§４　４－２　使用済燃料の貯蔵施設

4-2-2　使用済燃料貯蔵槽に対する要求事項とは何か。

１　使用済燃料の特徴を踏まえた合理的な要求事項

使用済燃料の貯蔵槽は、保管する使用済燃料の特徴を踏まえた設計をすることが合理的である。使用済燃料貯蔵槽は、耐震重要施設であることから、基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

使用済燃料貯蔵槽は鉄筋コンクリート製でできており、それ自体、堅固なものとして設計されている。

また、使用済燃料は、原子炉運転中の炉心の燃料のように高温・高圧の環境下になく、大気圧の下、崩壊熱を除去するため、常温程度以下に保たれた使用済燃料貯蔵槽内の水により冠水状態で貯蔵すればよい。

なお、崩壊熱は原子炉の停止後、時間とともに減少するものであり、使用済燃料を炉心から取り出し、使用済燃料貯蔵槽へ移動する段階では原子炉の停止から数日経過しているため、崩壊熱はかなり小さくなっている。

また、使用済燃料が冠水さえしていれば、使用済燃料の発する崩壊熱は、大量に存在する周囲の水に伝達されるため、その崩壊熱は十分除去される。

したがって、使用済燃料は放射性物質を閉じ込める役割を果たす燃料被覆管の健全性を維持するために使用済燃料の冠水状態の維持を行い、崩壊熱を除去すれば、放射性物質が放出されるような事態は考えられないため、原子炉容器、原子炉格納容器のような耐圧性を有するものとして設計することまでは必要ではない。

なお、新規制基準では、重大事故に至るおそれがある事故の想定として、使用済

燃料貯蔵槽の冷却機能又は注水機能の喪失などにより使用済燃料貯蔵槽の水位が放射線の遮蔽を維持できる最低水位まで低下するまでには数日かかることから、これを踏まえた対策として、代替注水設備として可搬型代替注水設備を配備することなどにより、使用済燃料の冠水状態を維持することを求めている。

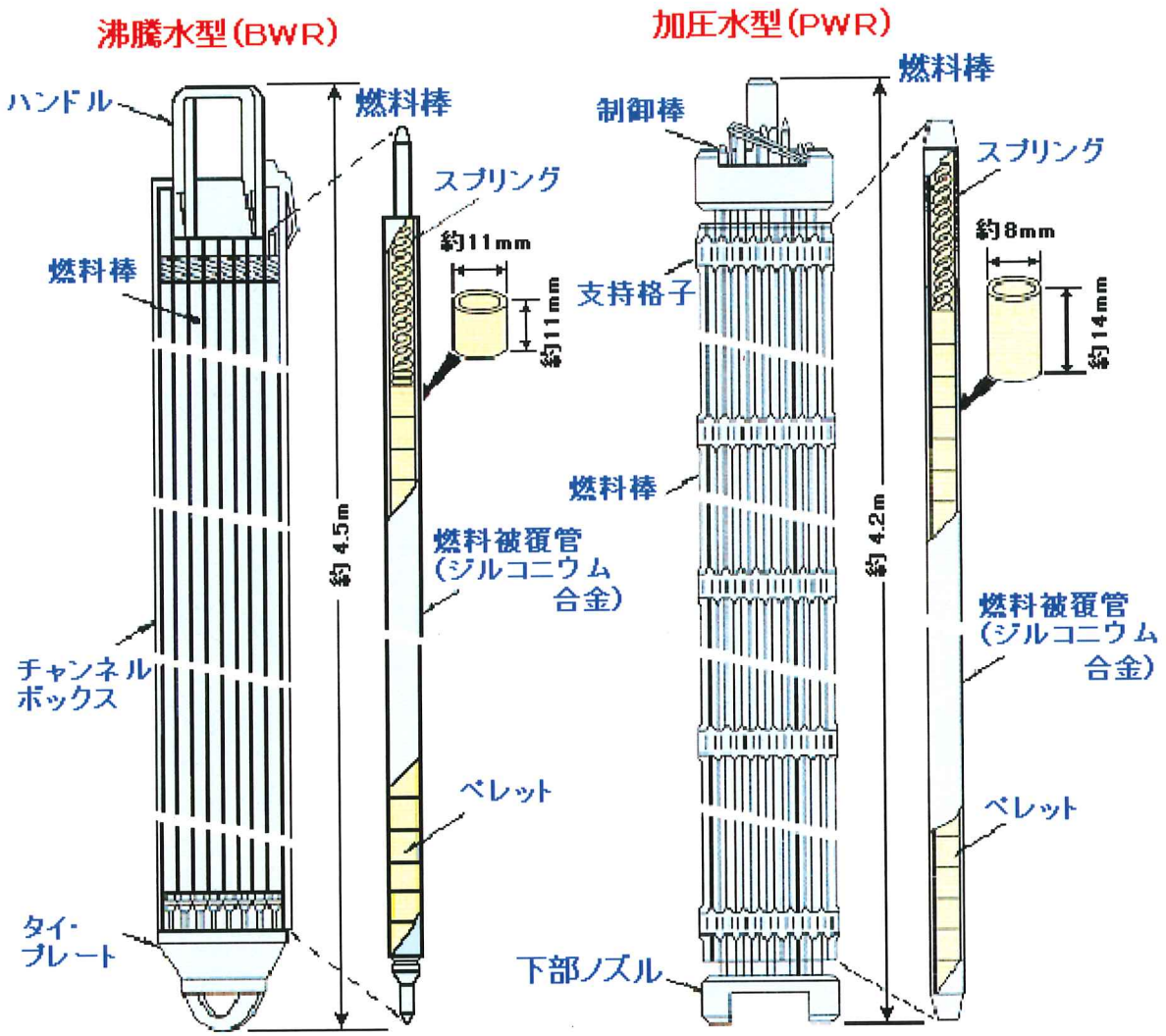


図１　燃料体の概要

§４　４－２　使用済燃料の貯蔵施設

4-2-3　使用済燃料の貯蔵槽等について、耐震重要度の分類は適切に判断され、合理的であるか。

１　使用済燃料の貯蔵施設等に関する耐震重要度分類について（概要）

耐震重要度分類は、地震による損傷の防止について定める設置許可基準規則４条が規制する事項であり、使用済燃料の貯蔵槽等にも適用される。設置許可基準規則４条第２項に基づき、設計基準対象施設が耐えなければならない地震力は、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しなければならないとされており、同条の解釈別記２によれば、設計基準対象施設は、それぞれの耐震重要度に応じて、Ｓクラス、Ｂクラス、Ｃクラスに分類される。

上記分類において、Ｓクラスは、地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失による事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに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ために必要となる施設であって、その影響が大きいものとしている。

またＢクラスは、安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がＳクラス施設と比べ小さい施設としている。

Ｃクラスは、Ｓクラスに属する施設及びＢクラスに属する施設以外の一般産業施設または公共施設と同等の安全性が要求される施設としている。

2　設置許可基準規則においては、使用済燃料の貯蔵槽等についてその機能を踏まえた適切な耐震重要度分類がなされている

上記の分類に従えば、使用済燃料貯蔵槽は自ら放射性物質を内蔵している施設であり、同解釈別記２にＳクラスの施設として明記されている「使用済燃料を貯蔵するための設備」として、Ｓクラスに分類される。また、補給水設備は、使用済燃料貯蔵槽の安全機能を維持するために必要な「使用済燃料を貯蔵するための設備」の補助設備として、同じくＳクラスに分類される。

なお、使用済燃料貯蔵槽の冷却系は、その機能を喪失したとしても使用済燃料貯蔵槽に上記の補給水設備により水が補給できれば崩壊熱の除去及び放射線の遮蔽等が可能であることから、補給水設備により機能を代替できるため、その影響がＳクラス施設と比べ小さい施設にあたり、別記２にＢクラスの施設として明記されている「使用済燃料を冷却するための施設」として、Ｂクラスに分類される。

