震動が到来した場合に、固有周期が 1 秒の構造物の揺れの最大値を読み取ると、加速度については、横軸の周期 1 秒 (1 sec) から、応答スペクトルの曲線との交点まであがり (青字で示した①)，その交点が右上がりの斜線の目盛でいくつになるかを読むことになる (紫字で示した②)。この場合、約 300 ガルとなることが分かる。すなわち、周期 1 秒の構造物は、

この地震動に揺らされることで時々刻々に様々な揺れを見せるが、その揺れの加速度が最大で約300ガルとなることを示している。同様に、速度は、交点から縦軸の数値を読むと（橙字で示した③），最大値は約5.7cm/sであると分かり、変位は、右下がりの斜線の目盛を読むことにより（緑字で示した④），最大値は約9.5cmであることが分かる。

ちなみに、構造物の揺れではなく、地盤そのものの揺れ、すなわち、地震動の最大加速度もこの応答スペクトルのグラフから読み取ることもできる。具体的には、応答スペクトルの一番短い周期（応答スペクトルの曲線の左端）での揺れは、極めて剛性⁴⁶の高い構造物の揺れを示しているところ、そのような極めて剛性の高い構造物は、それが建っている基礎地盤の揺れ（地震動）とほぼ一致した揺れを見せるため、この周期（最も短い周期）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。図33の場合、応答スペクトルの曲線の左端である周期0.02秒が最も短い周期となっており、この周期の加速度の最大値を読み取ると、約500ガルである。したがって、この地震動の最大加速度は約500ガルであることが分かる。

(2) 地震動評価手法の発展及びそれを踏まえた被告の対応について

原子力発電所では、耐震設計において基準とする地震動を策定し、これに対して原子力発電所の安全性が損なわれることのないよう耐震設計を行っている。被告は、本件発電所の建設時及び建設以降も、その時々の最新の知見、科学技術等を踏まえた手法を用いて本件発電所において

⁴⁶ 剛性とは荷重が作用した場合の変形に対する抵抗の度合いをいい、剛性が高い構造物は、地震等による外力を受けた場合に変形しにくい。

想定される地震動の評価を行い、都度、適切に耐震設計において基準とする地震動を策定してきた。

原子力発電所に係る地震動の評価手法は、知見の充実、科学技術の進捗、解析手法の高度化等を背景に、絶えず発展・高度化しており、その積み重ねの結果、現在の地震動評価及び基準地震動 S_s の策定手法は高い信頼性を有している。以下では、これまで地震動評価手法が発展・高度化してきた経緯及びそれを踏まえて被告が対応してきた経緯について述べる。

ア 耐震設計審査指針制定以前（本件1・2号機建設時）の評価

（ア）耐震設計審査指針制定以前の原子力発電所における地震動評価手法について

耐震設計審査指針制定以前の原子力発電所の地震動評価は、基本的には、文献等による調査により把握した発電所敷地周辺地域における過去の地震の発生状況、地震による被害状況等を基に地震動評価を行い、耐震設計の基準とする地震動（設計地震動）を策定し、さらに、耐震安全上の余裕を確認するために設計地震動の1.5倍の地震動を安全余裕検討用地震動として策定するものであった（もっとも、後述のとおり、本件1・2号機の建設時には敷地前面海域の断層群の活動をも考慮している。）。

当時は、過去の地震歴の調査から震源位置、地震規模等を推定し、金井清氏が提唱した「金井式」と呼ばれる距離減衰式⁴⁷（経験式）等に基づいて地震動評価を行うのが主流であった。金井式は、茨城

⁴⁷ 「地震の規模」と「震源からの距離」の関係により想定される地震による揺れの最大加速度、応答スペクトル等を経験的に算定する関係式

県にある日立鉱山の地下150～450mにおける硬質地盤上の地震観測記録を基に、地震基盤における地震動の最大速度振幅、地震規模（マグニチュード）及び震源距離の関係を示した距離減衰式である。経験式の基となる観測記録が限定的であることなど、発展途上の手法ではあったものの、その後の地震動評価手法発展の礎となつたものであり、原子力発電所における地震動評価を始め、広く利用された。

(イ) 本件1・2号機建設時の耐震設計において基準とした地震動

被告は、本件1・2号機建設時の耐震設計において基準とした地震動として、設計地震動を策定した。すなわち、本件発電所周辺地域における過去の地震の発生状況、地震による被害状況等の調査を行い、本件発電所周辺地域において将来起くるものと考えるべき地震を選定し、このうち、比較的近地の地震をタイプA、比較的遠地の地震をタイプBに分類した。そして、これを基に金井式を用いるなどして、それぞれのタイプの地震による地震動の最大加速度を設定し、この最大加速度に合うように過去の地震で実際に観測された地震波を較正⁴⁸し、その地震波からもたらされる本件発電所の敷地基盤での揺れを設計地震動（最大加速度200ガル）とした。そして、被告は、設計地震動を、例えば、本件1・2号機の耐震重要度Aクラスの設備について弾性設計を行う上で基準となる地震動として用いた（耐震重要度分類及び弾性設計については、後記(4)で述べる。）。

⁴⁸ 観測地震波の最大加速度が所定の加速度になるよう地震波形に所定の倍率を乗じること

また、設計地震動の1.5倍の地震動（最大加速度300ガル）を安全余裕検討用地震動として策定し、耐震重要度Aクラスの設備のうち、公衆の災害を防止する上で緊要な施設（原子炉格納施設及び原子炉停止装置）が、災害防止上必要とされる安全機能を失うまでに設計上の余裕を有することを確認する際に基準となる地震動として用いた。

設計地震動及び安全余裕検討用地震動の策定の流れは図34のとおりである。

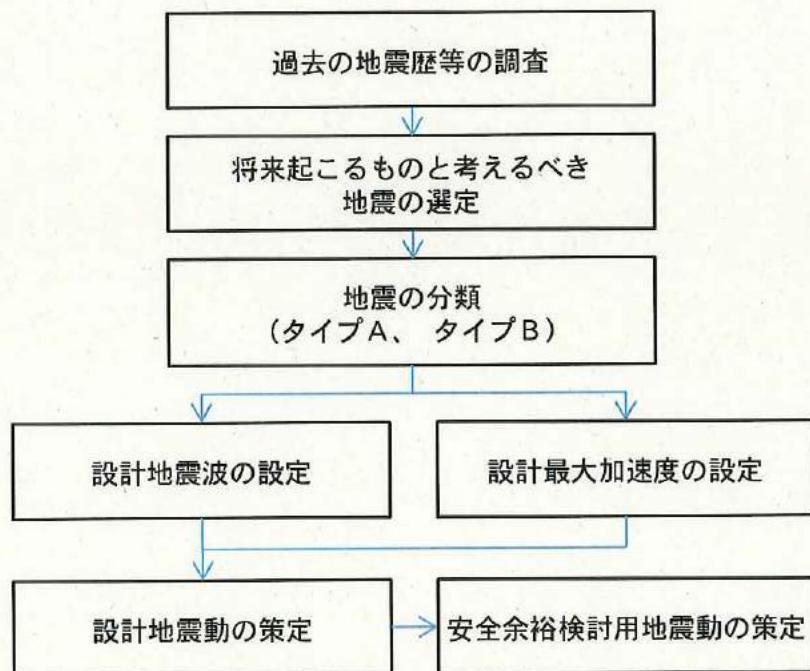


図34 本件1・2号機の設計地震動及び安全余裕検討用地震動策定の流れ

ちなみに、本件1・2号機の設置当時、活断層による地震の考慮を行うことは主流ではなかったが、本件1号機の新設に係る原子炉設置許可申請及び本件2号機の増設に係る原子炉設置変更許可申請の安全審査では、中央構造線の位置、活動性等について調査・検討

