§５　５－２　地震

5-2-2　基準地震動とは何か。

１　基準地震動を策定する背景

事故防止対策に係る規制として、安全確保の見地から、自然現象又は外部からの人為事象といった外部事象と、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故とを区別し、外部事象に対する設計上の考慮の妥当性は、それ自体が事故の誘因とならないよう、発電用原子炉施設の基本設計ないし基本的設計方針に係る事項として審査される仕組みとされている。

我が国は、プレート境界に極めて近い位置に存し（図１、２）、地震の発生頻度が大きいことを踏まえ、外部事象の中でも地震は、発電用原子炉施設やその機器等への影響が想定される事象として、特に考慮が必要であると従来から考えられてきた。

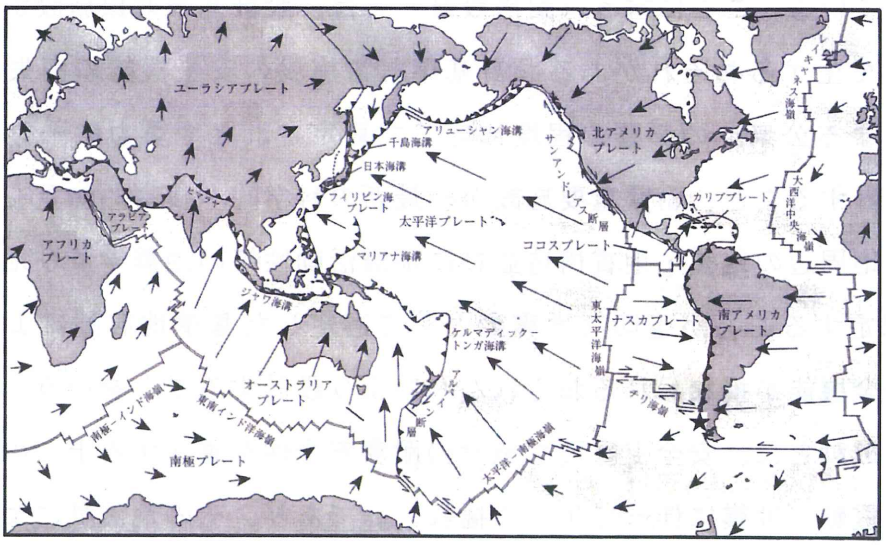


図１　世界のプレート境界

（出典：西村裕二郎編著（2010）『基礎地球科学 第２版』朝倉書店）

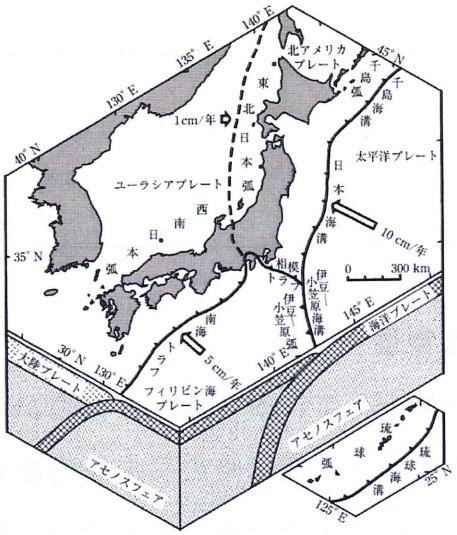


図２　日本列島を取り囲むプレート

（出典：西村裕二郎編著（2010）『基礎地球科学 第２版』朝倉書店）

そのため、多量の放射性物質を内包する施設である発電用原子炉施設は、その潜在的危険性を考慮して保守的に耐震設計を講じさせるため、S クラスの施設及び設備に対し、建築基準法の要求を大幅に超える厳しい条件で耐震設計をすることを求めている。ここに言う「耐震設計」とは、設計基準対象施設が、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定された地震力に十分に耐えられるよう設計すること、耐震重要施設が、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切な地震動として選定した基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう設計することをいう。

基準地震動とは、安全上重要な施設の耐震安全性を確保する上での「基準」となる「地震動（地震に伴って生じる揺れ）」であり、その地震動による地震力が加わった際に原子力発電所の安全上重要な施設の安全機能が保持できるかどうかを確認するための役割を担っている。

2　設置許可基準規則の定め

設置許可基準規則は、「基準地震動は、『敷地ごとに震源を特定して策定する地震動』及び『震源を特定せず策定する地震動』について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定すること」を求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５一、図３）。

「『敷地ごとに震源を特定して策定する地震動』は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、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。）を複数選定し、選定された検討用地震ごとに、不確かさを考慮[*1]して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定すること」を求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。

検討用地震の選定については、「内陸地殻内地震」、「プレート間地震」及び「海洋プレート内地震」について、敷地周辺の活断層の性質や過去の地震の発生状況を精査するほか、敷地周辺の中・小・微小地震の分布、応力場、地震発生様式（プレートの形状、運動、相互作用を含む。）に関する既往の研究成果等を総合的に検討し、複数選定することとされている（設置許可基準規則の解釈別記２の５二①）

---

*1　地震動の評価過程には、震源断層の長さやアスペリティの位置・大きななど様々なパラメータに不確かさがある。こうしたパラメータについて、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を分析してそのパラメータを変更（例：震源断層の長さを長くする。アスペリティの位置を敷地に近づける。）して地震動を評価することをいう。

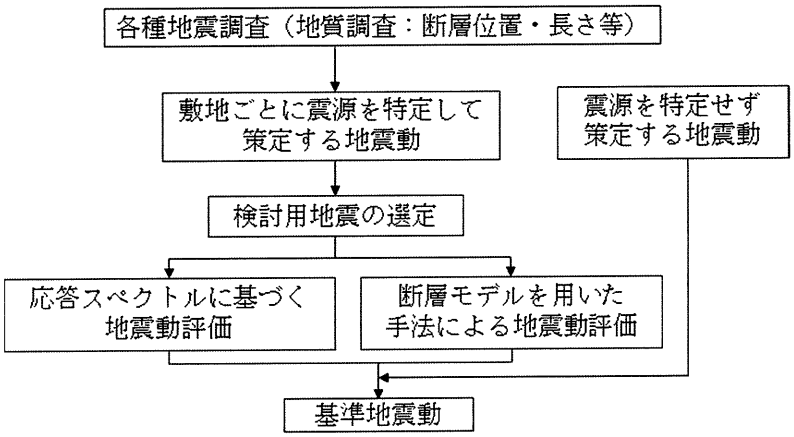


図３　基準地震動策定過程

また、「『震源を特定せず策定する地震動』は、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」を求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５三）。

基準地震動は、耐震設計を講じる施設の設置位置周辺の地域的な特性を含めて地震波の伝播経路等に応じた諸特性を十分に考慮するため、上述のように詳細な調査を実施して策定されるべきもの（敷地ごとに震源を特定して策定する地震動）である。しかし、地震の規模が小さいために地表にまでずれが及ぼす活断層が確認できない場所でも地震は発生しうる。したがって、敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震全てを事前に評価し得るとは言い切れない。そこで、設置許可基準規則は、敷地近傍の断層への配慮に万全を期すという観点から、相補的な位置づけとして、「震源を特定せず策定する地震動」も基準地震動を策定するに当たっての検討対象として策定することを求めている。

３　地震による揺れの大きさを決める３つの特性（参考）

一般に、地震による地盤の揺れ（地震動）は、震源においてどのような破壊が

起こったか（震源特性）、生じた地震波がどのように伝わってきたか（伝播経路特性）及び対象地点近傍の地盤構造によって地震波がどのような影響を受けたか（サイト特性）という三つの特性によって決定されると考えられている。すなわち、震源特性は、どの程度の大きさの震源がどのように破壊したかといった時間的・空間的な特徴が要因となり、放射される地震波に大きな影響を与える。震源から放射された地震波は、硬い地殻の中を様々な経路をたどって対象地点の近傍に到来し、たどった経路に固有の特性が伝播経路特性として地震動に反映される。そして、対象地点近傍で地震波が柔らかい地層に入射すると、地震波は一般には増幅されて大きな地震動となるが、このサイト特性は、地盤の構成や構造によって異なるとされている（図４）。

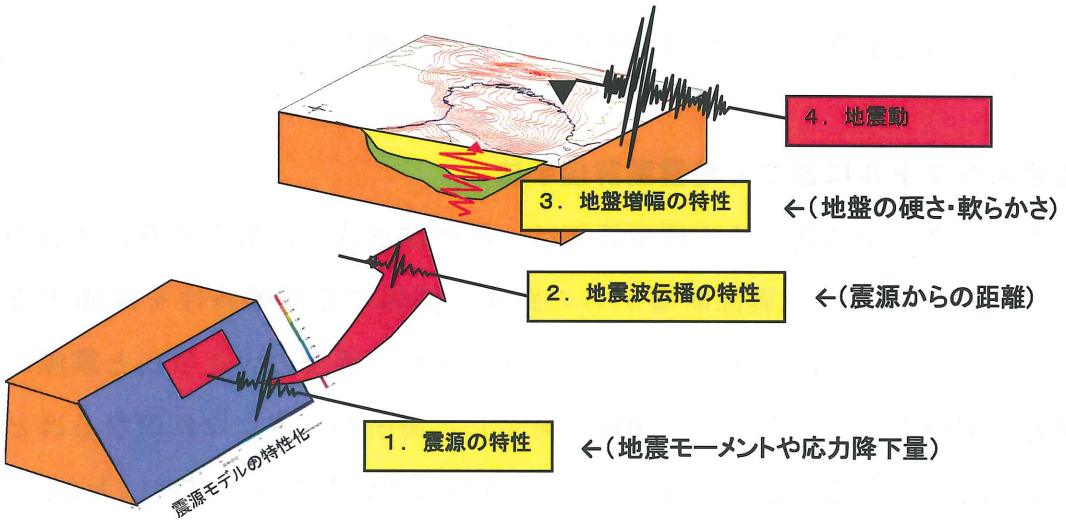


図４　地震動評価の３要素

これらの特性は、全国一律なものではなく、発電用原子炉施設の敷地及び敷地周辺の地盤等によって異なるものであることから、地質調査、地震観測及び地震探査等により、地域的な特性についても十分調査する必要がある。