また、使用済燃料貯蔵槽の水位計及び温度計については、上記の冷却系の機能が喪失した場合にあっても、使用済燃料貯蔵槽の水温の上昇や水位の低下は数日かけて進展する。これに対して、使用済燃料貯蔵槽の水位が低下した場合には、実際に使用済燃料貯蔵槽の付近において目視によって確認することが可能であり、さらには数時間以内に補給水設備を用いて給水を行うことで水位を回復することができる。したがって、使用済燃料貯蔵槽の水位計及び温度計は、上記の使用済燃料貯蔵槽の補給水設備又は冷却系と同じくする必要はなく、Ｃクラスに位置付けられる[*1]。

このように設置許可基準規則は、使用済燃料貯蔵槽等について、その施設及び設備の機能等を適切に考慮した、合理的な耐震重要度分類をしている。

---

*1　使用済燃料貯蔵槽における、重大事故に至るおそれがある事故への対応については、「４　４－２　4-2-1」参照。

§４　４－２　使用済燃料の貯蔵施設

4-2-4　使用済燃料の貯蔵槽等について、安全重要度の分類は適切に考慮され、合理的であるか。

１　使用済燃料の貯蔵槽等に関する安全重要度分類について（概要）

安全重要度分類は、安全施設、すなわち設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものに関して設置許可基準規則１２条が規制する事項であり、使用済燃料の貯蔵槽等にも適用される。設置許可基準規則１２条１項に基づき、安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならないとされている。同条の解釈第１項によると、安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものとは、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下「重要度分類審査指針」という。）によるとされている。

重要度分類審査指針では、安全施設を、それが果たす安全機能の性質に応じて２種に分類している。具体的には、その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの（異常発生防止系。以下「ＰＳ」という。）と、原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの（異常影響緩和系。以下「ＭＳ」という。）に分類している。

そして、ＰＳ及びＭＳのそれぞれに属する構築物、系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じ、それぞれ重要なものから、クラス１、クラス２及びクラス３に分類する。なお、ＰＳでクラス１である安全施設は、ＰＳ－１、ＭＳでクラス２である安全施設は、ＭＳ－２のように標記される。

2　設置許可基準規則においては、使用済燃料の貯蔵槽等についてその機能を踏まえた適切な安全重要度分類がされている

使用済燃料貯蔵槽は、設置許可基準規則１２条１項の解釈で引用する重要度分類審査指針において、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有する安全施設であり、その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質放出のおそれのある構築物、系統及び機器としてＰＳ－２に分類されている。また、補給水設備は、燃料プール水の補給機能を有する安全施設であり、ＰＳ－２の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器としてＭＳ－２に分類されている。

使用済燃料は、原子炉運転中の炉心の燃料のように高温・高圧の環境下にある必要はなく、大気圧の下、崩壊熱を除去するため、常温程度以下に保たれた使用済燃料貯蔵槽内の水により冠水状態で貯蔵するものである。その崩壊熱は原子炉の停止後、時間とともに減少するものであり、使用済燃料を炉心から取り出し、使用済燃料の貯蔵施設へ移動する段階では原子炉の停止から数日経過しているため、崩壊熱はかなり小さくなっており、冠水さえしていれば崩壊熱は十分除去される。また、使用済燃料貯蔵槽が故障又は損傷しても、直ちに臨界状態になることや、水がなくなり放射線が遮蔽できなくなることはない。

かかる特徴を踏まえれば、使用済燃料貯蔵槽はＰＳ－２に分類され、また、補給水設備は、ＭＳ－２に分類されていることは合理的である。

§５　５－１　自然現象による損傷の防止

5-1-1　設置許可基準規則は、自然現象に対する発電用原子炉施設の防護についてどのようなことを要求しているか。

１　自然現象に対する発電用原子炉施設の防護における合理的な要求の考え方について

自然現象が発電用原子炉施設に与える影響は、その施設の立地条件によって、その大きさが異なる。例えば、発電用原子炉施設を設置する敷地高さが低ければ、敷地への津波の遡上のおそれがあり、津波の遡上を防ぐための対策が必要になるが、一方、発電用原子炉施設を設置する敷地高さが高ければ、同程度の津波高さでも津波の遡上はなく、相応の設計で十分となる。これは津波だけに限らず、地震や火山等の他の自然現象についても、同じことがいえる。

よって、自然現象に対する発電用原子炉施設の防護については、発電用原子炉施設を設置する位置における各種の自然現象が当該発電用原子炉施設に与える影響を、科学技術的知見に基づく合理的な手法で評価した上で、設計を行うことが必要となる。

設置許可基準規則においては、設計基準対象施設、重大事故等対処施設に分けて、地震、津波、その他の自然現象等が与える影響の評価及びその対策を要求している。

２　設計基準対象施設に係る自然現象による損傷の防止

設置許可基準規則第２章では、設計基準対象施設に対して、自然現象による損傷を防止することを求めている。

具体的には、同規則３条は、設計基準対象施設は、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した地震力等が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けること、耐震重要施設*1は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならないこと、耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならないことを要求している。

また、同規則４条は、設計基準対象施設は、地震力*2に十分に耐えることができるものでなければならないこと、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こと、耐震重要施設は、上記のような地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して、安全機能が損なわれるおそれがないものであること等を要求している。

同規則５条は、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要求している。

（なお、地震及び津波による損傷の防止に関する規制の内容については、本資料「§５　５－３（地震）」及び「§５　５－４（津波）」において述べる。）

同規則６条１項は、安全施設*3は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないこと等を要求している。同規則の解釈６条では、「想定される自然現象」とは、敷地の

---

*1　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（設置許可基準規則３条１項）。

*2　上記地震力は、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る（設置許可基準規則４条２項）。

*3　設計基準対象施設のうち、安全機能を有するもの（設置許可基準規則２条２項８号）。

自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象（例えば、くらげの大量発生により海水の取水が制限されることなど）又は森林火災等から適用されるものをいう、としている。「想定される自然現象」は、その発電用原子炉施設の立地により異なるため、原子炉設置者は、本件解釈に記載されている自然現象以外にも想定すべき自然現象があれば、その設計の際に考慮する必要がある。

3　重大事故等対処施設に係る自然現象による損傷の防止

設置許可基準規則第３章では、重大事故等対処施設に対して、自然現象による損傷を防止することを求めている。

具体的には、

①　同規則３８条は、常設耐震重要重大事故防止設備[*4]や、常設重大事故緩和設備[*5]が設置される重大事故等対処施設は、基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤に設けることなどを要求している。

②　同規則３９条は、常設耐震重要重大事故防止設備や、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は、基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故（常設耐震重要重大事故防止設備の場合）や、重大事故（常設重大事故緩和設備の場合）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ことなどを要求している。

③　同規則４０条は、重大事故等対処施設は、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ことを要求している。

以上のように、重大事故等対処施設に求められる耐震性及び耐津波性は、基準

---

*4　重大事故防止設備のうち常設のものであって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの（設置許可基準規則３８条１項１号）。
*5　重大事故緩和設備のうち常設のもの（設置許可基準規則３８条１項３号）。

地震動及び基準津波に対するものであり、設計基準対象施設に求められる耐震性・耐津波性と同等である。このため、重大事故等対策にあたっては、想定を超える規模の自然事象を対象とするのではなく、当該敷地に大きな影響を与えることが合理的に想定される地震動（基準地震動）や津波（基準津波）に対して、重大事故等対処施設が必要な機能が損なわれるおそれがないように、との観点から対策を講ずることとなる。

これは、例えば、格納容器破損防止機能を有する重大事故等対処施設について、設計基準を超える地震もしくは津波に耐えるよう設計したとしても、当該地震もしくは津波によって原子炉格納容器（設計基準対象施設）が破損することが考えられるため、当該重大事故等対処施設に対して設計基準を超える地震もしくは津波に耐えるよう要求することには合理性がないという考え方によるものである。

なお、原子力施設は基準地震動及び基準津波に関して一定の余裕を有しており（後記 5-3-10 及び 5-4-5）、仮に設計基準を超える地震もしくは津波であっても、即座に機能を失うことはない。