を行った上で、これを安全余裕検討用地震動との関係において考慮することとした。そして、本件発電所の敷地前面海域に活断層としての中央構造線（敷地前面海域の断層群）の存在を推定し、仮にこれが活動したとしても、その影響は、上記安全余裕検討用地震動によって確認した設計余裕の範囲にあると判断された。

（以上、乙ヨ18（6-3-17～6-3-25頁）、6-5-1～6-5-36頁）、乙ヨ17（6-4-1～6-4-4頁）、8-1-7～8-1-8頁）

イ 耐震設計審査指針制定後の評価

（ア）耐震設計審査指針制定後の原子力発電所における地震動評価手法について

事業者から原子炉等規制法に基づく原子炉設置許可又は原子炉設置変更許可の申請があった場合、国（当時は原子力委員会）は、安全審査を行い、許可の可否について判断を行う。従来、原子力発電所の耐震設計に関する安全審査については、昭和52年6月に原子力委員会が制定した「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」にその基本方針が示され、この基本方針に基づいて個別の詳細な審議が行われていたが、昭和53年9月、原子力委員会は、安全審査の客觀化を図るため、それまでの安全審査の経験を踏まえ、地震学、地質学等の知見を工学的に判断して耐震設計審査指針（乙ヨ19）を定め、上記許可申請における耐震設計方針の妥当性を評価するための審査上の指針とした。この耐震設計審査指針は、当時の原子力委員会原子炉安全専門審査会の下部機関として設置された耐震設計検討会（後に原子炉安全技術専門部会耐震設計小委員会）

において、多数の専門家を交えて、数年にわたる審議・検討を経て制定されたものである。当時の最新の知見を踏まえたものであり、以下の点で地震動評価手法の高度化が図られた。

a 活断層による地震の考慮

耐震設計審査指針の制定に向け審議・検討が進められていた当時は、将来の地震を発生させる原因として活断層が注目されるようになり、活断層の研究が地質学者や地形学者を中心となって活発に行われるようになっていた。こうした知見の蓄積を踏まえ、耐震設計審査指針においては、過去の地震歴に基づく検討に加え、活断層による地震も考慮することが明記された。

b 地震地体構造による地震の考慮

地震地体構造とは、地震規模、震源深さ、発震機構、地震発生頻度等に着目するとき、地震の発生の仕方に共通の性質を持つある広がりをもった一定の地域の地質構造のことである（地震地体構造区分の一例を図35に示す。）。日本は、地質構造や地形を基に分類できるような、いくつかの異なる地域から成り立っており、日本で起こる地震にもまた、その性質に地域性があるとの地震地体構造の考え方方が提唱されるようになった。こうしたことを探まえ、耐震設計審査指針では、地震地体構造区分を基に、それぞれの地域での地震の最大規模を想定することが明記された。



(「日本の活断層と地震」(岡田篤正・安藤雅孝, 1979) より抜粋)

図35 地震地体構造区分の例

c 直下地震の考慮

基準地震動の策定において、活断層の存在を示す地形学及び地質学的な証拠がない場合にも、M 6.5 の直下地震を考慮することとされた。これは、M 6.5 以下の地震では断層が地表に現れず、地震を引き起こす活断層を見逃す可能性があるとの地震学、地質学等の知見を工学的に判断、すなわち、実際に起きる地震とは関連なく敷地のごく近傍においてある程度の地震が発生したと仮定しても安全が保たれるよう耐震設計を行っておくべきであるとの考え方から、あくまで念のために、原子炉施設の耐震設計条件の一つとすることが定められたものである。

d 応答スペクトルに基づく地震動評価手法の採用

我が国では1948年福井地震を契機に、1950年代から強震計の設置が進められてきたが、耐震設計審査指針が制定された昭和53年（1978年）頃には、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震等の強震観測記録が蓄積されてきたことから、地震動の実測結果に基づいて開発された経験式（距離減衰式）が提案されるようになった。そして、耐震設計審査指針では、応答スペクトルに基づく地震動評価手法（地震動の実測結果に基づいた経験式）が採用された。応答スペクトルに基づく地震動評価の多くは、実際は広がりを持った断層面から放出される地震波を、ある一つの震源から放出されるものと仮想して（点震源）、地震の規模、評価地点までの距離等から経験式（距離減衰式）を用いて地震動の応答スペクトルを求め、地震動を評価するものである（図36）。原子力発電所に係る地震動評価においては、応答スペクトルに基づく地震動評価手法の一つである「大崎の手法」が広く用いられた。大崎の手法は、国内外の加速度記録84成分と転倒墓石のデータを用い、地震規模（マグニチュード）と震央距離⁴⁹から応答スペクトルを求める方法を提案するものである。

⁴⁹ 震央とは、地下内部で地震が発生した箇所（震源）の真上の地表上の位置のことをいい、震央距離とは、震央から観測点までの距離を指す。

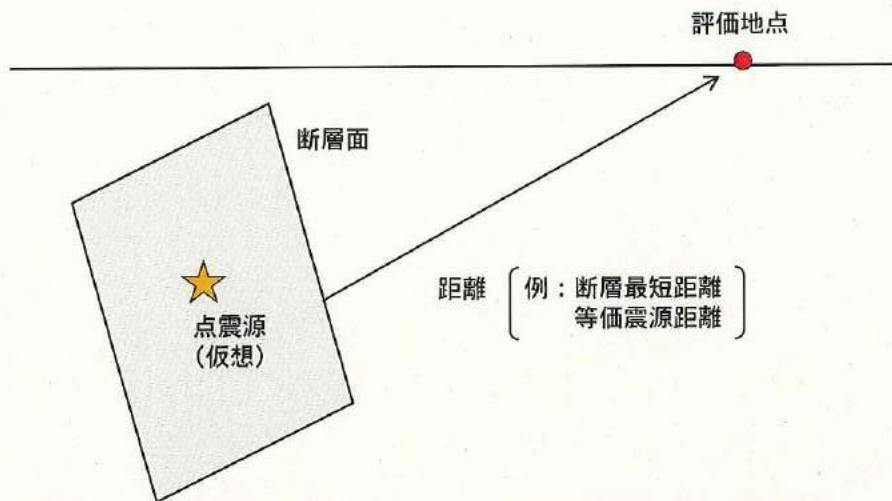


図36 応答スペクトルに基づく地震動評価の概念図

なお、耐震設計審査指針は、応答スペクトルに基づく地震動評価手法は評価点が震源域内に位置する場合に大きめの値を与えることがあるため、その場合には他の手法によることも認めていた。本件3号機の建設時には、敷地前面海域の断層群が発電所敷地から比較的至近に位置しており、大崎の手法を用いることが適当ではなかったことから、次に述べるとおり、当時、発展途上であった断層モデル⁵⁰を用いた手法による地震動評価を実施して同断層群による地震の影響を評価した（乙ヨ20（6-5-30頁））。