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-3　応答スペクトルに基づく地震動評価とは、具体的にどのようなものか。

１　はじめに

「応答スペクトルに基づく地震動評価」とは、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震から、敷地に大きな影響を与えると予想される地震として選定された検討用地震の震源が活動したと仮定した場合に、評価地点において想定される地震動を経験的に算出するもので、基準地震動を策定する際の評価方法のひとつである。以下では、その手法及び特徴を述べる。

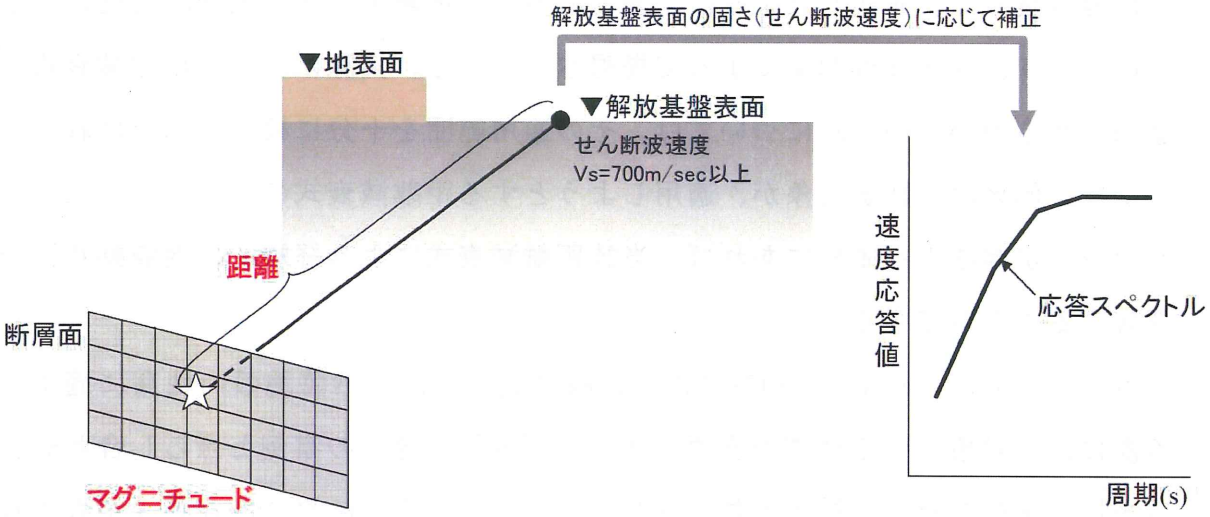
２　応答スペクトルに基づく地震動評価手法

応答スペクトルに基づく地震動評価は、距離減衰式に代表される、地震のマグニチュードと震源又は震源断層からの距離の関係で地震動特性を評価する手法である。ここで、「距離減衰」とは、地震の揺れ（震度の大きさ）と震源からの距離との関係を示したもので、地震が発生した場所から遠くなればなるほど、地震の揺れが弱くなることをいう。例えば、震源に近いところの震度は大きくても、遠い場所では震度が小さくなるのは距離減衰による効果又はその影響である。「距離減衰式」とは、地震の揺れの強さと震源からの距離との関係を式に表したもので、過去の多くの地震データの統計的処理によって得られるものである。「地震のマグニチュード」や「震源からの距離」などを距離減衰式に入力すると、震源からの距離に応じて、「地震の揺れ」や「震度」を計算することができる。

最も理想的な方法は、敷地で得られた観測記録を統計分析して距離減衰式を作成することであるが、統計分析が可能なほどに十分な観測データを単一地点で得ることは困難である。そのため通常、距離減衰式は震源特性や伝播特性の異なる

多くの地震により、サイト特性の異なる多くの観測点で得られた記録を統計処理している（JEAG4601-2007（１－２５、１－２６ページ））。

「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、震源距離を用いて地震基盤[*1]における応答スペクトルを求め、解放基盤表面までの地盤特性を考慮した補正（増幅や卓越周期[*2]）をすることで解放基盤表面での応答スペクトルが求められる（図１）。



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

図１　応答スペクトルに基づく地震動評価例

このようにして検討用地震毎に応答スペクトル算出し、これと、別で述べる「断層モデルを用いた手法による地震動評価」によって検討用地震ごとに求められた

---

*1　S 波速度が 3km/s 程度以上の層で、地震波が地盤の影響を大きく受けない基盤のこと。一般的に、地震基盤面以浅では、地表に近付くにつれて S 波速度の小さい層となり、地震波が増幅するが、地震基盤から深さ十数 km までの上部地殻と呼ばれる部分では、S 波速度が 3～3.5km/s でほぼ一定となるため、地震波の増幅はないとされている。

*2　地震の振幅と周期は地盤によって左右されるが、「やわらかい」地盤では振幅が大きく周期が長くなる傾向が，原子炉設置地盤のような「かたい」地盤では振幅が小さく周期が短くなる傾向がある。このような地盤が持つ揺れの周期の特性を特に卓越周期という。

応答スペクトルや「震源を特定せず策定する地震動」を相補的に考慮し、基準地震動を策定する。

3　応答スペクトルに基づく地震動評価の特徴

距離減衰式は、少ないパラメータ（地震規模、震源距離、地盤の卓越周期など）を用いて平均的な地震動の強さを示す指標として非常に有効なものとして、原子力施設を含め耐震設計において活用されてきた。

距離減衰式は、先述したように、過去の多くの地震データの統計的処理によるものであり、様々な専門家によって提唱されている。実際に、どの距離減衰式を適用させるのかという点については、その適用範囲を十分に検討されなければならない。例えば、評価対象が、適用しようとする距離減衰式のもととなったデータセットが存在する領域にあれば、当該距離減衰式により経験的に地震動特性を評価することができる。

例えば、Noda et al (2002)による距離減衰式では、内陸地殻内地震に適用する際には、対象とする地震の震源のメカニズム等を過去の事例と照らし合わせ、妥当性を確認した上で補正係数を乗じることで、地震動の平均的な特性が表される（JEAG4601-2007（１－４１ページ））。

また、水平及び鉛直地震動の応答スペクトルは、適用する距離減衰式の特徴を踏まえ、敷地周辺の地下構造に応じて地震波の影響が適切に考慮されている。

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-4　断層モデルを用いた手法による地震動評価とは、具体的にどのようなものか。

１　はじめに

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震から、敷地に大きな影響を与えると予想される地震として選定された検討用地震の震源が活動したと仮定した場合に、評価地点において想定される地震動を解析的に算出するもので、基準地震動を策定する際の評価方法のひとつである。以下では、その手法及び特徴を述べる。

２　断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価手法

前述した応答スペクトルを用いた地震動評価は、過去の多くの地震データを基にしたもので、少ないパラメータ（地震規模、震源距離、地盤の卓越周期など）で地震動を簡便に評価できる手法である。一方で、実際の断層は面であり、断層面は均質ではなく、また、地震のメカニズムも複雑である。

まず、地震とは、プレート運動などにより地中に蓄積されたひずみが限界に達し、断層が破壊する現象であり、その断層の面のことを震源断層面という。また、震源断層面は均質ではなく、断層面上で通常は強く固着していて、ある時に急激にずれて（すべって）地震波を出す領域のうち、周囲に比べて特にすべり量が大きく強い地震波を出すアスペリティという領域がある。そして、震源断層は、同時に震源断層面の全範囲が破壊されるのではなく、破壊が始まった断層が地震波を発し、次第に破壊の範囲が広がっていくものである。地震動評価においては、大きな地震は小さな地震が次々に発生してそれが集まったものと見なすことが

できる。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、震源断層面を設定し、その震源断層面にアスペリティを配置し、ある一点の破壊開始点から、これが次第に破壊し、揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価手法であり、前述した地震の発生メカニズムを反映した手法である。

具体的には、①震源断層面を設定（アスペリティの配置を含む）し、細かい小断層（要素面）に分割する、②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する、③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し、分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる（この時アスペリティからの地震波は周囲よりも強いものとなる）、④足し合わせの結果、評価地点での地震動が求められる（以上①から④について図１）。

断層モデルを用いた手法による地震動評価により、評価地点における地盤の揺れを表す時刻歴波形*1や応答スペクトルなどを求めることができる。

---

*1　地震波の到達によって起こされた評価地点での地震動が時間の経過とともに生じる変化を表したもの。変化の指標として，加速度，速度，変位があるが，強震動予測においては，加速度の時間変化を指すことが多い。