さらに、重大事故等対策は可搬型設備も組み合わせて行うものであるところ（3-3-6）、可搬型設備は、加振試験等により十分な耐震性を有することが確認されていること、また高台等の津波が遡上し難い場所に保管することから、この可搬型設備を常設設備と組み合わせることにより、常設重大事故等対処設備が使用不可能な場合であっても、可搬型設備により重大事故等への柔軟な対処が可能となることから、重大事故等対策に係る施設・設備全体として、地震及び津波に対して高い信頼性が確保される。

また、重大事故等対処施設に対する地震、津波以外の自然現象による損傷の防止については、同規則６条のように、独立した条文で要求されているわけではないが、この点については、同規則４３条に基づいて、実質的に要求されている。

具体的には、

④　同規則４３条は、重大事故等対処設備についての要求を規定しており、同

規則４３条１項１号は、重大事故等対処設備について、想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであることを要求している。実際の審査においては、「荷重その他の使用条件」を検討する際に、台風や竜巻、積雪などの自然現象による荷重も考慮している。

さらに、重大事故等対処設備は、重大事故防止設備[*6]と重大事故緩和設備[*7]に分類される。同規則４３条２項３号は、常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであることを要求している。同条の解釈では、「適切な措置を講じたもの」とは、可能な限り多様性を考慮したものをいう、としている。この要求における「共通要因」は、地震、津波、台風、竜巻、積雪等の自然現象も含んでいる。具体的には、水冷式の非常用ディーゼル発電機（設計基準事故対処設備）とは別に、空冷式の非常用ディーゼル発電機（常設重大事故防止設備）を設置することなどの対策がある。

この同規則４３条２項３号は、重大事故防止設備の機能は、炉心への注水機能や各設備への電源供給など設計基準事故対処設備の機能と同様の機能を持つため、共通要因により設計基準事故対処設備と同時にその機能が失われないようにする必要があるため要求するものである。

一方、重大事故緩和設備にはこのような規定はない。これは、重大事故緩和設備は、例えば、重大事故により発生した格納容器内の水素の濃度を低減する機能（静的触媒式水素再結合装置）等、重大事故が発生した後に必要になる機能であ

---

*6　重大事故等対処設備のうち、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合であって、設計基準事故対処設備の安全機能又は使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能が喪失した場合において、その喪失した機能（重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能に限る。）を代替することにより重大事故の発生を防止する機能を有する設備（設置許可基準規則２条２項１５号）。

*7　重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備（設置許可基準規則２条２項１６号）。

り、そのような機能を有する設計基準事故対処設備がないためである。

同規則４３条３項５号は、重大事故等対処設備のうち可搬型のものについて、地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管することを要求している。

また、同規則４３条３項７号は、重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであることを要求している。同規則４３条２項３号と同様の理由により、可搬型の重大事故緩和設備については、このような規定はない。

4　大規模な自然災害による発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生した際の対応について

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設は、自然現象による損傷を防止できるよう十分考慮した上で設計することを求めている。

しかし、その設計にあたり、想定する自然現象を超える大規模な自然災害が発生し、発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生した場合についても、炉心の著しい損傷や格納容器の破損等の影響を緩和するための対策等を要求している。

（なお、大規模損壊対策については、本資料「§３　３－４」において述べる。）

§５　５－２　地盤

5-2-1　設置許可基準規則における耐震重要施設の設置地盤及び周辺斜面に係る規制上の要求事項は何か。

１　はじめに

原子炉施設の耐震設計において、原子炉建屋等の重要な建物・構築物の基礎地盤及びその周辺斜面の安定性評価は、重要な検討項目の一つである。

原子炉施設は、地震による損傷を防止する設計がなされている（「５－３」にて後述）が、建物・構築物の基礎地盤が、地震時にその建物・構築物を支持できない場合、すべり破壊*1が生じた場合、あるいは周辺斜面が崩壊*2した場合、原子炉施設自体がいかに強固な耐震設計がなされていたとしても原子炉施設の安全機能に重大な影響を及ぼす可能性がある。

このため設置許可基準規則では、３条及び４条４項において、後記２のとおり耐震重要施設の基礎地盤及び周辺斜面に係る規制上の要求を規定している。

なお、耐震重要施設（Ｓクラス）以外のＢ、Ｃクラス（耐震重要度分類は「§２－７－３」を参照）については、後記２（１）支持のうち支持力に係る事項について、各クラスに応じた地震力に対応した支持性能のある地盤に設置するよう、「設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力・・・が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない」（設置許可基準規則３条１項）ことを要求している。この

---

*1　原子炉施設の基礎地盤に地震力が作用することにより、そこに存在する、断層や節理（割れ目）のように周囲の岩盤と比較して強度が低い力学的な不連続面に、ずれが生じること。

*2　原子炉施設に近接する山腹斜面が崩壊すること。崩壊に伴って生じた土砂が移動してきて、施設に影響を与える可能性がある。

「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、「自重及び運転時の荷重等に加え、耐震重要度分類・・・の各クラスに応じて算定する地震力・・・が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計であること」（設置許可基準規則の解釈別記１の１）をいい、これは設置許可基準規則４条に基づく耐震設計で用いる地震力が作用した場合において設置地盤の支持性能を確保させる要求となっている。

また、重大事故等対処施設についても、設計基準対象施設と同様の規制上の要求として「重大事故防止設備のうち常設のもの・・・であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの・・・が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）」は、「基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤」（設置許可基準規則３８条１項１号）に設けなければならないなどと規定している（同規則３８条、３９条２項、同規則の解釈３８条１項、３９条１項）。

２　設置許可基準規則における耐震重要施設の地盤に係る規制上の要求事項

（１）支持

地震時の基礎地盤に係る影響としては、まず建物・構築物の支持への影響がある。地盤が脆弱であった場合、地震時には基礎地盤そのものに「すべり」が生じるおそれがある。また、建物・構築物との関係では、基礎地盤には建物・構築物の重さを支える十分な「支持力」が必要であるほか、建物・構築物の基礎底面[*3]に過度に大きな「傾斜」が生じると、建物・構築物に内包される機器・配管系の安全機能への影響がありうる。

このような地震時における建物・構築物の支持への影響に関して、十分に支持

---

*3　建物・構築物の基礎と地盤が接する面。

することができる地盤に建物・構築物を設置するよう、設置許可基準規則３条１項では、「設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力（・・・耐震重要施設・・・にあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。）が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。」と規定している。

この「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、「自重及び運転時の荷重等に加え、・・・耐震重要施設・・・にあっては、・・・基準地震動による地震力・・・が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計である」とともに、耐震重要施設については、「基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認することが含まれる」（設置許可基準規則の解釈別記１の１）。

すなわち設置許可基準規則４条に基づく耐震設計で用いる基準地震動による地震力が作用した場合において設置地盤の支持性能を確保させる要求となっており、この基準への適合に当たっては基準地震動を用いて「すべり」等の評価がなされ、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」（以下「地盤ガイド」という）により評価の妥当性を確認することとなる。

なお、「（基礎底面の）傾斜」については、基準地震動に基づく動的解析の結果、施設の傾斜が目安として１／２０００以下であることにより確認することとしている（地盤ガイド　４．１（１）３））。目安としている趣旨は、設置許可基準規則に基づく評価は、基本設計段階*4における評価であり、機器等の安全機能が重大な影響を受けないことについては、「機器、設備等の仕様を踏まえて詳細設計段階*5において詳細な評価を行う」（地盤ガイド４．１（１）３））ためである。

---

*4　設置（変更）許可の段階。
*5　工事計画認可の段階。

（２）変形

設置許可基準規則３条２項に規定する「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の「傾斜」及び「撓み」並びに地震発生に伴う建物・構築物間の「不等沈下*6」、「液状化」及び「揺すり込み沈下*7」等の周辺地盤の変状をいう。地震時には、少なからず地盤の変形が生じうるものであり、例えば、地震により建物・構築物の支持地盤に過度に大きな「傾斜」が生じると、上記（１）で述べた基礎底面の傾斜と同様に、建物・構築物に内包される機器・配管系の安全機能への影響があり得る。