(イ) 本件3号機建設時の耐震設計において基準とした地震動

本件3号機については、上記の耐震設計審査指針に基づき、耐震設計を行った。耐震設計審査指針においては、過去の地震から見て原子炉施設の敷地に影響を与えるおそれのある地震及び近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のう

⁵⁰ 将来発生すると思われる地震時の強震動の予測等の計算モデルに用いるために、震源断層面をモデル化したもの

ち、最も影響の大きいものを、工学的見地から起こることを予期することが適當と考えられる地震として、「設計用最強地震」を設定すること、また、敷地周辺の活断層の性質、地震地体構造及び直下地震を考慮し、設計用最強地震を超える地震の発生が地震学的見地から否定できない場合には、これを「設計用限界地震」として設定することが求められた。そして、被告は、設計用最強地震によってもたらされる地震動を基準地震動 S 1 (最大加速度 221 ガル)とし、設計用限界地震によってもたらされる地震動を基準地震動 S 2 (最大加速度 473 ガル)とした。

基準地震動 S 1 及び基準地震動 S 2 の策定の流れは図 37 のとおりである。その具体的な内容について、以下に述べる。

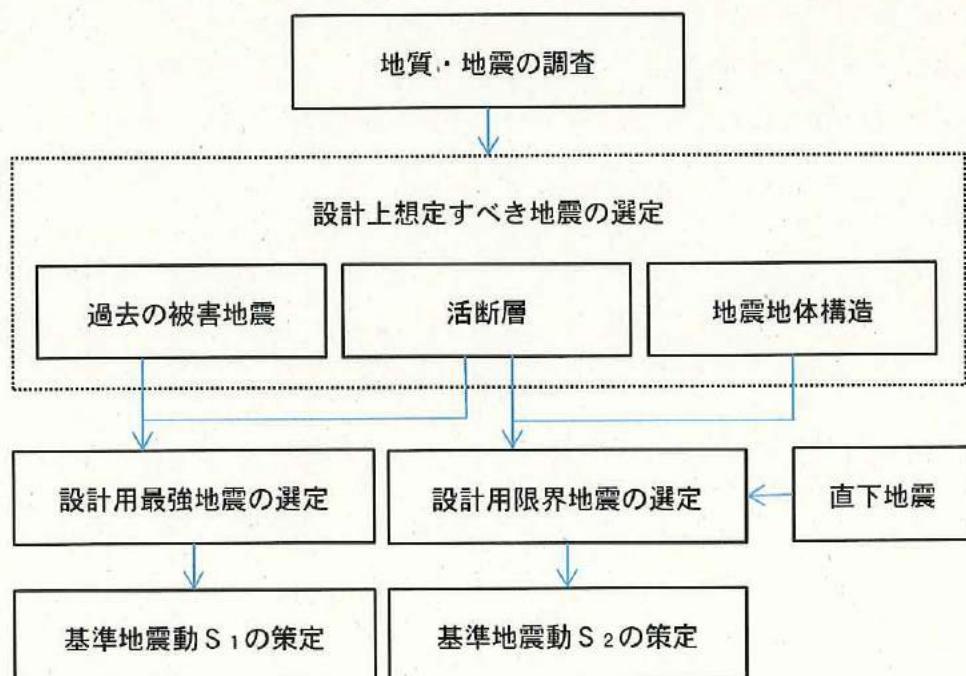


図 37 本件 3 号機の基準地震動 S 1 及び S 2 策定の流れ

a 設計上想定すべき地震の選定

過去の被害地震については、「宇佐美カタログ（1979）」等に基づいて敷地から震央までの距離が200km以内の地震（比較的近距離の地震）について調査を行った。そして、敷地に気象庁震度階級でV程度以上の震度を与えた地震として、684年土佐その他南海・東海・西海諸道の地震（M8.4, 震央距離192km), 1649年安芸・伊予の地震（M6.8, 震央距離25km), 1812年伊予松山の地震（M6.9, 震央距離39km), 1854年伊予西部の地震（M7.0, 震央距離22km) 及び1968年愛媛県西方沖の地震（M6.6, 震央距離22km) を選定した。

敷地から震央までの距離が200km以上離れた地震（比較的遠距離の地震）としては、南海道沖で発生した1707年宝永地震、1854年安政南海地震、1946年南海地震があり、「日本被害地震総覧」等によれば、これらの地震による敷地の震度はV程度以上であったとされるが、基準地震動の評価にあたっては、これらの地震を選定せず、敷地への影響が同程度以上と考えられる、南海道沖を含む地域で発生した上記684年土佐その他南海・東海・西海諸道の地震に代表させて評価を行うこととした。

活断層については、「日本の活断層（1980）」等の資料及び関連する文献の調査のほか、空中写真判読⁵¹、地表踏査、音波探査（海域）等の詳細な調査を実施し、陸域では伊予断層、川上・

⁵¹ 空中写真を実体鏡と呼ばれる器具を用いて観察することにより、活断層地形の可能性がある地形を抽出・分析する調査

北方断層等を、海域では敷地前面海域の断層群、宇和海のF-2
1断層をそれぞれ確認した。そして、断層規模から想定される地
震の規模、断層の中央を震央とした場合の震央距離等から考えら
れる本件発電所への影響の度合い、さらには過去の地震の発生状
況、被告が本件発電所で実施してきた微小地震観測等も勘案し、
設計用最強地震及び設計用限界地震の策定にあたり考慮すべき活
断層として、陸域の伊予断層、海域の敷地前面海域の断層群を選
定した。伊予断層については、陸域の12kmの間で断層の連続性
が推定できるのに加え、海域においてもこれの延長と考えられる
断層が約10km追跡されることから、長さ22kmの断層と判断し
た。敷地前面海域の断層群については、その分布形態、活動時期
等から、長さ46kmの範囲において一連に活動する可能性がある
と判断した。そして、その活動性を踏まえ、伊予断層及び敷地前
面海域の断層群において発生する地震については、設計用限界地
震の対象として取り扱うこととした。

地震地体構造から想定される地震については、過去の地震の發
生状況、最近の地震活動の状況、活断層の分布状況等から、フィ
リピン海プレートに関連する地震と四国内陸部の地域の地震に大
別し、想定した。フィリピン海プレートの沈み込みに関連する地
震として、南海道沖の地域の地震(M8.5, 震央距離190km),
日向灘地域の地震(M7 3/4, 震央距離135km)並びに伊予灘
及び宇和海地域の地震(M7 1/4, 震源距離30km)を、四国内
陸部の地域の地震として岡村断層西端付近から石鎚断層にかけて
の地域(震央距離110km)にM7 3/4の地震をそれぞれ想定し

た。

(以上、乙ヨ20(6-5-1~6-5-27頁))

b 設計用最強地震及び設計用限界地震の選定

設計用最強地震の対象となる地震については、地震の規模、震央距離から想定される地震動の特性等を踏まえ、684年土佐その他南海・東海・西海諸道の地震及び1854年伊予西部の地震を選定した。設計用限界地震の対象となる地震については、伊予断層による地震、敷地前面海域の断層群による地震、上記地震地体構造から想定される地震及び直下地震(M6.5, 震源距離10km)を選定した。