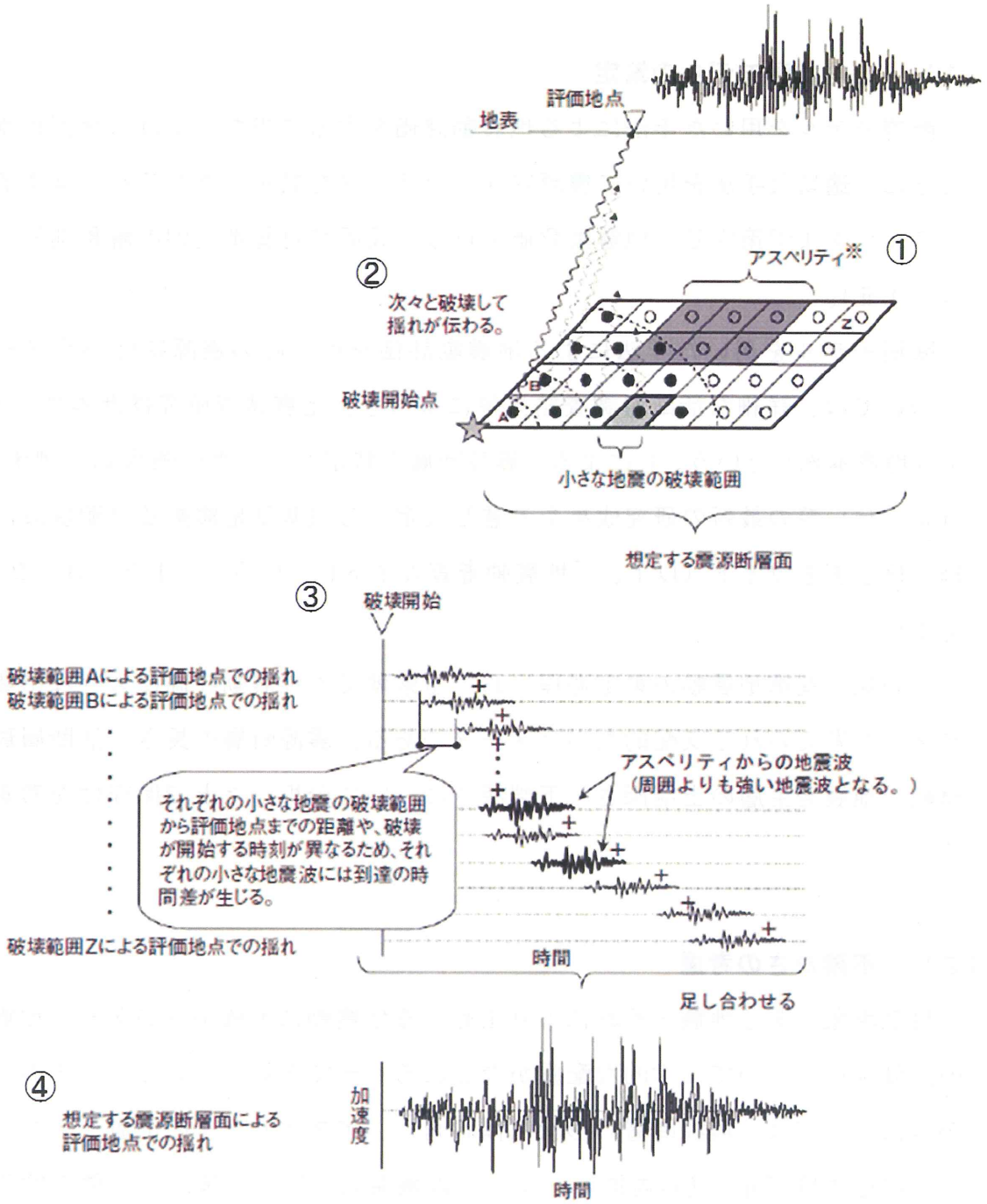


図１　断層モデルの手法の概念について

（出典：原子力安全委員会資料に一部加筆）

以下、当該手法に基づく地震動評価の手順を説明する。

（１）　基本震源モデルの策定

断層モデルを用いた手法による地震動評価をするに当たっては、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たモデル（基本震源モデル）をまず策定し、地震動評価を行う（設置許可基準規則の解釈別記２の５二④ⅱ）。

断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータについては、詳細な活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部[*2]（以下「地震本部」という。）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（レシピ）等の最新の研究成果を考慮し設定する（基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（以下、「地震動審査ガイド」という。）Ⅰ３．３．２(4)①１）。

この際、基準地震動の策定過程における敷地での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である、震源断層の長さ、活断層群の連動、地震発生層の上端深さ・下端深さについて分析した上で保守性を考慮する。

（２）　不確かさの考慮

自然現象である地震とそれにより生起する地震動に不確かさがあり、地震動の評価過程において工学的な配慮がなされるべきである。このため、その不確かさについては、震源断層の形状（傾斜角）、アスペリティの位置、アスペリティの応力降下量[*3]（短周期レベル）、破壊開始点等の不確かさを偶然的不確実さと認識論的不確実さに分類し、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど、

---

*2　文部科学省に設置されている、地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進を目的とする政府の特別の機関。

*3　断層が破壊すると，そこに蓄えられていたエネルギーが解放されるため，岩盤中の応力が降下する。応力降下量とは，断層破壊（地震）の直前の応力と直後の応力の差をいう。

適切な手法を用いて考慮する。（地震動審査ガイドＩ３．３．３(2)）。

（３）　震源から敷地直下までの地震波の伝播過程の評価

断層モデルを用いた手法では、震源から解放基盤上面までの伝播特性を評価することが必要である。伝播特性を評価するに当たっては、量子物理学、電気磁気学等の波動を扱う自然科学分野においてグリーン関数*4が広く用いられている。地震動も波動であることから、地震本部や中央防災会議においても、伝播過程を評価する際にグリーン関数を採用している。強震動予測においては、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法が広く用いられている。

経験的グリーン関数法では、伝播過程を評価するため想定する断層の震源域で発生した中小地震の敷地における観測波形を要素波（グリーン関数）として、重ね合わせている。

統計的グリーン関数法では、伝播過程を評価するため、地震波が伝播していく媒介（媒質）におけるエネルギーの減衰特性を示す「Ｑ値（Quality factor）」や速度構造を適切に設定することとなる。

（４）　断層モデルを用いた手法による基準地震動

検討用地震ごとに、各種の不確かさを考慮して評価した応答スペクトルを比較し、施設に与える影響の観点から、地震動特性（周波数特性、継続時間等）を考慮して、別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ複数の地震動評価結果から適切なものを基準地震動として策定する(地震動審査ガイドＩ５．２(2)）。

---

*4　グリーン関数とは、物理の分野において、震源に単位の力が作用したときの観測点での応答であり、地下構造の影響がすべて含まれている。グリーン関数が事前に求められていれば、震源に作用する力さえわかれば、グリーン関数を重ね合わせて観測点での応答が計算できる。

3　断層モデルを用いた手法による地震動評価の特徴

（１）　経緯と概略

地震動評価手法について、従来は応答スペクトルに基づく評価が中心であったが、原子力安全委員会における平成１８年の耐震設計審査指針改訂に係る調査審議において、近年技術的進歩が著しい強震動予測手法としての「断層モデル」を用いた手法が、並列的に採用された。

「応答スペクトルに基づく地震動」は、多くの地震観測データに基づいて策定され、数少ないパラメータで評価する一方、「断層モデルを用いた手法による地震動」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して評価する。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である。こういった点から、改訂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した。

（２）断層モデルを用いた手法による地震動評価手法の検証

上記２（１）で述べたように、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータについては、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（レシピ）等の最新の研究成果を考慮し設定することとしている。

レシピは、地震本部地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方について、「震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な

方法論」を確立すること」を目指してとりまとめられたものである（レシピ付録３－１ページ）。

地震本部地震調査委員会では、レシピ策定以降に実際に発生した平成１２年鳥取県西部地震及び平成１７年福岡県西方沖地震等の観測波形と、これらの地震の震源像を基にレシピを用いて行ったシミュレーション解析により得られる理論波形を比較検討した結果、整合的であったことが確認されている（レシピ付録３－１ページ、地震調査委員会強震動評価部会による検証結果）。

これによって、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の合理性が裏付けられている。

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-5　震源を特定せず策定する地震動は、具体的にどのようなものなのか。

１　基準地震動の策定に当たっての考慮

基準地震動は「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について策定することを求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５一）

「震源を特定して策定する地震動」の震源としての活断層について評価を行うに当たっては、敷地からの距離に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査及び地球物理学的調査を適切に組み合わせて十分な調査が実施されていることを確認することとしている。これは、震源が敷地に近いほど、影響が大きくなる可能性が大きいことによる。

より敷地に与える影響が大きい敷地近傍においては、精度の高い詳細な調査を実施した上で、それでもなお、敷地近傍の断層への考慮に万全を期すとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」によって相補的に考慮されている。

２　震源を特定せず策定する地震動を設定することを要求事項に組み込んだ経緯

（１）昭和５６年耐震設計審査指針

「基準地震動S_2には直下地震によるものもこれに含む」と規定されており、その直下地震の規模（M＝６．５）が規定されていた。その背景には、以下のような事情があった。

①　M＝６．５以下の地震は、活断層等の地震による特有の地形が地表で認められない場合が多い。

②　もし仮に敷地近傍で、ある程度の規模の地震があったとしても安全性が

保てるよう、念のためM＝６．５の（仮想）地震を設定（工学的判断）。

（２）改訂耐震設計審査指針

平成１８年の改訂耐震設計審査指針においては、以下の点が踏まえられ、「直下地震」の規定が、「震源を特定せず策定する地震動」に置き換えられた。

① 活断層の評価技術の発展による詳細な活断層評価を前提とし、その詳細な調査によっても震源を事前に特定できないと判断した地震により観測された硬質岩盤上の観測記録が蓄積された。

② 地震規模ではなく地震動を規定することや、地震動強さの設定に際し、観測記録の選定の考え方を規定することにより、要求事項のより一層の明確化を図る。

③ 申請時点における最新の知見に照らし個別に確認するべきとし、最新知見の適切な取り入れを予め要求している。

「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に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の地震の全てを事前に評価しう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関わらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動との位置づけで規定したものである。

（３）新規制基準

新規制基準においては、上記の改訂耐震設計審査指針で規定されていた考え方を踏襲し、策定方針を明確化した。具体的には、

①解放基盤表面までの地震波の伝播特性を必要に応じて応答スペクトルの設定に反映するとともに、設定された応答スペクトルに対して、地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮すること

②「震源を特定せず策定する地震動」として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。その際には、地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価等、各種の不確かさを考慮した評価を参考とすること

といった方針により策定することを要求している（設置許可基準規則の解釈別記２の５三）。

3　「震源を特定せず策定する地震動」の策定方法

「震源を特定せず策定する地震動」は、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される（地震動審査ガイドⅠ．４．１（１））。

この収集した観測記録から、検討対象地震として、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」*1を適切に選定するほか、必要に応じて「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」*2についても選定する。地震動審査ガイドにおいては、これらの地震と考えられるものを例示している。これは、平成７年兵庫県南部地震以降、地震・地震動観測やネットワーク技術が進歩し、国内の観測点が大幅に増加しており、震源近傍の地震動や観測点周辺の地盤等の状況・性状も分かりつつある状況を踏まえ、震源近傍で強震動の記録がとれていて、規模が大きい検討対象となる、又はなることが想定される内陸地殻内の地震をリストアップしている。

---

*1　断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震をいう（地震動審査ガイドⅠ．４．２．１〔解説〕（１））。

*2　震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する（地震動審査ガイドⅠ．４．２．１〔解説〕（２））。