このため、設置許可基準規則３条２項においては、「耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。」と規定している。この基準への適合に当たっては、地盤にどの様な変形がどの程度生じるかを評価する必要があり、上記（１）と同様に基準地震動を用いて「（支持地盤の）傾斜」等を評価がなされ、地盤ガイドを用いて評価の妥当性を確認することとなる。

なお、設置許可基準規則では、５－３で後述するとおり防潮堤等の津波防護施設についても、耐震重要施設に位置付けている。これにより防潮堤が津波襲来前に地震による液状化等によって津波防護機能を損なうおそれがないよう、地震と津波という関連性の深い自然現象を考慮した規制上の要求をしている。

（３）変位

（１）及び（２）のほか、耐震重要施設の設置地盤に係る規制上の要求として「変位」がある。

---

*6　同一の基礎や構造物において発生する相対差のある沈下をいう。
*7　地震の揺れにより地盤を構成する土砂の堆積が圧縮すること等により、地盤や建物の基礎が沈下することをいう。

設置許可基準規則３条３項に規定する「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれをいう。耐震重要施設の基礎地盤が、建物・構築物を十分に支持することができ、地震時の変形も無視しうる程度であったとしても、建物・構築物の基礎となる地盤に露出する断層等が動いた場合、そこに段差が生じるなどして、建物・構築物や内部の機器等が損傷するおそれがある（図１）。

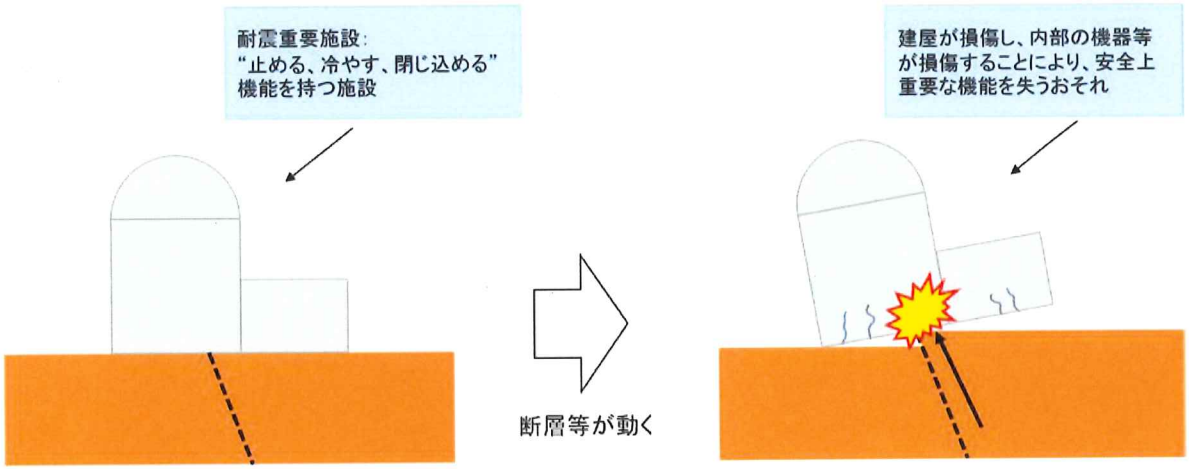


図１　断層活動による地盤のずれ

（出典：「実用発電用原子炉に係る新規制基準について－概要－」（原子力規制委員会）を基に作成）

このため、設置許可基準規則３条３項において、「耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。」と規定している。

ここで同項に規定する「変位が生ずるおそれがない地盤」とは、耐震重要施設が「将来活動する可能性のある断層等」の露頭[*8]がある地盤に設置された場合、その断層等の活動によって安全機能に重大な影響を与えるおそれがあるため、当該施設を「将来活動する可能性のある断層等」の露頭が無いことを確認した地盤に耐震重要施設を設置することを規制上の要求としているものである（設置許可基

*8　「将来活動する可能性のある断層等」の露頭とは、将来活動する可能性のある断層等が表土に覆われずに直接露出している場所のこと。開削工事の結果、建物・構築物等の設置を予定していた地盤に現れたものも含む。

準規則の解釈別記１の３）。

なお、設置許可基準規則３条３項において、「変位」については、「変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない」として地盤が変位することを認めていない一方で、同規則３条２項において、「変形」については「変形した場合においても安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない」として、地盤の一定の変形を認めている。ただし、あらゆる「変形」の下で建物・構築物の設計による対応が許容されるわけではなく、「変形」の程度（例えば、周辺地盤が基準地震動により液状化し基礎の支持性能に影響を及ぼすなど）によって、設置地盤を変更するか地盤改良が要求されることとなる。

これに対し、「変位」については、建物・構築物の安全性評価の前提となる断層が将来活動した際における地盤の変位量等を正確に把握する必要があるが、設置許可基準規則の制定時において、変位量や変位が生じた際に建物・構築物の基礎に作用する力の大きさを予測することは困難と考えられたため、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならないとされたものである。

（４）周辺斜面の安定性

上記（１）～（３）は、建物・構築物をどのような地盤に設置するかという観点からの規制上の要求であるが、地震時の耐震重要施設への影響は、設置地盤によるものだけではない。原子炉建屋等の耐震重要施設の付近に斜面があり、その斜面が地震によって崩壊した場合、原子炉建屋や屋外のＳクラス設備（例えば、軽油貯蔵タンクや排気筒）を損傷させるおそれがある。

このため、設置許可基準規則４条４項は、「耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊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。」と規定し、耐震重要施設が斜面の崩壊に対して安全機能を損なわないことを確認することを規制上の要求としている。

具体的には、耐震重要施設の周辺にある斜面について、基準地震動による地震

力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認するとともに、崩壊のおそれがある場合には、崩壊のおそれがある部分を除去するかコンクリート擁壁などの土木工作物を設置し斜面が崩壊しないような措置を講ずることにより、耐震重要施設に影響を及ぼすことがないようにする必要がある（設置許可基準規則の解釈別記２の８）。

§５　５－２　地盤

5-2-2　「将来活動する可能性のある断層等」とは何か。

１　はじめに

設置許可基準規則３条３項は、「耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。」と定めているところ、同項に規定する「変位」とは、「将来活動する可能性のある断層等」が活動することにより、地盤に与えるずれをいう（設置許可基準規則の解釈別記１の３）。

そして、「将来活動する可能性のある断層等」とは、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等をいい、「震源として考慮する活断層」のほか、「地震活動に伴って永久変位が生じる断層」に加え、「支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面」が含まれる（設置許可基準規則の解釈別記１の３）。

２　「将来活動する可能性のある断層等」の認定

「将来活動する可能性のある断層等」は、過去の断層活動の履歴に基づいて、これに該当するかどうかを判断する。日本列島では、移動を続けるプレート（年間移動速度数センチメートル）の影響を受けて、長年にわたって蓄積したひずみが解消される際に、地下で断層が動いて地震が発生するため、最近の地質時代に活動した断層は、近い将来も活動することが推定されるからである。また、プレート運動とは直接の関係がない断層運動、例えば重力による断層運動についても、過去に活動の履歴がある以上、同等の条件がそろえば将来も活動する可能性があると考えられる。

そして、「将来活動する可能性のある断層等」とは、具体的には、上記のとお

り後期更新世以降（約１２～１３万年前以降）の活動が否定できない断層等をいう（設置許可基準規則の解釈別記１の３）。

（１）「将来活動する可能性のある断層等」の年代

いわゆる活断層の定義としては、昭和５３年に設計用地震力の取り方など耐震設計上の基本的な考え方について取りまとめられた「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」という。）において、活動度を基に評価し５万年（５万年前以降に活動したもの、又は再来期間（活断層の活動間隔）が５万年未満のもの）を活断層評価の目安としていたものを、平成１８年の耐震設計審査指針の改訂時に、後期更新世以降という地質年代で評価するよう改訂されている（後記「５－３－１」の１（２）③）。