断層の近傍に位置する地点の地震動は、断層全体よりもむしろその地点近傍の断層部分から生じる地震動が大勢を決めるため、地震規模等の巨視的パラメータ(断層全体の形状や規模を示すパラメータ)よりは断層との相対的な位置、破壊の伝播方向等が大きく影響することが知られていたことから、敷地から約8kmと比較的至近距離に位置する敷地前面海域の断層群については、断層モデルに基づいて敷地での地震動評価を行った。断層モデルの適用にあたっては、断層の長さ、敷地との位置関係及び破壊形態を変えるなどして、様々なケースを想定した結果、本件3号機に最も大きな影響を及ぼすと考えられるのは、長さ25kmの区間で断層群が動いた場合の地震動であると評価された。その他の評価対象となる地震については、応答スペクトルに基づく地震動評価手法である大崎の手法により評価を行った。(乙ヨ20(6-5-28~31頁))

c 基準地震動の策定

基準地震動は、応答スペクトルに適合する模擬地震波⁵²で表す。基準地震動 S 1 の応答スペクトルは、設計用最強地震の対象となる地震による全ての応答スペクトルを包絡するものとし、また、基準地震動 S 2 の応答スペクトルは、設計用限界地震の対象となる地震による全ての応答スペクトルを包絡するものとした。そして、基準地震動 S 1 の応答スペクトルに適合する模擬地震波、基準地震動 S 2 の応答スペクトルに適合する模擬地震波をそれぞれ作成し、各模擬地震波を基準地震動 S 1 及び基準地震動 S 2 として策定した。その結果、基準地震動 S 1 の最大加速度は 221 ガル、基準地震動 S 2 の最大加速度は 473 ガルとなった。（乙ヨ 20（6-5-30～31 頁、6-5-106～110 頁））

そして、被告は、基準地震動 S 1 を、例えば、重要度 A s クラス及び A クラスの施設について弾性設計を行う上で基準となる地震動として用いた（耐震重要度分類及び弾性設計については、後記(4)で述べる。）。また、基準地震動 S 2 を、重要度 A クラスのうち特に重要な A s クラスの施設について、機能維持限界までに余裕を有することを評価・確認するために用いた。（乙ヨ 20（8-1-105～126 頁））

ウ 耐震設計審査指針の改訂後の評価

(ア) 1995 年兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価

⁵² 設計に用いるために、実地震波を模擬して作った人工地震波のことであり、地震動の特性を与える応答スペクトルについて、目標となる設計用応答スペクトルを設定し、これに適合するような特性を有する地震波として作成する。

手法の発展について

1995年兵庫県南部地震では、日本で初めて震源近傍で強震動が観測され、地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「增幅特性」が強震動やそれによる被害に大きく影響していることが明らかになった。そして、将来の地震における強震動を高精度で予測するためには、それらの3つの地域特性を考慮した地震動評価を行う必要があることが広く認識され、地震に関して様々な調査及び観測が行われた。その結果、地震学、地震工学等の新たな知見が急速に蓄積された。

具体的には、1995年兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなく南側のやや離れた所に「震災の帶」(図38)と呼ばれる被害の集中域が現れたメカニズムが詳細に分析された。すなわち、「震災の帶」及びその周辺では、建物等の固有周期と概ね同じ周期1秒前後のパルス(振幅の大きい波)を有する強震動が観測され、これが建物等の被害を生じさせた原因であると考えられた。このため、断層モデルによる検証を行い、震源における断層破壊の進行方向でアスペリティ⁵³から放出された大きな地震波が重なり合ったこと(指向性)により上記パルスが発生したことが明らかになった。また、断層の南側に存する堆積層及び深部地下構造の影響を受けて地震波が増幅することにより、断層の直上ではなく、やや離れた場所に「震災の帶」が現れたことが判明した。

⁵³ アスペリティとは、地震を起こす震源断層面の中でも強く固着した領域のことであり、この部分がずれると特に大きなずれを生じ、大きな揺れが生じる。

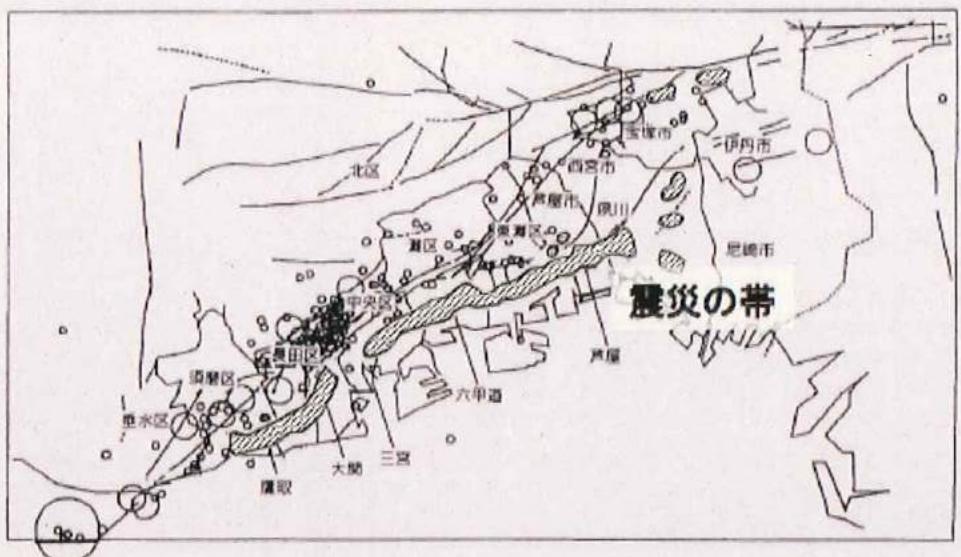


図38 1995年兵庫県南部地震における「震災の帶」

耐震設計審査指針制定後、地震動評価に用いられていた応答スペクトルに基づく手法（大崎の手法等）では、最大加速度や応答スペクトルなどによる揺れの評価を主眼としており、1995年兵庫県南部地震で大きな被害の要因となったパルスを有する時刻歴波形を主眼とした評価を行うものではなかった。1995年兵庫県南部地震では、構造物の耐震性を精緻に把握するには、最大加速度、応答スペクトル等を用いた評価だけでなく、時々刻々と変化する揺れを表現できる時刻歴波形による評価が極めて重要であることが認識された。そのため、地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「增幅特性」を反映した時刻歴波形を直接作成する断層モデルを用いた評価手法が、特に震源近傍の地震動評価では重要な位置付けられるようになった。

断層モデルを用いた手法による地震動評価とは、地震の原因とな

る断層をモデル化し（断層モデル），このモデルをもとに，地震動を評価する手法である。応答スペクトルに基づく地震動評価手法の多くが震源を点として捉えるのに対し（上記イ（ア）d），この手法では，広がりをもった面として震源を捉え，断層運動により岩盤が破壊する現象を再現するものであり，図39のように，震源断层面を細分化した各要素から放出される小地震の地震波形を合成することで評価地点の地震波形を計算する（要素となる小地震のことを「要素地震」といい，ここから得られる小地震波のことを「グリーン関数」という。）。