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

これらの地震の観測記録は、防災科学技術研究所が全国に設置するＫ－ＮＥＴ及びＫｉＫ－ｎｅｔをはじめとして各種機関が設置する強震計により観測されたものであるが、そのデータは地上で取られたもの、地中で取られたものが混在している。そこで、当該地震動を観測した強震計の位置（観測サイト）における地盤の増幅特性について、解放基盤面相当深さまでの速度構造をボーリング調査等によって把握して、観測サイトにおける解放基盤面において当該地震動（解放基盤波）を評価することが必要である。

そのようにして算定された解放基盤波を原子力発電所の解放基盤面での地盤物性を必要に応じて考慮し、応答スペクトルが設定される。

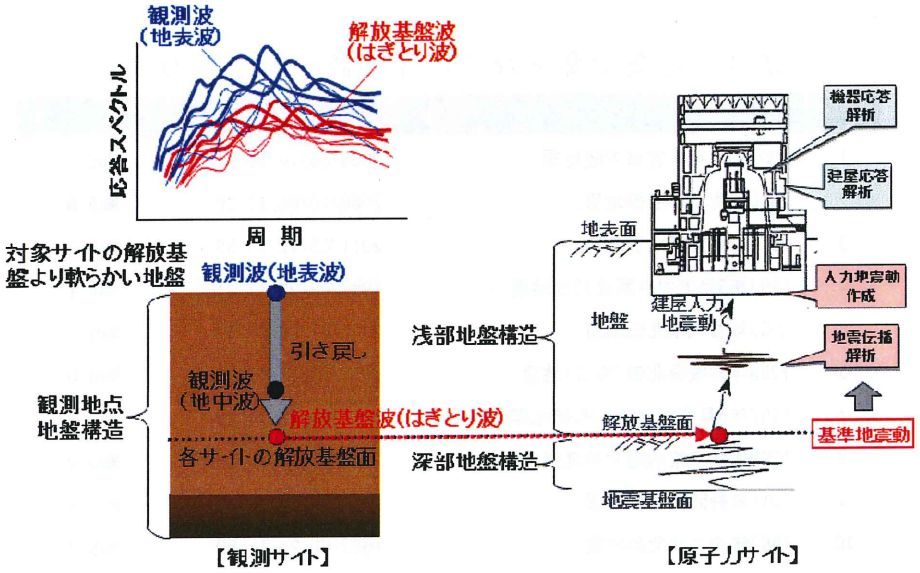


図１　震源を特定せず策定する地震動　概念図

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-6　耐震設計とは何か。

１　はじめに

地震とは、地下の岩盤が周囲からの外力によってある面を境としてずれる現象のことをいう。この岩盤のずれが起きると地震波が周囲に伝わり、やがて地面に達すると地面が「揺れ」る。この地震によって発生する地面の揺れを地震動といい、主として水平方向に揺れる「水平動」と鉛直方向に揺れる「鉛直（上下）動」に分けることができる。

構築物に水平動が加わると、柱、壁等に対して横から地震力が加わることによって、また、鉛直動が加わると、屋根、床等に対して鉛直方向に地震力が加わることによって、それぞれ各部材に応力が生じる（図１）。

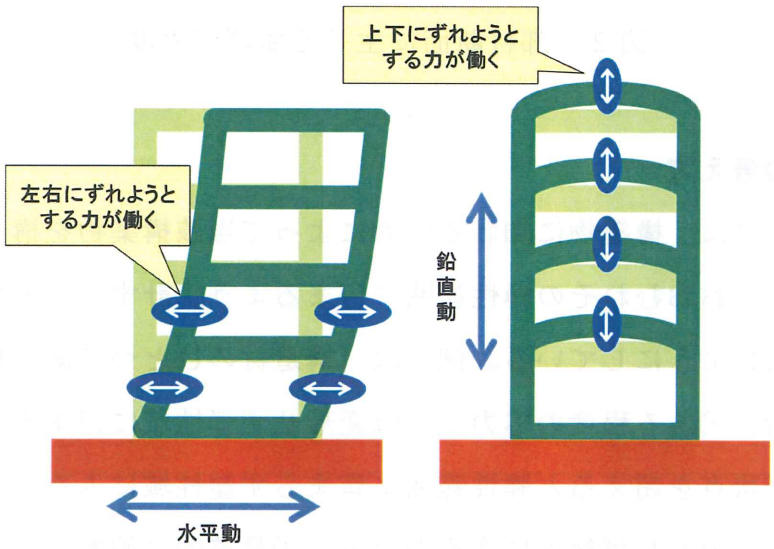


図１　地震動と曲げ応力のイメージ

すなわち、地震動により柱等の部材に力が加わると、当該部材内面には、元の形状や寸法を保とうとする抵抗力が生じる。このような抵抗力のことを、「応力」といい、特に、当該部材を曲げた際に生じる応力を、「曲げ応力」という。例えば、下記図２に示すように孔の空いたスポンジを上から押し曲げてみると、上部では孔がつぶれ、下部では孔が広がることが分かる。このとき、部材（スポンジ）断面の中立面を境に、上部に圧縮応力、下部に引張応力が生じる。これらは、中立面から離れるほどに応力は大きくなり、上端、下端での応力が最大になる。

耐震設計とは、地震力が加わることによって部材に生じる応力が許容値を超えないように設計することである。

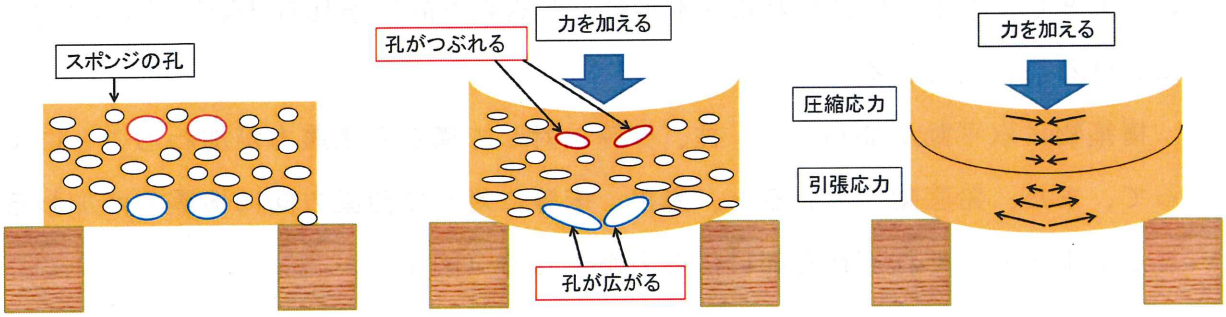


図２　部材断面に生じる曲げ応力度

２　耐震設計の考え方

より具体的には、構築物に加わる応力によって当該構築物を構成する構造材に生じる変形が、おおむねその弾性範囲に留まるよう設計することで、当該構築物を損傷させないようにしている。例えば、構造材のひとつである鉄筋を両側から引っ張った時、①ある程度の応力までは変形せず弾性域に留まるが、②さらに応力がかかり降伏点を超えると弾性範囲に留まらず塑性域に入る。そして、③さらに大きい応力が加われば徐々に変形が進み、④最終的に破断する（以上①から④について図３）。建物・構築物は、地震時にも機器・配管を支える役割（支持機能）を担っており、弾性設計に用いる地震力に対し鉄筋又は鉄骨が①の弾性範囲

に留まるように設計することで、より大きい地震力に対しても構築物に求められる支持機能が維持される。

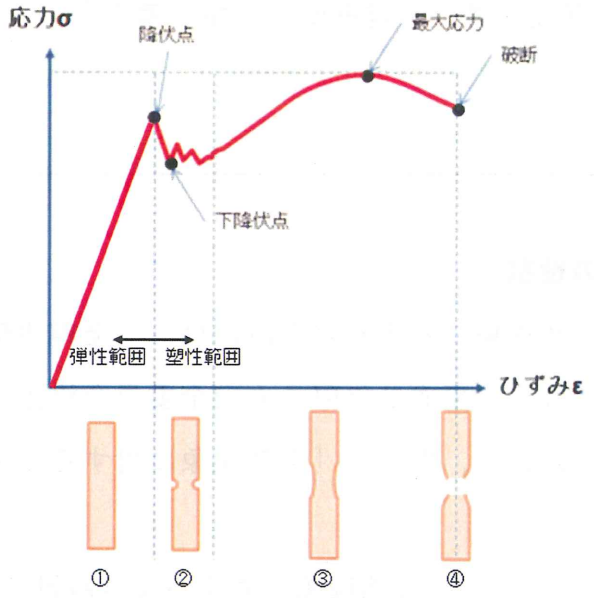


図３　部材加わる力と変形の関係

原子力発電所においては、放射性物質を内包しているリスクを踏まえ、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から耐震重要度を分類し、耐震重要度の高い施設に対してより大きい地震力を設定した耐震設計を求めている。

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-7　新規制基準の策定の際、耐震重要度分類の考え方のうち、見直したところはどこか。

１　耐震重要度分類の役割

原子力発電所の自然現象に対する安全設計は、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（平成２年原子力安全委員会決定。以下「安全設計審査指針」という。）において、指針２「自然現象に対する設計上の考慮」に定められていた。

そして、我が国においては、自然現象に対する安全設計のうち地震については、安全設計審査指針の指針２において他の自然現象とは別に規定されており、従前から、別途、耐震設計審査指針が定められ、特段の考慮がなされてきた。

耐震設計の基本的な考え方は、平成１８年の耐震設計審査指針改訂以降も継承されており、新規制基準においては、施設が有する安全機能の重要度に応じて適切な地震力を定め、その地震力に対し十分耐えるよう設計すること、また、「止める」「冷やす」「閉じ込める」に必須となる最も重要度の高いＳクラスに相当する耐震重要施設については、基準地震動による地震力に対し安全機能を保持することであり、より重要度の高い施設について、より大きい地震力を設定して、弾性設計又は機能維持設計をすることを求めている。

２　耐震重要度分類の見直しについて

耐震重要度は、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえた新規制基準の検討において、想定すべき基準地震動そのものをより安全側に策定されるよう規制要求を見直すとともに、津波対策に係る規制要求も強化された。これらの津波対