「後期更新世以降（約１２～１３万年前以降）」という地質年代で評価することとした趣旨は、１２～１３万年前には気候が温暖で、海面が現在よりも高い（もしくは同程度の）状態が続き、その間に海岸には平らな地形ができ、その地形に地震によるずれや変形があるかどうかを調べることにより、容易に活断層かどうかの判断ができると考えられたためであり、設置許可基準規則策定時点でもこうした考え方が科学的にも妥当であるため踏襲したものである。

もっとも、評価対象となる断層の近傍において、必ずしも、約１２～１３万年前の地形面又は地層が存在していない場合もあり得る。これは、約１２～１３万年前に地層が堆積したが後に水流等により侵食された、あるいは、そもそも約１２～１３万年前には地層が堆積するような環境（例えば海底など）ではなかった等、様々な要因による。このように「後期更新世（約１２～１３万年前）の地形面又は地層が欠如するなど、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約４０万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価」（設置許可基準規則の解釈別記１の３）し、より古い地質年代まで遡って評価することと

なる。すなわち、後期更新世（約１２～１３万年前）の地形面又は地層が欠如する場合には、それよりも前の時代である中期更新世（約７８万年前以降、１２～１３万年前まで）のうち最終間氷期より前の間氷期と対応する約４０万年前以降の地層を用いて断層の活動時期を評価し、後期更新世以降（約１２～１３万年前以降）の活動を評価することができる。

なお、断層の活動時期を評価する指標としては、後期更新世の地層を「上載層」とし、断層が当該「上載層」を変位・変形させていなければ、当該断層が約１２～１３万年前以降に活動していないと評価できる。ただし、侵食等により評価指標として「上載層」を用いることができない場合もある。この様な場合には、断層面と鉱物脈の交差関係が評価指標として有効となる場合があり、例えば、断層と約１２～１３万年前より前に形成された鉱物脈との関係から、後期更新世以降（約１２～１３万年前以降）の活動性を評価することができる。

（２）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”の意味

設置許可基準規則の解釈別記１の３では、「将来活動する可能性のある断層等」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”ものとするが、その“活動が否定できない”とした趣旨は、平成１８年の耐震設計審査指針改定時の検討において、“活動が認められる”とした場合、調査によっても最新活動時期等のデータが得られなかった場合に活断層としては考慮対象外となってしまうという懸念があったためである。

また、同指針の運用・解釈を明確にすることを目的として策定された、「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」（以下、「手引き」という）では、耐震設計上考慮する活断層の認定に関して、調査手法として変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査を挙げた上で、「いずれかの調査手法によって、耐震設計上考慮する活断層が存在する可能性が推定さ

れる場合は、他の手法の調査結果も考慮し、安全側の判断を行うこと。」（同９ページ）と記載されており、あくまで十分な調査が行われることを前提とした上で、いずれかの調査結果から、断層が後期更新世以降（約１２～１３万年前以降）に活動した可能性が推定される場合には、安全側の判断として、「活動が否定できない」と評価されることになる。

設置許可基準規則もこの考え方を引き継いで策定しており、その趣旨を踏まえれば「将来活動する可能性のある断層等」と評価されるのは、各種調査の結果、後期更新世以降の「活動が否定できない」場合であり、様々な調査を尽くした上で活動の可能性が推定できないような場合にまで機械的に「将来活動する可能性のある断層等」と評価されるものではない。また、ある一つの調査手法からは活動性を示唆するとも解釈し得る場合には、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等の複数の調査を組み合わせる中で、総合的に判断することとなる。

§５　５－３　地震

5-3-1　設置許可基準規則における地震対策に係る規制上の要求事項は何か。

１　地震対策の規制の経緯

（１）昭和５３年耐震設計審査指針策定時

北米プレート、ユーラシアプレート、フィリピン海プレート及び太平洋プレートの境界に位置する世界有数の地震国である我が国において、原子力施設の耐震安全性を確保することは極めて重要な課題である。そのため、海外から原子力発電技術を導入するに当たり、耐震性に関する検討が行われ、我が国独自の高度な耐震設計法が構築されてきた。原子力発電所の耐震設計の基本方針として、「施設の重要度に応じて設計する」、「原子炉建屋は剛構造とする」、「原子炉建屋などの重要な施設は建築基準法で定める地震力の３倍とする」という考え方が導入され、昭和５３年に設計用地震力の取り方など耐震設計上の基本的な考え方について取りまとめられた「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」という。）が地震対策の審査基準とされてきた。

（２）その後の耐震設計審査指針の改訂履歴

まず、昭和５６年７月、建築基準法の改正（昭和５５年）を受け、その当時における新たな知見として建築基準法に取り入れられた静的地震力[*1]の算定法等について見直しがされた。

---

*1　時間とともに変化する地震力（動的な力）を、時間的に変化しない力（静的な力）に置き換えて耐震設計を行う際に用いる地震力をいう。

その後、平成７年兵庫県南部地震の検証を通じて、断層の活動様式、地震動特性、構造物の耐震性等に係る知見が得られたことを踏まえ、原子力施設の耐震安全性に対する信頼性を一層向上させるため、平成１８年９月に耐震設計審査指針が改訂（以下「改訂耐震設計審査指針」という。）された。

主な改訂点として、

① それまで耐震設計審査指針において基本方針とされていた「原子炉建屋は剛構造とする」という考え方について、免震構造等に関する設計技術の進歩及び原子力施設における適用実績を踏まえ、剛構造以外の設計であっても同程度以上の耐震安全性の確保が可能であることから剛構造に限定しないこと、

② 詳細な調査を適切に実施することを前提とした「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動*2」を策定することを規定した上で、敷地近傍の地震に対する備え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*3」を別途策定することを規定したことに伴い、「直下地震Ｍ６．５」という地震規模による設定を廃止したこと、

③ 耐震設計審査指針において「活断層」を、第四紀全体（約１８０万年前（平成２１年より約２５８万年前に変更）～現在）で活動が認められるものと定義した上で、第四紀の中でも地殻変動の様式や速度が異なることや地表地震断層や活断層のトレンチ調査の結果から得られる再来期間（活断層の活動間隔）を考慮して「耐震設計上考慮する活断層」として５万年前以降に活動したもの、又は再来期間が５万年未満のものを活断層評価の目

---

*2 敷地に大きな影響を与えると予想される地震を複数選定し、それぞれの地震ごとに「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」を実施して、耐震設計の基準として用いる地震動を策定することをいう。

*3 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を加味して地震動を設定することをいう。

安としていた。平成７年兵庫県南部地震以降に行われてきたトレンチ調査の結果から確認される再来期間は最長３万年であったが、再来期間が５万年を超える可能性を考慮するとともに、それまでの審査実績を踏まえ、「耐震設計上考慮する活断層」は、第四紀の後期更新世以降（１２～１３万年前以降）の活動が否定できないものとしたこと

等が挙げられる。

（３）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、プレート間地震及び海洋プレート内地震の震源域の連動に係る考え方のほか、改訂耐震設計審査指針に基づく既設原子炉施設の耐震安全性評価（耐震バックチェック[*4]）において得られた経験、平成１９年新潟県中越沖地震から得られた教訓等を踏まえて設置許可基準規則４条及び同規則の解釈別記２が制定された。

２　地震対策に係る設置許可基準規則の内容

発電用原子炉施設が、地震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[*5]が算定される地震力に対して施設全体

---

*4　平成１８年９月１９日に耐震設計審査指針が改訂された際、稼働中又は建設中の原子力施設の当該指針に基づく耐震安全性の再評価を実施した。

*5　発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものをいう（設置許可基準規則２条２項７号）。

としておおむね弾性範囲[*6]に留まるように設計し、耐震重要施設[*7]が基準地震動[*8]による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないように設計することに加え、万一の重大事故等対策として、基準地震動による地震力に対して重大事故等対処施設[*9]が重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないように設計することが必要である。