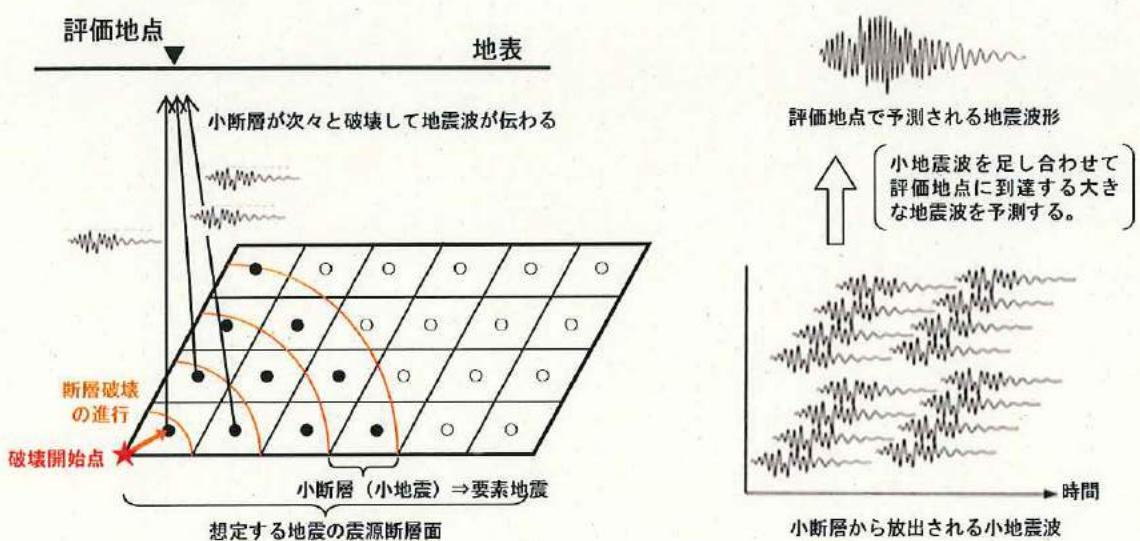


図39 断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図

1995年兵庫県南部地震は，甚大な被害をもたらすとともに，我が国の地震防災対策に関する多くの課題を浮き彫りにした。この地震による甚大な被害経験を活かすため，当時の総理府（現・文部

科学省)に地震調査研究推進本部⁵⁴が設置され、全国の基盤的観測網の構築と併せて、活断層調査、地下構造調査等が行われた。強震観測網の充実で、大きな地震が起きると精度の良い地震動が記録され、その解析から震源断層の破壊過程が直ちに断層モデルとして計算されることなどにより、地震の「震源特性」に係る知見が蓄積されるようになった。そして、蓄積された知見を基に、「震源特性」に係るスケーリング則⁵⁵が提案されるようになった。さらには、強震動を高精度に予測するため、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」として、震源断層を特定した地震の強震動予測手法(強震動予測レシピ(乙ヨ38))が作成された。こうした、地震動評価手法の高度化に伴い、スケーリング則によって求められる震源特性に係る過去の地震の平均的な値と、各地域の観測記録等から得られた震源特性とを比較することができるようになり、当該地域の地域特性を把握することができるようになった。例えば、「震源特性」のうち強震動に直接影響する短周期レベル⁵⁶について、壇ほか(2001)⁵⁷、佐藤(2010)⁵⁸等の知見により、日本海溝沿いの太平洋プレートで発生する宮城県沖のプレート間地震は他の地域と比べ

⁵⁴ 行政施策に直結すべき地震に関する調査研究を一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき文部科学省に設置された政府の特別の機関

⁵⁵ 断層長さ・幅・面積、応力降下量(震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差)、地震モーメント(断層運動としての地震の規模を表すもの)、アスペリティ面積等の間に存在する一定の相似則、又はこれを経験的に関係式で示したもの

⁵⁶ 震源特性のうち、強震動に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトル(観測記録から增幅特性及び伝播特性の影響を取り除き、震源特性に対応した地震波の加速度スペクトル)のレベルのこと

⁵⁷ 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、2001、日本建築学会構造系論文集、第545号、51-62

⁵⁸ 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則、2010、日本建築学会構造系論文集、第651号、923-932

て短周期レベルが大きいこと、内陸地殻内地震のうち横ずれ断層型・正断層型の地震は逆断層型の地震に比べて短周期レベルが小さいことなどの特性が明らかになっている。また、都市部の関東平野、濃尾平野、大阪平野を中心に大規模な地下構造調査が行われ、各地域における地震波の「伝播特性」及び地盤の「增幅特性」による影響が検討された。

また、従来から地震による揺れの評価に用いられてきた応答スペクトルに基づく地震動評価手法についても、強震観測網の充実により、数多くの観測記録を統計的に分析することができるようになったため、過去に発生した地震動の平均的な値を精度良く評価できるようになった。その結果、応答スペクトルに基づく地震動評価においても、過去の地震の平均的な値と各地域で得られた観測記録との比較により、当該地域の地震像の地域的な特性を把握することができるようになった。

以上のように、1995年兵庫県南部地震を契機に、地震動評価手法に関する研究が大きく進展した結果、地域的な特性を踏まえて地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「增幅特性」を考慮した詳細かつ高度な地震動評価が可能となった。

(イ) 耐震設計審査指針の改訂

昭和53年に耐震設計審査指針が制定されて以降、地震動評価手法が高度化するとともに、地震学及び地震工学に関する新たな知見の蓄積には著しいものがあった。特に、上記(ア)で述べたとおり、1995年兵庫県南部地震に関連する調査研究の成果等を通じて、断層の活動様式、地震動特性、構造物の耐震性等に係る貴重な知見

が得られた。このような状況を踏まえ、原子力安全委員会は、平成8年度から平成12年度の5年間にわたり、原子力施設の耐震安全性に関する海外の基準類や文献の収集整理等を行い、平成13年6月からは、耐震安全性に係る安全審査指針類について、最新知見等を反映し、より適切な指針類とするために必要な調査審議を開始し、平成18年4月に改訂指針案のとりまとめを行った。その後、パブリックコメント等を経て、平成18年9月、原子力安全委員会は、耐震設計審査指針の改訂を行った。改訂後の耐震設計審査指針（乙ヨ21（59頁以下））では、基準地震動 S_s の策定に係る地震動評価手法が大幅に高度化された。関連する主な変更点を以下に述べる。

a 基準地震動の一本化

改訂前の耐震設計審査指針では、設計用最強地震による基準地震動 S_1 と設計用限界地震による基準地震動 S_2 との2種類の基準地震動を設定することとされていたが、改訂後の耐震設計審査指針では基準地震動 S_s に一本化された。

耐震設計においては、基準地震動 S_s による地震力に対して、耐震Sクラス（後記④イ(イ)）の施設の安全機能が保持されること、すなわち、基準地震動 S_s による地震力で生じる変形が塑性領域（荷重による変形が弾性領域⁵⁹を超える、荷重がなくなった後に元の形に戻らない変形の領域）まで達したとしても耐震安全性（安全機能の維持）が確保できることが基本的な考え方となった。その上で、工学的な観点から弹性設計用地震動 S_d を設定（基準

⁵⁹ 加えられた荷重を除去すると、変形を残すことなく完全に元の状態に戻る領域

地震動 S_s に 0.5 を下回らない係数を乗じて設定) し、耐震 S クラスの施設が弾性設計用地震動 S_d による地震力に対して施設全体として概ね弾性範囲に収まるよう耐震設計(弾性設計)を行うことを求めることにより、基準地震動 S_s に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確保できるよう配慮を行っている。

b 「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」の策定

基準地震動 S_s の策定にあたっては、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」とに分けて策定することとされた。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の地震動評価は、応答スペクトルに基づく地震動評価において設定した設計用応答スペクトル(下記 c 参照)と、断層モデルを用いた手法による地震動評価において検討用地震ごとに設定した応答スペクトルとを基に、それらを比較して策定する。