策に係る施設・設備については、後述の理由から耐震安全性の観点からＳクラスとして位置付けることとした。

３　津波対策に係る施設・設備の耐震重要度

基準津波による津波を敷地に遡上又は流入させないドライサイトを基本としており、これを達成させるためには、発電所ごとの立地条件にもよるが、例えば防潮堤といった津波防護施設等の設置が考えられる。これらの施設の機能が地震により損なわれた場合、地震に随伴して発生する津波が襲来し、又は、その状態が長期間継続している間に津波が襲来し重要な安全機能に影響を与える可能性がある。したがって、これらの津波防護施設等の耐震重要度をＳクラスとすることで、地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止することとした。（設置許可基準規則の解釈別記２の２一）。

①津波防護機能を有する設備（津波防護施設）、浸水防止機能を有する設備（浸水防止設備）

②敷地における津波監視機能を有する施設（津波監視設備）

目次に戻る

§５　５－２　地震

5-2-8　基準地震動を超える地震が発生すると、即座に耐震重要施設の安全機能が喪失してしまうのか。

１　耐震設計の概略

原子力発電所における基本的な耐震設計の概略の流れを図１に示す。まず、解放基盤位置での基準地震動を策定し、それを用いて地盤伝播解析を行い、建屋・地盤系モデルへの入力地震動を決定する。この入力地震動を用いて発電所の建屋・地盤系全体の応答解析を行う。さらに、建屋の各床での応答を用いて機器・配管系の応答解析を行う。それぞれの段階で、独立して保守性を保つように評価・設計がなされていることを確認することになる。

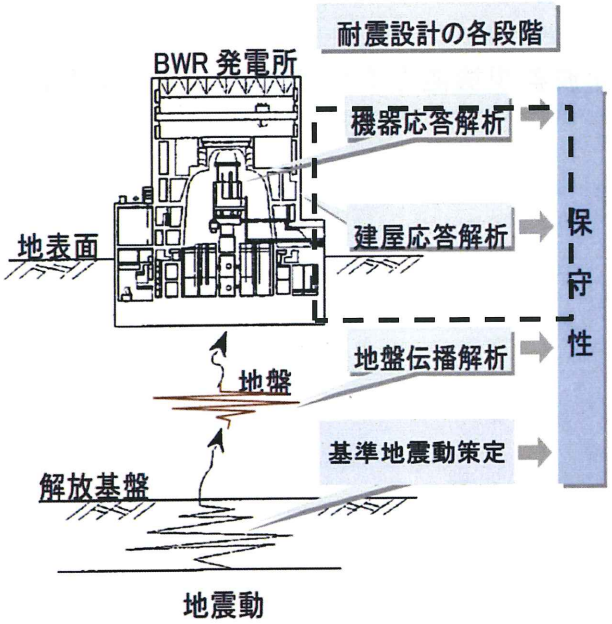


図１　原子力発電所における基本的な耐震設計の流れ

（出典：日本機械学会，中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所への影響評価研究分科会活動報告書に一部加筆）

2　耐震設計の具体例

このうち、例として建物・構築物の耐震設計上の安全余裕について詳述する。

設置許可基準規則４条３項では、「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」とされ、「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、基準地震動に対する設計基準対象施設の設計に当たって、「建築・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組み合わせに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることを求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の６一）。

具体的な耐震設計上の安全余裕について、コンクリート製格納容器を例にして述べる。安全余裕については、まず、前述の基本設計方針として求められる規制上のもの（下記①）のほか、主なものとして下記の②③がある（図２参照）。

①規制上の安全余裕（図２の①）

規制に用いる許容値を設計段階の限界値（終局耐力）に対して十分余裕を持たせて規定。

②設計上の安全余裕（図２の②）

設計時に基準地震動による建屋の変形が許容値を十分満足するよう余裕を持たせる。

③施工上確保される安全余裕（図２の③）

コンクリートの強度などの設計強度を十分満足するようなさらに大きな強度で施行管理。

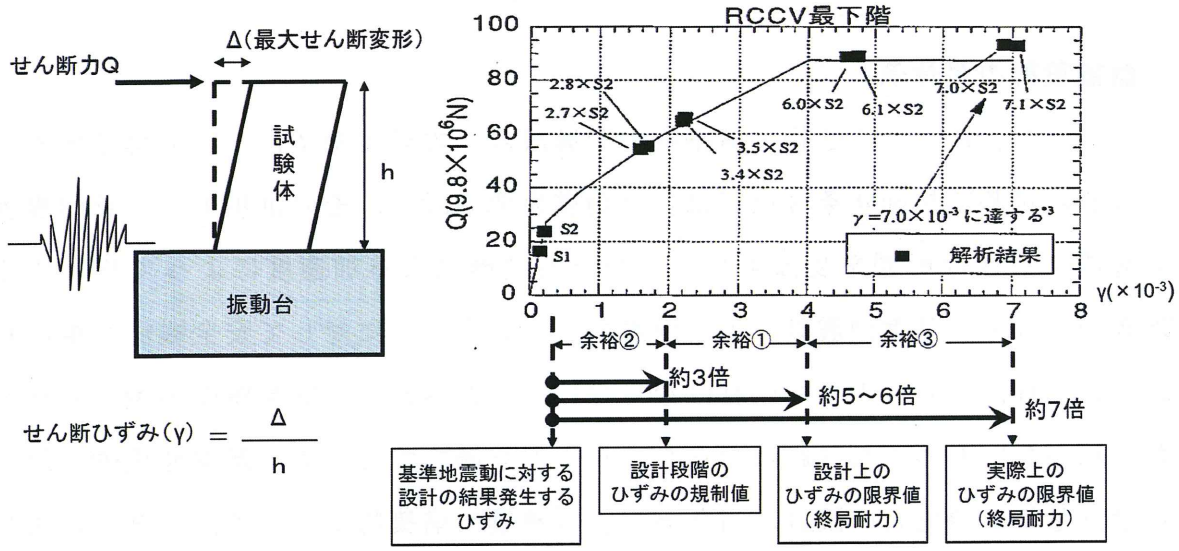


図２　多度津大型振動台のコンクリート製格納容器（RCCV）の試験体の耐震限界試験の例

３　評価

耐震重要施設に基準地震動による地震力よりも大きな地震力が荷重として加わったとしても、終局耐力よりも相応の余裕をもって設計や規制が行われ、また、設計上や規制上の終局耐力を超えたとしても実際の終局耐力に収まっていれば、基準地震動を超過しても、即座に耐震重要施設が損傷するということにはならない。その結果、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」という基本的安全機能が維持されるものとして評価される。

目次に戻る

§５　５－３　津波

5-3-1　設置許可基準規則における津波対策に係る規制上の要求事項は何か。

１　津波対策の規制の経緯

（１）平成１８年耐震設計審査指針改訂時

昭和５３年に策定された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「耐震設計審査指針*1」という。）においては、地震随伴事象について明確に規定していなかったが、実際の安全審査においては、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（平成２年８月３０日　原子力安全委員会決定）に基づき津波に対する安全性について評価されてきた。

平成１８年の耐震設計審査指針改訂の検討に際しては、発電用原子炉施設の基本設計ないし基本的設計方針の妥当性に係わる安全審査において、設置許可申請対象となる固有の原子炉施設の耐震設計についての妥当性を審査すべき事項として、適切かつ不可欠であるかどうかという視点、及び現行の他の関連する指針類で対応し切れているかどうかの視点から議論を行い、最終的には、耐震設計審査指針に地震随伴事象の一つとしての津波が考慮されるべき事項として追加（以下「改訂耐震設計審査指針」という。）された。

（２）平成２３年東北地方太平洋沖地震後の変遷

平成２３年３月に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに付随して発生した津波に関する検証を通じて得られた教訓等を踏まえて、設置許可基準規則５条及び同規則の解釈別記３が制定された。

---

*1　昭和５３年に策定されたが、その後、建築基準法の改正（昭和５５年）を反映した昭和５６年の改訂指針を「耐震設計審査指針」という場合もある。

2　津波対策に係る設置許可基準規則の内容

（１）設置許可基準規則における事故防止対策

設置許可基準規則は、発電用原子炉施設が、津波に対する安全性を確保し得るものであるためには、事故防止対策として、「設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波(以下「基準津波」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを求めている（同規則５条）。

同条は、発電用原子炉施設の供用中に、発電用原子炉施設に大きな影響を与えるおそれがあると考えられる津波を適切に策定し、この津波を前提とした耐津波設計を行うことにより、設計基準対象施設の安全機能の喪失を防止し、周辺の公衆に対し、津波に起因する著しい放射線被ばくの危険を与えないようにするとの基本的考え方に基づくものである。

ア　耐津波設計に用いられる基準津波の策定の妥当性

基準津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定することが適切なものとし、不確かさを考慮して数値解析を実施し、策定することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の１）。

具体的には、主に以下の要素を考慮するとともに、数値解析を実施し、基準津波を策定する。

１）津波の発生要因

津波の発生要因としては、地震のほか、地すべり、斜面崩壊その他の地震以外の要因、及びこれらの組合せによるものを複数選定することが求められている（設置許可基準規則の解釈別記３の１）。

２）津波波源

津波波源としては、プレート形状、すべり欠損分布[*2]、断層形状、地形・地質及び火山の位置等から考えられる適切な規模のものを考慮し、当該考慮ないし遠地津波の考慮に当たっては、国内のみならず世界での事例を踏まえ、津波の発生機構及びテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で検討することが求められている（設置許可基準規則の解釈別記３の２二）。

３）基準津波の策定の過程における不確かさの考慮

耐津波設計上の十分な裕度を含めるため、基準津波の策定の過程に伴う不確かさの考慮に当たっては、断層の位置、すべり量、破壊開始点等基準津波の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる波源特性の不確かさの要因及びその大きさの程度並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさを十分踏まえた上で、適切な手法を用いることが求められている（設置許可基準規則の解釈別記３の２六）。

イ　耐津波設計方針の妥当性

基準津波に対して「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」とした設置許可基準規則５条に関し、同規則の解釈別記３では、設計基準対象施設は、以下の設計方針によることとされている。