このような観点から、設置許可基準規則は、設計基準対象施設等の地震に対する安全性に係る規定（設置許可基準規則４条）及び重大事故等対処施設等の地震に対する安全性に係る規定（設置許可基準規則３９条）を設けている。

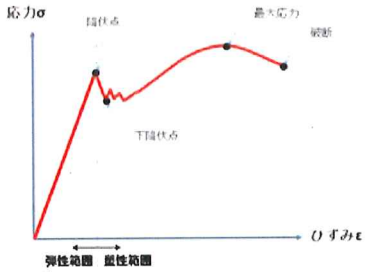
そして、発電用原子炉施設のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の地震に対する安全性に係る設置許可基準規則適合性審査では、主に、

①耐震設計に用いられる基準地震動の策定の妥当性

②耐震設計方針の妥当性

---

*6　物体に力（応力）を加えると変形する（歪みが生じる）が、力を除くと元の状態に戻る力の範囲をいう。なお、弾性範囲の限界（降伏点）を超えると、物体は変形したままで元の状態に戻らなくなる範囲を塑性範囲という（参考図参照）。



参考図　弾性範囲と塑性範囲

*7　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。

*8　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、地盤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ものとして策定する地震動をいう（設置許可基準規則の解釈別記２の５）。

*9　重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故に対処するための機能を有する施設をいう（設置許可基準規則２条２項１１号）。

の２点を確認することとされている。

（１）設置許可基準規則における事故防止対策

前述のとおり、発電用原子炉施設のうち設計基準対象施設は、施設の耐震重要度に応じて算定される地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に設計され、耐震重要施設が基準地震動による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないように設計されなければならない。

そこで、設置許可基準規則４条１項は、発電用原子炉施設の事故防止対策のうち地震に関する基本設計ないし基本的設計方針について、「設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。」、同条２項は、「前項の地震力は、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しなければならない。」、同条３項は、「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。」、同条４項は、「耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊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。」と定めている。

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地震動を適切に策定し、この地震動を前提とした耐震設計を行うことにより、主に耐震重要施設の安全機能の喪失を防止し、地震を起因として周辺の公衆に対し、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　耐震設計に用いられる基準地震動の策定の妥当性

設置許可基準規則４条３項は、「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。」と規定する。

基準地震動は、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、地盤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ものとして策定される（設置許可基準規則の解釈別記２の５）。基準地震動の策定方針に係る基本的な考え方は、以下に述べるとおり、「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」を敷地における解放基盤表面[*10]において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という、改訂耐震設計審査指針における基準地震動の策定方針（改訂耐震設計審査指針５）と同一である。

そして、基準地震動は、（ア）「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び（イ）「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の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、以下の方針に基づいて、それぞれ策定される（設置許可基準規則の解釈別記２の５一）。

（ア）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」とは、敷地ごとに当該施設敷地周辺の地質状況、活断層の状況、プレート境界との関係等を考慮した当該敷地固有の特性に基づく地震動である。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については、検討用地震[*11]を複数選定する。そして、選定した検討用地震ごとに、不確かさを

---

*10 基準地震動を策定するために、基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここで言う「基盤」とは、おおむねせん断波速度Ｖｓ＝７００ｍ／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する（設置許可基準規則の解釈別記２の５一）。

*11 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をいう（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。

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」の双方を実施し、震源から解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して基準地震動を策定する旨定めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。（「応答スペクトルに基づく地震動評価」については、本資料「§５　５－３　5-3-4」、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」については、「§５　５－３　5-3-5」を参照）

また、検討用地震の選定については、「内陸地殻内地震*12」、「プレート間地震*13」及び「海洋プレート内地震*14」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*15、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）。

さらに、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*16について分析した上で、必要に応じて偶然的不確実さと、認識

---

*12 陸のプレートの上部地殻地震発生層に生じる地震をいい、海岸のやや沖合で起こるものを含む（設置許可基準規則の解釈別記２の５二）。

*13 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）。

*14 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）。

*15 地層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。応力場の変化は、プレートの運動に関係しており、日本のような沈み込み帯では、海洋プレートの沈み込みの方向と角度が応力場を変化させると考えられている。

*16 断層の長さ、幅、傾斜角、応力降下量等の断層の性状を数値で示すものをいう。活断層評価結果に基づいてこれらのパラメータを設定し、不確かさを考慮した際に相対的に解に与える影響の大きいものを「支配的なパラメータ」という。

論的不確実さを組み合わせるなど適切な手法を用いて不確かさを考慮することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記２の５二⑤）。

（イ）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」については、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*17を設定して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２の５三）。

なお、「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活断層等の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、考慮すべき地震動と位置づけられている。

イ　耐震設計方針の妥当性

設置許可基準規則４条１項及び２項は、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する地震力に十分耐え得るよう設計すること、すなわち、設計基準対象施設を耐震設計上の重要度に応じてＳクラス、Ｂクラス及びＣクラスの３クラスに分類し、より上位のクラスには、より大きい地震力を設定し、それぞれのクラスごとに設定される地震力に十分耐え得るように設計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２ないし４）。

この分類を耐震重要度分類といい、その具体的な内容は次のとおりである。

---

*17 評価地点における地震動の周期毎の最大応答を算出し、周期と最大応答値をグラフ化したもの。応答値としては、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応答スペクトルを指すことが多い。

Ｓクラスに分類される施設とは、「地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに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ために必要となる施設であって、その影響が大きいもの」である（設置許可基準規則の解釈別記２の２一）。

Ｂクラスに分類される施設とは、「安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がＳクラス施設と比べ小さい施設」である（設置許可基準規則の解釈別記２の２二）。

Ｃクラスに分類される施設とは、「Ｓクラスに属する施設及びＢクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設」である（設置許可基準規則の解釈別記２の２三）。

そして、設計基準対象施設は、耐震重要度分類のクラス別に、後記（ア）ないし（ウ）に示す耐震設計に関する方針を満足することが求められる。

（ア）基本的な方針

a　Ｓクラスに分類される設計基準対象施設

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以外のものについては、算定される地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に留まるように設計されるものであるとともに、基準地震動による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないものであるかどうかを確認することとされている。

具体的には、弾性設計用地震動[*18]による地震力又はＳクラスに適用する静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えることなどが求められる（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３一）。また、基準地震動による地震力に対して安全機能を保持できるものであることが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６一及び７）。なお、「おおむね弾性状態」とは、局部的に弾性限界を超えたとしても施設全体としては、弾性範囲に留まることをいう。

また、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、基準地震動による地震力に対して、それぞれ津波防護機能、浸水防止機能又は津波監視機能が保持できるものであることが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６二）。

b　Ｂクラスに分類される設計基準対象施設

Ｂクラスに分類される設計基準対象施設は、Ｂクラスに適用する静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐え、また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行うことが求められる（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３二）。

c　Ｃクラスに分類される設計基準対象施設

Ｃクラスに分類される設計基準対象施設は、Ｃクラスに適用する静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えることが求められる（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の

---

*18 施設が地震力に対して耐えるために、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に留まるよう設計する際に用いる地震動をいう。（弾性範囲については、脚注６の参考図参照）

３三）。

d　施設相互の関係

前記ａの耐震重要施設は、下位の分類に属する施設の破損によって波及的に安全機能を損なうことのないことなどが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６）。

（イ）地震力の算定法

施設の耐震設計に用いる地震力の算定は、主に後記ａないしｃの方法によることを求めている。

基準地震動は、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ものとして策定しなければならないとしている。この基準地震動による地震力に対して耐震安全上重要な施設の安全機能が保持されることが、耐震安全上の要求事項として基本となる考え方である。

また、基準地震動に対する施設の安全機能保持をより高い精度で確認するため、別途、弾性設計用地震動を設定し、この弾性設計用地震動による地震力に対し施設全体としておおむね弾性範囲に留まっていることを確認することとしている。構造物の弾性設計では、地震入力と構造物の応答は比例関係にあり、算定される応答値の精度も比較的高い。一般的に構造物の弾性限界と終局強度の間には大きな差があり、弾性設計された構造物は、弾性設計で考慮した地震動を超える地震動に対しても余裕をもった設計となり、これにより基準地震動による弾塑性解析結果の信頼性を担保し、安全機能の保持を高い精度で確認できる。