震源を特定せず策定する地震動は、改訂前の耐震設計審査指針の基準地震動 S_2 における直下地震の考慮に対応し、敷地近傍において発生する可能性が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ことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動であると意味づけられたものである。すなわち、地震動の評価は、あくまで詳細な調査を前提とした敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の策定に最大限の努力を払うべきであり、震源を特定せず策定する地震動はこれを補完する位置付けとして、念

には念を入れる観点から策定するものである。そして、実際の観測記録を基に策定するものであり、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って策定される敷地ごとに震源を特定して策定する地震動とは性質が異なっている。このため、改訂後の耐震設計審査指針では両地震動を個別の基準地震動 S s として策定するよう求めている。

ちなみに「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 2 0 0 8）」においては、「震源を特定せず策定する地震動」として評価した応答スペクトルが、全周期帯において「設計用応答スペクトル」を下回る場合は設計用応答スペクトルで代表させ、一部の周期帯で設計用応答スペクトルを上回る場合には双方を個別に評価する旨が規定されている。

c 「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の実施

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価にあたっては、地震動評価手法等の高度化を反映し、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施し、それぞれによる基準地震動 S s を策定することとされた。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、用いる経験式の適用条件及び適用範囲を検討して適切に選定した上で、複数選定した検討用地震について各々の応答スペクトルを求め、それらを全て包絡する応答スペクトル（設計用応答スペクトル）を設定する。この評価方法は、改訂前の耐震設計審査指針と同様で

ある。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、地震動の実像を精緻に評価するものである。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」では、上記(ア)において述べたとおり、地震の震源特性、地震波の伝播特性及び地盤の增幅特性を反映した時刻歴波形及び応答スペクトルを作成することが可能である。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」によって作成された時刻歴波形及び応答スペクトルは、「応答スペクトルに基づく地震動評価」による応答スペクトルとは異なり、その形状の凹凸に地震動の諸特性（周波数特性⁶⁰、継続時間、位相特性⁶¹等）が反映されたものであるから、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による地震動はそのまま安全性評価に用いることが妥当である。改訂後の耐震設計審査指針が規定しているように、評価手法の異なる「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」とのそれぞれについて基準地震動Ssを策定することによって、それぞれの手法の特徴を活かすことができるようになるのである。もっとも、結果的に、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による応答スペクトルが、「応答スペクトルに基づく地震動評価」により求めた設計用応答スペクトルを全周期帯において有意に下回る場合は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」により求めた設計用応答スペクトルで代替させることができるとされている。

⁶⁰ 地震波が、どの周波数の波を多く含む波であるか（短周期か長周期か）に関する特性

⁶¹ 地震波の位相（周期的に繰り返される現象の時間情報）に関する特性

d 「不確かさ」の考慮

基準地震動 S_s の策定過程（検討用地震の選定や地震規模、震源断層、アスペリティ等のパラメータの推定）には種々の不確かさが存在するが、この不確かさは地震動に過小又は過大な評価をもたらす可能性がある。このため、基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさについて、これによって算定される地震動が過小評価にならないよう、基準地震動 S_s の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる不確かさの要因及びその大きさの程度を十分踏まえつつ、適切な手法を用いて考慮することとされた。

e 「残余のリスク」の認識

改訂後の耐震設計審査指針には、地震学的見地から、基準地震動 S_s を超える強さの地震動が発生する可能性は否定できず、「残余のリスク」が存在すること、したがって、「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきであることが明記された。ちなみに、「残余のリスク」とは、「策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、施設に重大な損傷事象が発生すること、施設から大量の放射性物質が拡散される事象が発生すること、あるいはそれらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすこととのリスク」とされる。

「残余のリスク」を合理的に実行可能な限り小さくするためには、基準地震動 S_s の超過確率を小さくすることが重要である。こうした観点からも、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価における不確かさを十分に考慮すること、基準地震動 S_s

の超過確率に係る評価を行い十分に低いレベルに抑えられることを確認することが必要とされている。

(ウ) 平成 18 年の耐震設計審査指針の改訂を踏まえた被告の対応

被告は、上記の耐震設計審査指針の改訂の内容を踏まえ、改訂後の耐震設計審査指針に基づき、新たに基準地震動 S s を策定し、それを踏まえても本件発電所の耐震安全性が確保できることを確認した。基準地震動 S s の策定にあたり、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動については、文献調査、地質調査等による活断層の評価、過去の地震の発生状況等を考慮し、地震発生様式ごとに本件発電所の敷地に特に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を選定した。これらについて応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動を策定した。震源を特定せず策定する地震動については、震源近傍における観測記録を収集し、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を事前に特定できない地震による地震動についての知見を示す加藤ほか（2004）（乙ヨ22）を基に本件発電所敷地の地盤物性等を考慮して設定した。そして、被告は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、応答スペクトルに基づく地震動評価において求めた各検討用地震による地震動の応答スペクトルを包絡させるなどして設計用応答スペクトルを設定し、これを基に基準地震動 S s - 1（最大加速度 5.70 ガル）を策定した。また、断層モデルを用いた地震動評価の結果、基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルを一部の周期で超えた地震動を基準地震動 S s - 2（最大加速度 4.13 ガル）として策定した。

震源を特定せず策定する地震動については、全ての周期において基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルに包絡されるため、基準地震動として設定しなかった。