１）遡上波に対する防護措置

設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類上、Ｓクラスに属する施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の設置された敷地においては、基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させず、かつ、取水路及び排水路等の経路から流入させないことが求められる。これらを確保するための方針として、例えば、Ｓクラスに属する設備（浸水防止設備及び津波監視設備を除く。以下１）ないし３）において同じ。）を内包する建屋及び屋外に設置されるＳクラスに属する設備については、基

---

*2　プレート境界面の摩擦の存在により、潜り込む海側のプレートの進行に伴い、陸側のプレートがひきずられる度合いを推定した分布をいう。

準津波による遡上波が到達しない十分高い場所への設置、又は防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の３一）。

２）取水・放水施設等からの漏水による浸水に対する防護措置

設計基準対象施設について、取水・放水施設等からの漏水の可能性とそれによる浸水範囲を想定し、浸水対策を施すことによる浸水範囲の限定化が求められ、長時間の冠水が想定される場合には、それに対する備えとして排水設備の設置が求められる。浸水想定範囲の周辺にＳクラスに属する設備がある場合には、防水区画化するとともに、必要に応じて浸水量評価を実施し、安全機能への影響がないことを確認することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の３二）。

３）津波による溢水に起因する浸水に対する防護措置

上記１）及び２）のほか、Ｓクラスに属する施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）について、浸水防護をすることにより、津波による影響等から隔離することを求めている。具体的には、Ｓクラスに属する設備を内包する建屋及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化するとともに、津波による溢水を考慮した浸水範囲及び浸水量を保守的に想定した上で、同範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部及び貫通口等）を特定し、浸水対策を実施することを求めている（設置許可基準規則の解釈別記３の３三）。

４）水位変動による取水性低下の防止措置

基準津波による水位変動に伴う海水の取水性低下による炉心冷却機能等の重要な安全機能への影響を防止するために、非常用海水冷却系については、同変動による水位低下に対して海水ポンプが機能保持でき、かつ冷却に必要な海水が確保できる設計であることが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の３四）。

また、水位変動に伴う砂の移動・堆積及び漂流物に対して、取水口及び取水路の通水性が確保でき、かつ取水口からの砂の混入に対して海水ポンプが機能保持できる設計であることが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の３四）。

５）入力津波に対する津波防護機能等の保持

Ｓクラスに分類される設計基準対象施設のうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備については、これらの施設等の耐津波設計について、基準津波の波源からの数値計算により、同施設等の設置位置において算定される入力津波をそれぞれ設定し、この入力津波に対して津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能が十分に保持できるよう設計することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記３の３五）。

（２）設置許可基準規則における重大事故等対策

設置許可基準規則は、重大事故等対処施設について、前記（１）の方針に基づき策定された基準津波に対して、重大事故等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設計によるものでなければならないことを求めている（設置許可基準規則４０条）。

また、重大事故等対処等施設のうち、特定重大事故等対処施設[*3]の場合は、基準津波に対する設計基準上の許容限界は設計基準と同じものを適用するが、例えば、措置の多様性の観点から、水密性が保証された建屋又は高台に設置された建屋等に収納する等、設計基準における防護措置とは性質の異なる対策を講じること等により、基準津波を一定程度超える津波に対して頑健性を高めることを求めている（設置許可基準規則４０条の解釈）。

---

*3　重大事故等対処施設のうち、故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムにより炉心の著しい損傷が発生するおそれがある場合又は炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉格納容器の破損による工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を抑制するためのものをいう（設置許可基準規則２条２項１２号）。

目次に戻る

§５　５－３　津波

5-3-2　津波対策とはどのようなものか。

１　平成２３年東北地方太平洋沖地震以前の津波対策

原子力発電所では、原子炉で熱せられた蒸気を用いてタービンを回して発電している。タービンを回し終えた蒸気は、再度原子炉へ再循環させるために冷やして復水させている。冷やすためには大量の冷却媒体が必要であり、我が国の原子力発電所では、冷却媒体として海水を選択し、海岸沿いに設置されている。そのため、原子力発電所を設置する敷地に大きな影響を与えるおそれがある津波に対して、重要な安全機能が損なうことがないように対策を講じる必要がある。

平成２３年東北地方太平洋沖地震以前における安全審査では、改訂耐震設計審査指針に基づき、地震随伴事象として考慮すべき事象として、「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があると想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがない」よう講ずるべき対策を求めていた。

２　新規制基準（設置許可基準規則）における津波対策

平成２３年東北地方太平洋沖地震に伴って発生した津波が、東京電力株式会社福島第一原子力発電所に襲来したことに伴い、非常用ディーゼル発電機等の電気設備の多くが機能喪失したことによって、１～３号機においては冷却機能を失い、炉心溶融に至った。

平成２３年東北地方太平洋沖地震後に旧原子力安全委員会に設置された地震・津波関連指針等検討小委員会において、福島第一原子力発電所における事故等の教訓を踏まえ、改訂耐震設計指針等に反映させるべき事項について検討が行

われた。

検討に当たって、最新の科学的知見を基に設定したとしても、それを超える津波が襲来する可能性は否定できず、その場合のリスクを最小限にするために如何なる対策を講ずるべきかという視点で議論が進められた。

その結果、平成２４年３月１４日に改訂耐震設計審査指針に反映させるべき事項が以下のように取りまとめられた。

① 想定すべき津波を地震の随伴事象に限らず、世界の津波事例や津波の発生機構等から考えると、プレート境界で大きなすべりにより強い揺れと大きな津波を生成する地震や海溝近傍で発生し強い揺れを伴わないが大きな津波を生成する津波地震、海域の地殻内地震に加えて、火山の山体崩壊、地すべり等が大きな津波の発生要因になっていることから、国内及び世界の津波事例を踏まえ、その発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で検討を行うことを基本とした。

② また、津波に対する安全性評価としては、津波に対する防御施設の設置等により安全上重要な施設の設置位置（敷地高さ）に津波を浸入させないことを基本とすることとした。

③ しかし、最新の知見に基づいた科学的合理性を持って策定された基準津波であっても、それを超えた津波が原子力発電所に来襲する可能性は否定できないことを踏まえ、遡上してしまったとしても、重要な安全機能を有する施設の機能が維持されるよう浸水防止対策を講ずることを求めることとした（発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針及び関連の指針類に反映させるべき事項について（とりまとめ）４ないし６ページ）。

新規制基準策定に当たって、津波対策については、これらの考え方を参考に検討が進められた。

この結果、設置許可基準規則では、多層的な津波対策を講じることを求め、基準津波による津波を敷地に遡上又は流入させないドライサイトを基本としつつ、

設計を超える事象（津波が防潮堤を越え敷地に流入する事象等）に対しても一定の耐性を付与するよう求めている。

具体的には、以下に示すような対策を求めている。

①外郭防護１

新規制基準において基準津波は、Ｓクラスに属する施設の設置された敷地に遡上波が地上部から到達又は流入させない、取水炉及び排水路等の経路から流入させない、取水路又は放水路等の経路から津波が流入する可能性が考えられる場合には、浸水防止対策を講ずる。

②外郭防護２

取水・放水施設及び地下部等において、漏水の可能性がある場合、漏水が継続することによる浸水範囲を限定して浸水対策を講ずる、浸水想定範囲の周辺にＳクラスに属する設備がある場合は、防水区画化するとともに、必要に応じて浸水量評価を実施し、安全機能への影響を評価し、浸水想定範囲における長期間の冠水が想定される場合は排水設備を設置する。

③内郭防護

更にＳクラスに属する設備を内包する建物及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化し、当該範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口を特定し、それらに対して浸水対策を講ずる。

目次に戻る

§５　５－３　津波

5-3-3　基準津波とは何か。

１　津波対策の必要性

事故防止対策に係る規制として、安全確保の見地から、自然現象又は外部からの人為事象といった外部事象と、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故とを区別し、外部事象に対する設計上の考慮の妥当性は、それ自体が事故の誘因とならないよう、発電用原子炉施設の基本設計ないし基本的設計方針に係る事項として審査される仕組みとされている。

我が国は、プレート境界に極めて近い位置に存し（図１、２）、地震の発生確率が大きいことを踏まえ、外部事象の中でも津波は、地震の発生に伴って発生する発電用原子炉施設やその機器等へ影響を与えることが想定される事象として、考慮が必要であると従来から考えられてきた。