さらに、一般建築物で広く用いられている静的地震力による設計手法がある。この手法は、原子力施設の設計においても古くから用いられ設計実績も豊富であり、一般建築物の構造基準である建築基準法との対比

も分かりやすいことから、基準地震動や弾性設計用地震動による動的な解析と併せてＳクラス施設の耐震設計の信頼性を高める役割を担っている。原子力施設では、耐震重要度に応じて、上位のクラスにはより大きい静的地震力を設定しており、静的地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に留まるように設計している。

a　基準地震動による地震力

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定することなどが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の７）。

b　弾性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動は、基準地震動に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するためのものとして、基準地震動との応答スペクトルの比率の値が、目安として０．５を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定すること等が求められる（設置許可基準規則４条２項、同規則の解釈別記２の４一）。

c　静的地震力

静的地震力は、建物・構築物の振動特性、地盤の種類、施設の耐震設計上の重要度等を踏まえて設定すること等が求められる。具体的には、一般産業施設と同等の安全性が要求されるＣクラス施設には一般産業施設と同じ水平地震力[*19]を、より上位のＢクラス及びＳクラスには、それぞれ１．５倍、３倍の地震力を設定することが求められる。（設置許可基準規則４条２項、同規則の解釈別記２の４

*19 水平方向の揺れによって施設に作用する力（水平方向の加速度を重力加速度で除したものに施設の重量を掛け合わせたもの）をいう。

二）。

（ウ）荷重の組合せと許容限界

耐震設計方針の妥当性の評価に当たって考慮すべき荷重の組合せと許容限界についての基本的な考え方は、後記ａないしｅに示す内容のとおりである。地震は、他の外部事象と異なり、建物だけでなく内部の機器・配管系にも地震による荷重が作用する。一方、それぞれの施設には、プラントの状態によって地震以外の荷重も生じている。そのため、地震により施設に作用する荷重のみならず、プラント状態による荷重も考慮する必要がある。

ａ　Ｓクラスの建物・構築物（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

基準地震動との組合せと許容限界については、浸水防止設備が設置された建物・構築物以外のものは、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合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力[*20]時の変形）[*21]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が求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６一）。

弾性設計用地震動等との組合せと許容限界については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による

---

*20 構造物に対する荷重を漸次増大した際、構造物の変形又は歪みが著しく増加する状態を構造物の終局状態とし、この状態に至る限界の最大荷重負荷を意味する。（改訂耐震設計審査指針解説　Ⅳ．(2)）。

*21　変形能力とは、終局状態（脚注２０を参照）に至る限界まで変形できる能力のことをいう。

許容応力度[*22]を許容限界とする（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３一）。

b　津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備

津波防護施設については、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の組合せに対して、当該施設が構造全体として変形能力について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される津波防護機能及び浸水防止機能を保持することが求められる。また、これらの荷重組合せに関しては、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮することが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６二）。

浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、浸水防止機能及び津波監視機能を保持することが求められる。また、これらの荷重組合せに関しては、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮することが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６二）。

c　Ｂクラス及びＣクラスの建物・構築物

Ｂクラス及びＣクラスの建物・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静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３二及び三）。

---

*22 建物・構築物を構成する構造部材の材料について、荷重の作用する状態ごとに設定されている発生応力の制限値のことをいう。

d　Sクラスの機器・配管系

基準地震動との組合せと許容限界については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時[*23]及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持することが求められる。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみ[*24]が生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界[*25]に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないことが求められる。また、動的機器[*26]等については、基準地震動を受けても、その施設に要求される機能を保持することが求められる（設置許可基準規則４条３項、同規則の解釈別記２の６一）。

弾性設計用地震動等との組合せと許容限界については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせた荷重条件に対して、施設全体としておおむね弾性状態にとどまることが求められる（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３一）。

e　Bクラス及びCクラスの機器・配管系

Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時の荷重と静的地震力を組み合わせ、その

---

*23 通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう（設置許可基準規則２条２項３号）。

*24 降伏点（脚注６を参照）を超える範囲におけるひずみのこと。

*25 鋼構造物の破壊モード（現象）は、塑性ひずみによる延性破壊であり、材料等の変形が微小なレベルに留まり延性破壊に至らない限界をいう。

*26 ポンプ、弁、モーター等の作動要素を含む機器をいう。

結果発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることが求められる（設置許可基準規則４条１項、同規則の解釈別記２の３二及び三）。

（２）設置許可基準規則における重大事故等対策

重大事故等対処施設は、当該施設の区分に応じて、後記アないしエの地震力に対し、十分に耐えることができること又は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ものであることを満たすものでなければならない（設置許可基準規則３９条１項各号）。

ア　常設耐震重要重大事故防止設備[*27]が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設[*28]を除く。）

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（特定重大事故等対処施設を除く。）は、基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある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ことが求められる（設置許可基準規則３９条１項１号）。

イ　常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）

常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）は、常設重大事故防止設備が代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力と同等なものに十分に耐えることができる

---

*27 重大事故防止設備のうち常設のものであって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するものをいう（設置許可基準規則３８条１項１号）。

*28 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）。

ものであることが求められる（設置許可基準規則３９条１項２号、同規則の解釈同号部分）。

ウ　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（特定重大事故等対処施設を除く。）

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（特定重大事故等対処施設を除く。）は、基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることが求められる（設置許可基準規則３９条１項３号）。

エ　特定重大事故等対処施設

特定重大事故等対処施設は、設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のＳクラスに適用される地震力と同等なものに十分に耐えることができ、かつ、基準地震動による地震力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ものであることが求められる（設置許可基準規則３９条１項４号、同規則の解釈同号部分）。

なお、基準地震動に対する耐震性については、多様性、すなわち設計基準における措置とは性質の異なる対策を講じること等により、基準地震動を一定程度超える地震動に対して頑健性を高めることが求められる（設置許可基準規則の解釈３９条１項４号、同規則の解釈同号部分）。そして、多様性の例として「免震又は制震構造を有すること」を挙げているが、当該記載はあくまで例示であって、これらの構造に限定するとの趣旨ではない。

これらに加え、重大事故等対処施設は、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（設置許可基準規則４条３項）の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊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ことが求められる（設置許可基準規則３９条２項）。