耐震設計審査指針の改訂を踏まえた基準地震動 S_s 策定の流れは図 40 のとおりである。

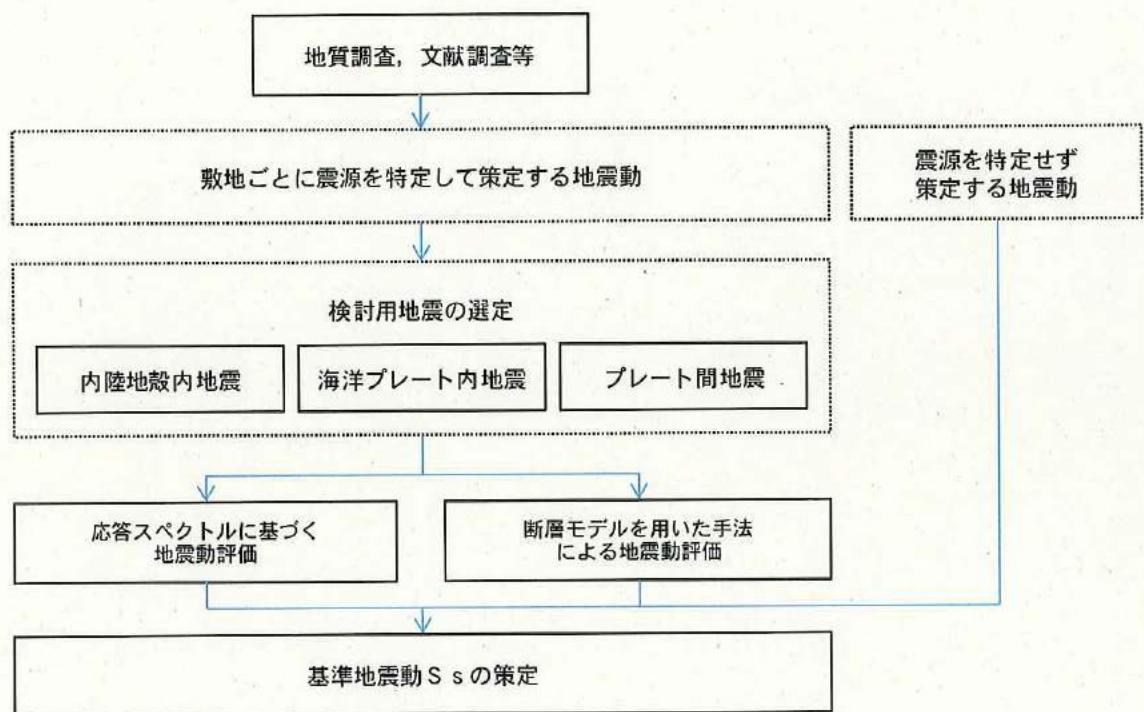


図 40 耐震設計審査指針の改訂を踏まえた基準地震動 S_s 策定の流れ

a 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の検討にあたっては、文献調査、地質調査等による活断層の評価、過去の地震の発生状況等を考慮し、地震発生様式ごとに本件発電所の敷地に特に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を選定することとした。

検討用地震の候補として、内陸地殻内地震については、敷地前面海域の断層群、伊予セグメント⁶²、五反田断層、別府湾一日出生断層帯、F-21断層並びに中央構造線断層帯の石鎚山脈北縁西部-伊予灘区間及び金剛山地東縁-伊予灘区間の各断層による地震について考慮した。そのうち、中央構造線断層帯については、地震調査研究推進本部が全体の長さを約360kmとし、過去の活動時期の違いなどから6つの区間に区分し、これら6つの区間が連動して活動する可能性を示していることから、敷地前面海域の断層群を含む断層長さ130km（中央構造線断層帯石鎚山脈北縁西部-伊予灘区間）及び同360km（金剛山地東縁-伊予灘）も選定したが、検討用地震の選定においては敷地前面海域の断層群で代表させて検討を行うこととし、断層長さ約130km及び約360kmのケースについては、地震動評価における不確かさの考慮や妥当性の検証として影響評価することとした。また、「地震被害総覧」等の文献に示された過去の地震発生状況に加え、地震調査研究推進本部、中央防災会議等による知見を踏まえ、海洋プレート内地震については、安芸・伊予の地震（1649年、M6.9）、伊予西部の地震（1854年、M7.0）及び豊後水道の地震（1968年、M6.6）を、プレート間地震については、土佐その他南海・東海・西海諸道の地震（684年、M8.1/4）、宝永地震（1707年、M8.6）、安政南海地震（1854年、

⁶² セグメントとは、活断層を、過去の活動時期、平均変位速度、平均活動間隔、変位の向きなどに基づいて区分した断層区間のことである。固有地震を繰り返す活断層の最小単元と考えることができる。

M 8. 4), 想定南海地震(地震調査委員会⁶³, M 8. 4)及び想定南海地震(中央防災会議, M 8. 6)をそれぞれ考慮することとした。そして、分類ごとに本件発電所の敷地に特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選定することし、距離減衰式による地震動評価を実施した。

その結果、内陸地殻内地震では敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震を、プレート間地震では想定南海地震を、海洋プレート内地震では1649年安芸・伊予の地震をそれぞれ検討用地震として選定した(乙ヨ23(IV-9~14頁, IV-22~IV-23頁, IV-63頁))。

そして、これら検討用地震について応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行った。敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震の地震動評価にあたっては、被告が行った詳細な地質調査や様々な知見等を踏まえ、基本震源モデルとして敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)の断層長さを両端の引張性ジョグ⁶⁴の内部まで延伸した54kmとし(後記(3)イ(ア)d~e参照), 断層傾斜角を90度とした上で、①新潟県中越沖地震(後記(工)参照)の知見を反映して応力降下量⁶⁵につき、基本モデルの1.5倍とするケース、断層の傾斜角を②北傾斜30度とするケース、③南傾斜80度と

⁶³ 地震調査研究推進本部地震調査委員会

⁶⁴ ジョグとは、断層形状が分岐したり、屈曲したりする不均質部のことをいう。力のかかり方により引張性ジョグと圧縮性ジョグに分類される。ジョグは、断層破壊の停止域となりやすく、断層破壊の末端を示唆する地質構造といえる。

⁶⁵ 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差を指す。地震は、岩盤に蓄積されていた応力が、震源断層面がずれるエネルギーとなって解放されるものであるため、応力降下量は、地震により解放されたエネルギーを示しているともいえる。

するケース、④断層長さを 6.9 km とするケース、⑤断層長さを約 13.0 km とするケースについて、不確かさを考慮した。海洋プレート内地震の 1649 年安芸・伊予の地震及びプレート間地震の想定南海地震についても、基本震源モデルに不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行ったが、本件発電所敷地においては、敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による内陸地殻内地震が最も影響が大きくなる結果となった。

（以上、乙ヨ 23 (IV-23～IV-31 頁, IV-66～67 頁))

b 震源を特定せず策定する地震動

震源を特定せず策定する地震動は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍の観測記録を基に策定する必要があるところ、これに関連する代表的な知見として、加藤ほか (2004) (乙ヨ 22) がある。加藤ほか (2004) は、我が国及び米国カリフォルニア州における震源近傍で得られた観測記録を収集し、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を事前に特定できない地震の地震動を複数設定しており、本件発電所における震源を特定せず策定する地震動として用いるのに適切であると考えられる。そして、被告は、本件発電所の地盤特性 (S 波速度が 2600 m/秒) を考慮し、加藤ほか (2004) が提案する地震動のうち、「地震基盤における地震動」を震源を特定せず策定する地震動として採用することとした。（乙ヨ 23 (IV-32～IV-36 頁))

c 基準地震動 S s の策定と耐震安全性の確認

被告は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について、応答スペクトルに基づく地震動評価により求めた検討用地震の応答スペクトル及び改訂前の耐震設計審査指針に基づく基準地震動 S_s2 を包絡するよう設計用応答スペクトルを設定し、これを基に基準地震動 S_s-1 (最大加速度 570 ガル) を策定した。また、断層モデルを用いた手法による地震動評価により求めた検討用地震の応答スペクトルと上記基準地震動 S_s-1 の応答スペクトルとを比較し、一部周期で基準地震動 S_s-1 の応答スペクトルを超過したケースがあったため、この地震動を基準地震動 S_s-2 (最大加速度 413 ガル) として策定した。震源を特定せず策定する地震動については、その応答スペクトルが全ての周期において基準地震動 S_s-1 の応答スペクトルに包絡されているため、個別の基準地震動は策定せず、震源を特定して策定する地震動の応答スペクトルで代表させることとした。さらに、策定した地震動の妥当性を検討するため、地震調査研究推進本部が約 360 km の区間で連動する可能性に言及していること踏まえ、敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）の 360 km 連動ケースと上記不確かさケースで考慮した 130 km 連動ケースから断層モデルを変更したケースについて評価を行い、策定した基準地震動 S_sとの比較を行った。結果は、両ケースとも基準地震動 S_sを下回る結果となり、基準地震動 S_sの妥当性が確認できた。また、地震調査研究推進本部が評価した 130 km 連動ケースとも比較して、被告の評価が保守的であることを確認した。（乙ヨ 23 (IV-3 6 ~ IV-40 頁, IV-188 ~ IV-199 頁))