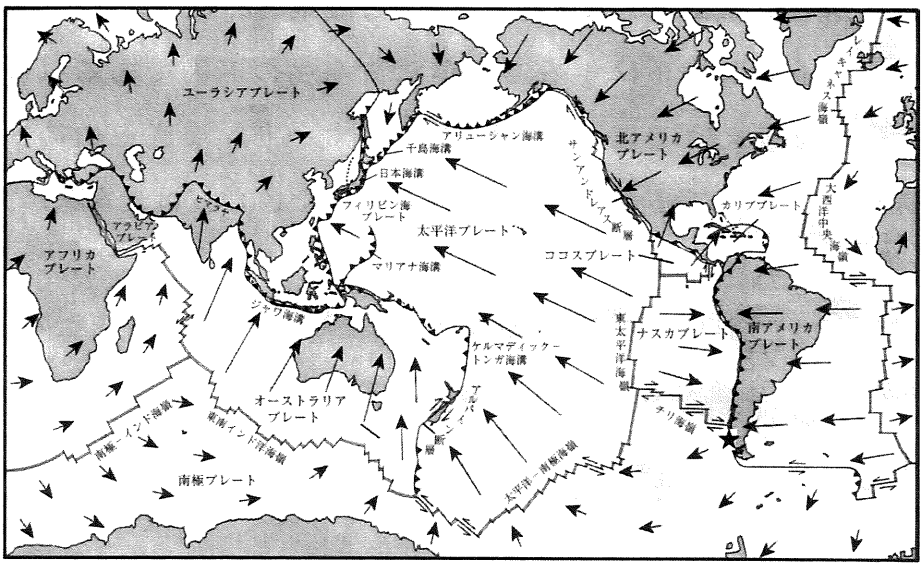


図１　世界のプレート境界

（出典：西村裕二郎編著（2010）『基礎地球科学 第２版』朝倉書店）

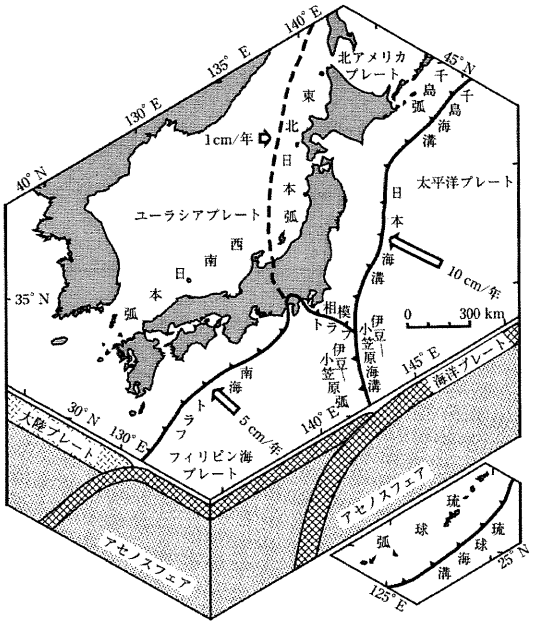


図２　日本列島を取り囲むプレート

（出典：西村裕二郎編著（2010）『基礎地球科学 第２版』朝倉書店）

２　津波の発生メカニズムと特徴

海底地形の上下変動が生じると、その上にある海水も上下することにより当該地点から海水が流れていく、又は当該地点に海水が流れてくることにより海面が上昇又は下降することが津波発生の原因である（図３）。海底地形に変動を与えうる陸上及び海底の地すべり、海底火山の噴火、海底の崖の崩壊等によっても津波は発生する。また、津波は、水深が深いほど速く進み、陸地に近づき水深が浅くなるほど速度が遅くなる一方で、波高が沖合よりも高くなるという性質を有している。その結果、水深の深いところでは目視で認識できなかった海面の上昇が、海岸線近くでははっきりと認識される（図４）。

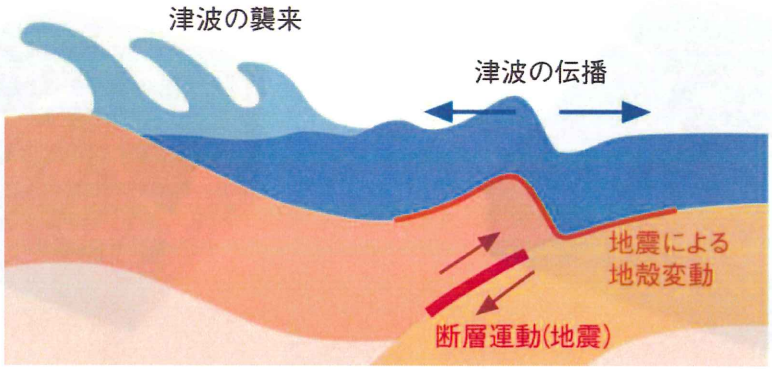


図３　津波の発生メカニズム（出典:気象庁ホームページ）

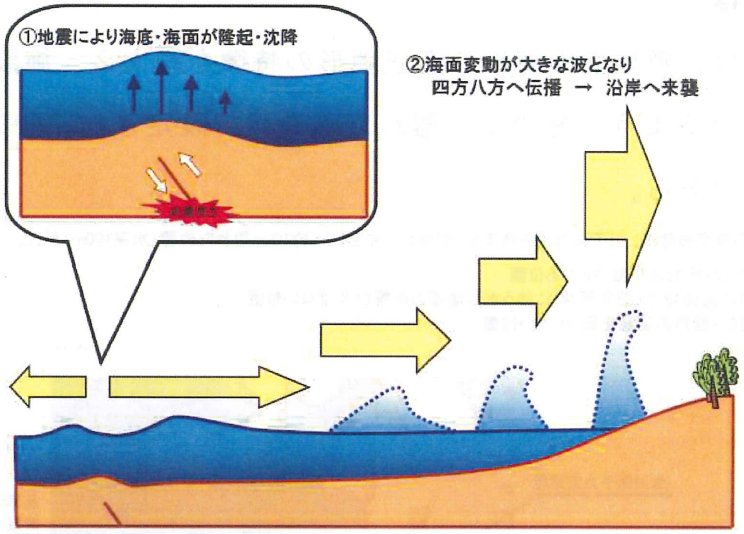


図４　津波の特徴（出典:気象庁ホームページ）

そのほか、津波の高さは、海岸付近の地形によっても大きく変化する。図５に示す岬の突端とその周辺地域においては、岬付近の水深の変化によって津波が屈折し、岬付近の海岸に集中することによる。また、図６に示すＶ字型の湾では湾奥ほど波が集中し、海面の上昇が大きくなる。古くから三陸地方のリアス式海岸が大規模な津波に襲われてきたのはこのためである。

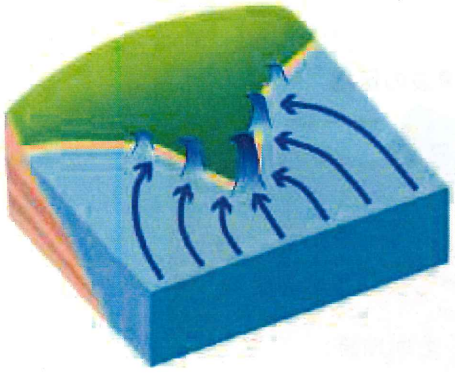


図５　岬の先端に津波が集まる様子

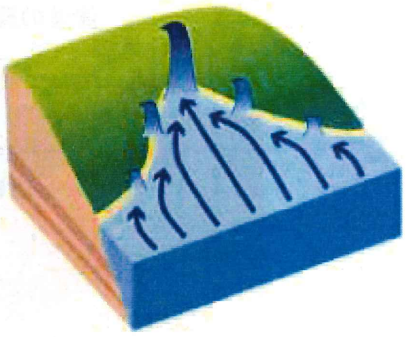


図６　Ｖ字型の湾の奥に津波が集まる様子

（出典:図５，６はともに気象庁「地震を知る」）

３　基準津波とは

基準津波とは、敷地前面海域の海底地形の特徴を踏まえ、施設からの反射波の影響が微小となるよう、施設から離れた沿岸域で設定され、時刻歴波形[*1]として示されたものである。

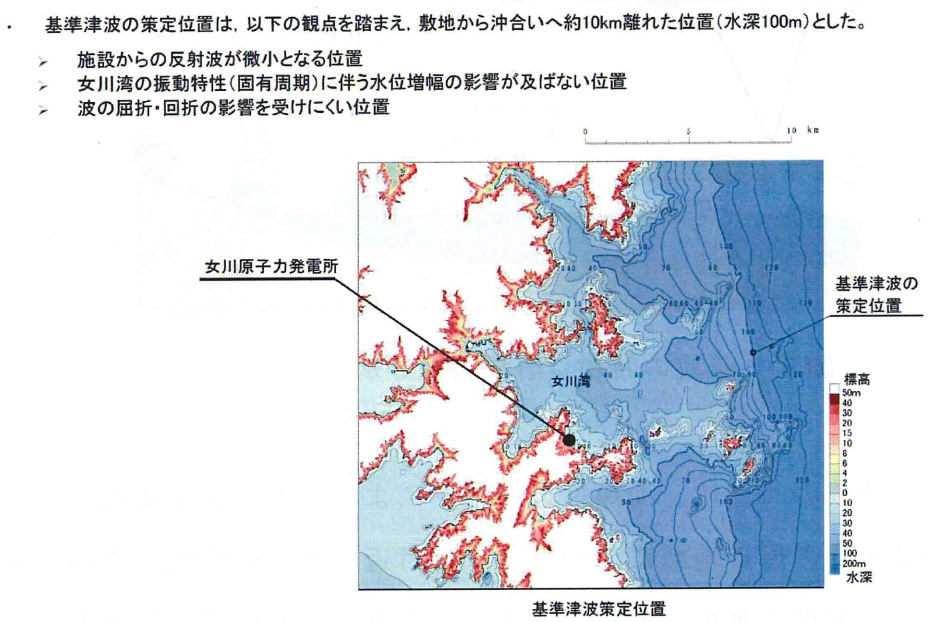


図７　基準津波の策定位置（例）

（出典:第 185 回審査会合資料（東北電力）（H27.1.23））

一方、基準津波による津波の敷地への遡上の有無など耐津波設計に必要な津波

---

*1　基準津波の定義地点における津波の高さを時間の経過とともに表したもの。

高さは「入力津波」として設定する。入力津波は、基準津波を決めた波源からの数値計算により、各原子力施設・設備の設置位置までの局所的な水位上昇・下降を考慮して、時刻歴波形として示されたものである。入力津波は、基準津波に比べ、敷地沿岸の海底地形等の影響により一般的に高くなる。

評価項目	敷地前面（防潮堤前面）	取水口前面			放水口前面	
		1号	2号	3号	1号	2･3号
水位上昇側	○	○	○	○	○	○
水位下降側	－	○	○	○	－	－

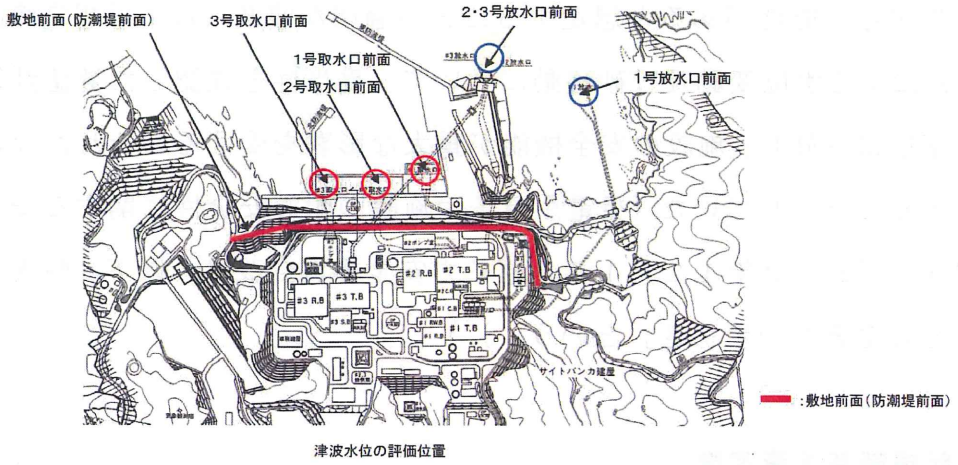


図８　入力津波の評価位置（例）

（出典：第 185 回審査会合資料（東北電力）（H27.1.23））

目次に戻る

§５　５－３　津波

5-3-4　新規制基準策定前後で津波対策を見直したのか。

１　津波対策を講ずる基準となる津波の想定

（１）新規制基準策定前

地震随伴事象として、設計基準対象施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があると想定することが適切な津波（以下「想定津波」という。）による水位変動及び砂移動について、妥当性を確認した数値計算等を用いて適切に評価し、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことを確認することとしていた（発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き（平成２２年１２月１６日原子力安全委員会改訂。以下「耐震安全性に関する安全審査の手引き」という。））。