(エ) 原子力発電所の地震観測記録から得られた知見の反映

地震動評価手法の発展の契機となった1995年兵庫県南部地震後に発生した、2005年宮城県沖地震（M7.2）、2007年能登半島地震（M6.9）、2007年新潟県中越沖地震（M6.8）では、原子力発電所において大きな地震動（観測記録）が得られ、これを基に実施した詳細な分析、地下構造に係る追加調査等により、平均よりも大きな地震動をもたらす地域特性（「震源特性」、「伝播特性」及び「增幅特性」）に係る新たな知見等が得られた。

まず、震源特性について、いずれの事例においても、地震時に得られた観測記録の分析から、震源特性を決める重要なパラメータである短周期レベルが平均よりも大きなものであった。例えば、2005年宮城県沖地震では、東北電力株式会社女川原子力発電所の基準地震動S2を超えることとなった要因について、同社は「短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められた。」とし、「今回の地震による敷地における地震動の特徴は、宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域特性によるものと考えられる。」と結論付けている（乙ヨ24（3頁））。

また、伝播特性について、2007年新潟県中越沖地震の際、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所において地震動の増幅が生じた要因の一つとして、深部地盤の不整形性の影響により2倍程度増幅する傾向が確認された（乙ヨ25（3頁））。

さらに、増幅特性について、2007年能登半島地震の際、北陸電力株式会社志賀原子力発電所で観測された周期0.6秒のピークは敷地地盤の増幅特性によるものと分析された（乙ヨ26（5頁））。

2007年新潟県中越沖地震の際には東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所において発電所敷地下の古い褶曲構造による増幅特性が確認された（乙ヨ25（3頁））。

これらの地震で得られた新たな知見は、各原子力発電所の地震動評価において、当該発電所の地域性を踏まえて活用され、それぞれ基準地震動Ssが策定された。例えば、2005年宮城県沖地震によって、宮城県沖のプレート間地震は他の地域と比べてその「震源特性」として短周期レベルが大きいことが明らかとなつたことから、東北電力株式会社女川原子力発電所では、同地震の断層モデルを活用するなどして、その地域性を考慮した地震動評価を行い、基準地震動Ssを策定した（乙ヨ27（2頁））。その結果、東北地方太平洋沖地震で観測された同発電所敷地の地震動は、一部の周期帯で基準地震動Ssの応答スペクトルをやや上回つたものの、全体としては概ね同等のレベルであり、同地震後に行った施設の点検及び地震応答解析による詳細検討により同発電所の耐震安全性に影響がないことが確認されている（乙ヨ28～乙ヨ30）。

被告は、下記工で述べるとおり、本件発電所の地域特性を十分に把握し、これを適切に地震動評価に反映した上で、上記の地震で得られた地域特性に係る知見のうち、他の地域についても当てはまる可能性が否定しきれないものについては、基準地震動Ssの策定にあたり必要に応じてその知見を考慮している。例えば、2007年新潟県中越沖地震の際に東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所において地震動の増幅が生じた要因のうち、同地震の震源特性が同規模の内陸地殻内地震と比べて1.5倍程度大きめの地震動を与える

地震であったことは、基本的には、逆断層型の地震に特徴的なものであって横ずれ断層である中央構造線断層帯による地震には当てはまらないとも考えられるものの、上記(ウ)aで述べたとおり、短周期の地震動レベルと相関関係のある応力降下量について、基本ケースの1.5倍としたケースも考慮して基準地震動Ssを策定した。

(乙ヨ23(N-25頁, N-68~N-73頁))

工 新規制基準制定後の評価

(ア) 新規制基準の制定

東北地方太平洋沖地震が発生し、これに伴う津波により東京電力株式会社福島第一原子力発電所が深刻な事故に至ったことを踏まえ、原子力規制委員会が発足するとともに原子炉等規制法の改正が数次にわたり行われた。そして、実用発電用原子炉に係る原子炉設置許可申請の許可基準等を示した原子力規制委員会規則、さらにこれに関連する原子力規制委員会の内規(ガイド等)が多数制定又は改正され、平成25年7月8日に施行された。これらは、総称して「新規制基準」と呼ばれている⁶⁶。(新規制基準の制定経緯及びその概要については後記第10の2参照)

この新規制基準は、東北地方太平洋沖地震に係る知見、福島第一原子力発電所事故の発生等を踏まえて制定されたものであるが、地震動評価に関して平成18年改訂後の耐震設計審査指針と比較すると、詳細な調査に基づき「震源特性」、「伝播特性」及び「增幅特性」を踏まえて敷地に到来し得る地震動を評価するという地震動評価及

⁶⁶ 「新規制基準」に含まれる規定の範囲を明確に定義したものはなく、福島第一原子力発電所事故を踏まえて改正された後の原子炉等規制法の関連規定も含む場合もある。

び基準地震動 S s の策定に係る基本的な部分については、ほぼ同一である。ただし、活断層等の解釈を明確化したり、地下構造による地震波の増幅の考慮に関する記載が充実したりするなどしており、その適用面では、より詳細な調査・検討が求められることになるため、新規制基準においても地震動評価手法は高度化したものとなっている。

(イ) 新規制基準の制定に伴う被告の対応

上記のとおり、新規制基準と平成 18 年改訂後の耐震設計審査指針とはほぼ同一であるものの、被告は、福島第一原子力発電所事故の原因となった津波が想定を大きく超えたものであったこと、新規制基準がこうした事態を受けて制定されたものであることを踏まえ、改めて最新の知見も踏まえた評価を行った。

この評価と上記ウ(ウ)で述べた評価との主な違いは、①地震動評価上考慮すべき敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）について、西端で接する別府一万年山断層帯を含む、より長い区間（480 km）での連動を想定していること、②震源を特定せず策定する地震動について、最新の観測記録、解析結果等を用いた評価を行っていること、③深部ボーリング調査等の新たな調査により把握した本件発電所敷地の地下構造に係る知見を反映した評価を行っていることなどであり、詳細について、下記(3)で述べる。

(3) 新規制基準の制定後に実施した地震動評価及び基準地震動の策定

被告は、本件発電所の基準地震動 S s について、福島第一原子力発電所事故の原因となった津波が想定を大きく超えたものであったこと、新規制基準がこうした事態を受けて制定されたものであることを踏まえ、

改めて最新の知見も踏まえた評価を行い、基準地震動 S s を策定した。

ア 基準地震動策定の流れ

基準地震動 S s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれ敷地の解放基盤表面⁶⁷における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定する。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、敷地周辺における地震発生状況、活断層の性質等を考慮し、地震発生様式等による地震の分類を行った上で、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を選定し、選定した検討用地震に対して、震源特性等の不確かさを適切に考慮し、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を行い、この結果に基づき策定する。また、「震源を特定せず策定する地震動」は、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、震源と活断層とを関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録に基づき策定する。基準地震動 S s 策定の流れについて図 4-1 に示す。

⁶⁷ 基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物がな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もって想定される基盤の表面