（２）新規制基準策定後

世界の津波事例や津波の発生機構等から考えると、プレート境界で大きなすべりにより強い揺れと大きな津波を生成する地震や海溝近傍で発生し強い揺れを伴わないが大きな津波を生成する津波地震、海域の地殻内地震に加えて、火山の山体崩壊、地すべり等が大きな津波の発生要因となっていることから、津波を発生させる要因として、

・プレート間地震[*1]

・海洋プレート内地震[*2]

---

*1　相接する２つのプレートの境界面で発生する地震をいう（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。

*2　沈み込む（沈み込んだ）海洋プレート内部で発生する地震をいい、海溝軸付近又はそのやや沖

・海域の活断層による地殻内地震[*3]

・陸上及び海底での地すべり及び斜面崩壊

・火山現象（噴火、山体崩壊又はカルデラ陥没等）

を考慮するものとし、敷地に大きな影響を与えると予想される要因を複数選定することとした。また、津波発生要因に係る敷地の地学的背景及び津波発生要因の関連性を踏まえ、プレート間地震及びその他の地震、又は地震及び地すべり若しくは斜面崩壊等の組合せについて考慮するものとした。これらの波源を基に津波対策上の十分な裕度を含めるため、基準津波の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる波源特性の不確かさの要因（断層の位置、長さ、幅、走向、傾斜角、すべり量、すべり角、すべり分布、破壊開始点及び破壊伝播速度等）及びその大きさの程度並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさを十分踏まえた上で、適切な手法を用いて基準津波を策定し、設計基準対象施設を基準津波によって安全機能が損なわれるおそれがないように対策を講ずることを要求している。

2　新規制基準（設置許可基準規則）における津波対策

（1）新規制基準策定前

改訂耐震設計審査指針及び耐震安全性に関する安全審査の手引きでは、「敷地に大きな影響を与える」とは、津波の到来に伴い、Sクラス施設の設置地盤に遡上するか否か、また、引き波により取水口において取水性能の低下に伴い、冷却機能に影響を与えるか否かである。

（2）新規制基準策定後

基準津波による津波を敷地に遡上又は流入させないドライサイトを基本と

合で発生する「沈み込む海洋プレート内の地震」又は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（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。

*3　陸のプレートで発生する地震のうち、海岸のやや沖合で発生する地震をいう。

しつつ、設計を超える事象（津波が防潮堤を越え敷地に流入する事象等）に対しても一定の耐性を付与するよう配慮した設計基準（設置許可基準規則５条）としている。具体的には、設計基準対象施設を基準津波によって「安全機能が損なわれるおそれがない」ものとするため、以下のような多層的な防護対策を講じさせることとしている。

①外郭防護（遡上波防護）（設置許可基準規則の解釈別記３の３一）

耐震重要施設[*4]（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の設置された敷地への津波の到達又は流入を防止することを基本方針とし、大量の海水の流入をもたらす遡上波に対する防護措置として、耐震重要施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の設置された敷地において、基準津波による遡上波の地上部からの到達又は流入を防止するため、当該施設は、当該遡上波が到達しない十分高い場所に設置し、当該遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置することを求めている。また、取水路及び放水路等は、海水と接している場合には、水位上昇時に逆流が生じ得るという構造上の特徴を有するため、津波がこれらの経路から敷地内に流入することも考えられる。そこで、津波が流入する可能性のある経路（扉、開口部及び貫通部等）を特定して浸水対策を施すことにより、同経路からの津波の流入を防止することも求めている。

②外郭防護（漏水防護）（設置許可基準規則の解釈別記３の３二）

取水・放水施設及び地下部等からの漏水による浸水に対する防護措置として、漏水による浸水範囲を限定し、浸水想定範囲の周辺に耐震重要設備がある場合は、防水区画化し、必要に応じて浸水量評価を実施して安全機能への

---

*4　設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいものをいう（設置許可基準規則３条）。後述する耐震重要度分類の最上位クラスであるＳクラスと同義。

影響がないことを確認するとともに、長時間の冠水が想定される場合は、排水設備を設置するなどして、重要な安全機能への影響を防止することを求めている。これは、取水・放水設備及び地下部等においては、外郭防護（遡上波防護）の浸水対策を施してもなお、漏水が生じる可能性を完全に排斥することはできないからである。

③内郭防護（設置許可基準規則別記３の３三）

Ｓクラスに属する設備を内包する建屋及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化するとともに、津波による溢水を考慮した浸水範囲及び浸水量を保守的に想定した上で、当該範囲に浸水する可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部及び貫通口等）を特定し、浸水対策を施すことが求められている。これは、地震・津波による配管及び敷地内のタンク等の損傷に伴う溢水等、地震・津波による相乗的影響に対し、外郭防護（遡上波及び漏水防護）に加えて、重要な安全機能を有する設備等が内包される建屋及び区画を重点的に防護すること（内郭防護）により、重要な安全機能への影響防止を確実なものとするためである。

④津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備（設置許可基準規則の解釈別記３の３五）

同施設等の耐津波設計を行うため、基準津波の波源からの数値計算により、津波の伝播特性及び浸水経路等を考慮してそれぞれの施設等において算定された入力津波に対して同施設等の機能が保持できるように設計されることを求めている。

目次に戻る

§５　５－３　津波

5-3-5　基準津波を超えると、即座に安全機能は喪失してしまうのか。

１　そもそも基準津波はどのように策定されるのか

基準津波を策定するに当たっては、まず、津波を発生させる要因として、プレート間地震、海洋プレート内地震、海域の活断層による地殻内地震、陸上及び海底での地すべり及び斜面崩壊並びに火山現象（噴火、山体崩壊又はカルデラ陥没等）を考慮するものとし、敷地に大きな影響を与えると予想される津波を複数選定する。

次に、津波発生要因に係る敷地の地学的背景及び津波発生要因の関連性を踏まえ、プレート間地震及びその他の地震、又は地震及び地すべり若しくは斜面崩壊等の組合せについて考慮するとしている。これらの波源を基に津波対策上の十分な裕度を含めるため、基準津波の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる波源特性の不確かさの要因（断層の位置、長さ、幅、走向、傾斜角、すべり量、すべり角、すべり分布、破壊開始点及び破壊伝播速度等）及びその大きさの程度並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさを十分踏まえた上で、敷地に最も高い上昇水位及び低い下降水位を与える津波水位波形を選定する。

そして、敷地前面海域の海底地形の特徴を踏まえ、当該波形に対する施設からの反射波の影響が微少となるよう、施設から離れた沿岸域で基準津波として定義する。

２　想定される津波を超えることの意味

設置許可基準規則５条に基づいて策定を求めているのは、前述したとおり、施設から離れた沿岸域で定義される基準津波であって、敷地に到達する津波ではな

い。

基準津波を定義している地点において基準津波の最高水位又は最低水位を超える水位が観測されたとしても、そこから敷地までの伝播過程によって敷地に到達する津波水位は大きく変化するため、即座にＳクラス施設を設置する地盤に遡上することにはならないし、取水性能を低下させることにもならない。

３　福島第一原子力発電所事故のような状況にならないよう多層的な津波対策が採ることを要求していること

基準津波による津波を敷地に遡上又は流入させないドライサイトを基本としつつ、設計を超える事象（津波が防潮堤を越え敷地に流入する事象等）に対しても一定の耐性を付与するよう配慮し、下記の様に多層的な津波対策を求めている。

①外郭防護（遡上波防護）（設置許可基準規則の解釈　別記３の３一）

基準津波による遡上波の地上部からの到達又は流入を防止するため、当該施設は、当該遡上波が到達しない十分高い場所に設置し、当該遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置することを求めている。また、取水路及び放水路等は、海水と接している場合には、水位上昇時に逆流が生じ得るという構造上の特徴を有するため、津波がこれらの経路から敷地内に流入することも考えられる。そこで、津波が流入する可能性のある経路（扉、開口部及び貫通部等）を特定して浸水対策を施すことにより、同経路からの津波の流入を防止することも求めている。

②外郭防護（漏水防護）（設置許可基準規則の解釈　別記３の３二）

取水・放水設備及び地下部等において、外郭防護（遡上波防護）の浸水対策を施してもなお、漏水が生じる可能性を完全に排斥することはできない。そのような視点から、取水・放水施設及び地下部等からの漏水による浸水に対する防護措置として、漏水による浸水範囲を限定し、浸水想定範囲の周辺に耐震重

要設備がある場合は、防水区画化し、必要に応じて浸水量評価を実施して安全機能への影響がないことを確認するとともに、長時間の冠水が想定される場合は、排水設備を設置するなどして、重要な安全機能への影響を防止することを求めている。

③内郭防護（設置許可基準規則の解釈　別記３の３三）

地震・津波による配管及び敷地内のタンク等の損傷に伴う溢水等、地震・津波による相乗的影響に対し、外郭防護（遡上波及び漏水防護）に加えて、重要な安全機能を有する設備等が内包される建屋及び区画を重点的に防護すること（内郭防護）により、重要な安全機能への影響防止を確実なものとするため、Ｓクラスに分類される設備を内包する建屋及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化するとともに、津波による溢水を考慮した浸水範囲及び浸水量を保守的に想定した上で、当該範囲に浸水する可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部及び貫通口等）を特定し、浸水対策を施すことを求めている。

目次に戻る