§５　５－３　地震

5-3-2　基準地震動とは何か。（解放基盤表面の設定理由含む。）

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。

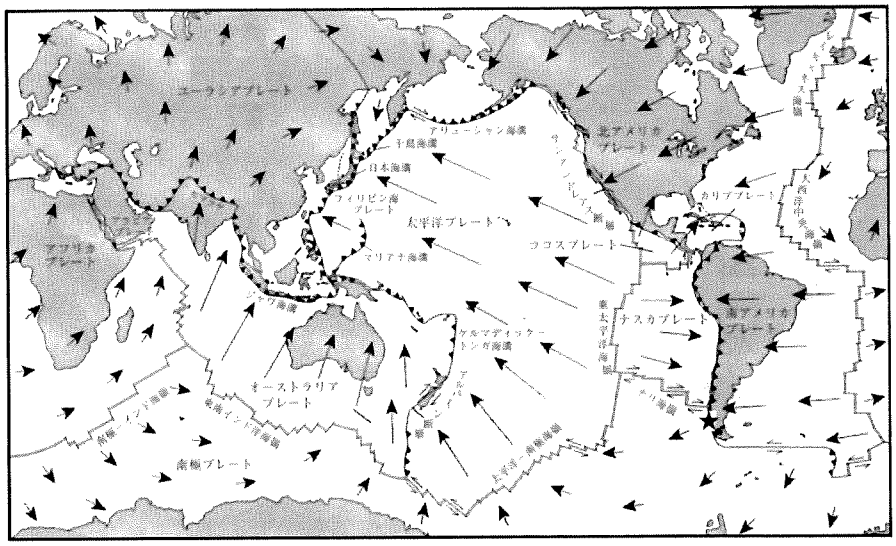


図１　世界のプレート境界

（出典：西村祐二郎編著（2010）『基礎地球科学 第２版』朝倉書店）

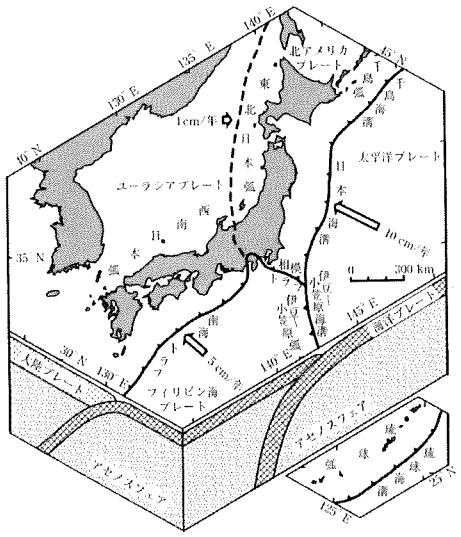


図２　日本列島を取り囲むプレート

（出典：西村祐二郎編著（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[*1]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）。解放基盤表面とは、局所的な表層地盤による揺れの増幅等の影響を大きく受けない、基盤面上の表層や構造物がないと仮定した解放された自由表面の地盤である。

「『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[*2]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）。この「検討用地震の選定」とは、敷地周辺では「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」が想定されるところ、それらの地震の中から、敷地に対して相対的に大きな影響を与える地震を幾つか抽出する

---

*1　解放基盤表面については、「§５　５－３　5-3-1」脚注 10 参照。

*2　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。

過程をいう。具体的には、地震規模と敷地からの距離との関係等から、敷地におけるおおよその地震動レベルを求めるなどして、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を選定するものである。

そして、選定した検討用地震ごとに、「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実施」（同解釈別記２の５二④、図３）することを求めており、この地震動評価の過程において、震源特性パラメータ*3が設定されるなどして、具体的に地震動の評価が行われることになる。

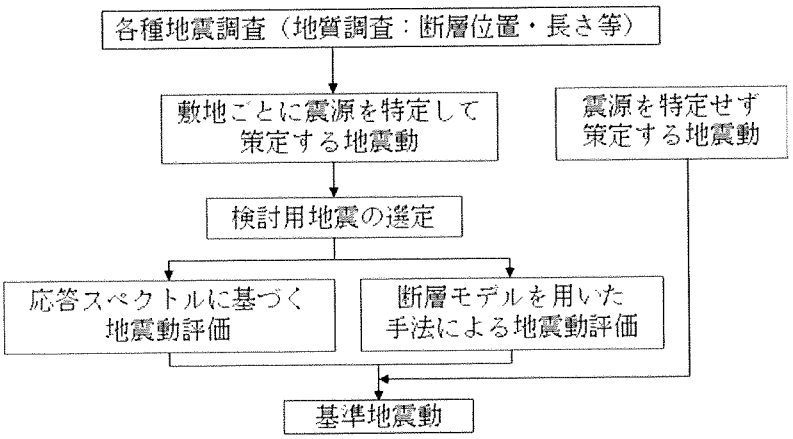


図３　基準地震動策定過程

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）。

---

*3　地震記録を用いた震源インバージョン（地震の観測記録から震源のパラメータを推定する手法の一つであり、観測された地震波形から、理論計算によって、震源過程を求める解析手法）によって得られる断層面は、すべり分布が不均質である。強震動の再現計算や強震動予測の際には、これをモデル化し、震源の特性を主要なパラメータで表す。このモデルを特性化震源モデルと呼び、特性化震源モデル構成するパラメータを「震源特性パラメータ」という。

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。なお、基準地震動について、「基準地震動○Gal」等と表現されることがあるが、これについては後記 5-3-8 の３参照。

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）。

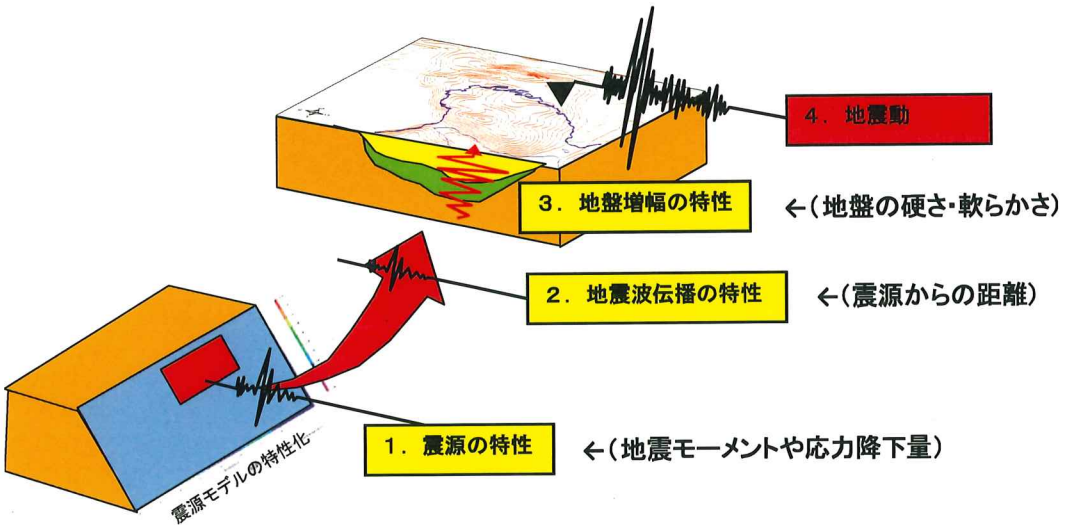


図４　地震動評価の３要素

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。

§５　５－３　地震

5-3-3　敷地ごとに震源を特定して策定する地震動は、具体的にどのようなものか。

１　はじめに

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、それぞれ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２の５一）。

このうち、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」とは、震源断層を特定した上で設定する地震動であり、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、活断層の性質や地震発生状況を精査し、中・小・微小地震の分布、応力場、及び地震発生様式（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て検討用地震を複数選定した上で（設置許可基準規則の解釈別記２の５二①）、当該検討用地震ごとに、「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」を実施して策定するものである（同④）。

２　「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定に当たって設定される震源断層の考え方

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、ある特定の震源を設定し、その震源が活動した際に、評価地点において想定される地震動を算出することにより得られる地震動である。ここでの「震源」とは、ある地下の一点のことではなく、一定の広がりを持つ震源断層面のことをいう。これは、地震が、地下の震源断層面が破壊することにより、その震源断層面全体から地震波が放出される現

象だからである（前記 5-3-2 の 3 参照）。

ここで、「震源を特定して策定」とは、各種の詳細な調査結果に基づき、最新の科学的・技術的知見を踏まえて適切な震源断層を設定し、その、ある特定の震源による地震動を想定するという意味（つまり「敷地ごとに震源を特定せず策定する地震動」〔後記 5-3-6〕の対語）であって、過去の地震における震源断層を寸分たがわず再現（特定）するとか、将来起こる地震の震源断層を寸分たがわず予測（特定）することを意味するものではない。原子力発電所の耐震安全性を確保するためには、設置許可基準規則４条が定める「地震による損傷の防止」（設置許可基準規則４条表題）を達成するための、適切かつ保守的な震源断層が設定されていれば良い。これは、そもそも地震が、地下の岩盤が破壊するという自然現象であることからすれば、いかに詳細かつ十分な調査を行っても、震源断層の位置・形状や破壊過程等の全てを事前に予測することは不可能だからである。基準地震動を策定するに際しても、地震に係る現象の全てを事前予測することまで求められるものではない。

以上を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定においては、震源断層の位置及び形状（長さや幅）等について、各種調査の不確かさを踏まえて安全側の（保守的な）設定をし、更に地震動の評価過程に伴う不確かさを考慮した上で、保守的な地震動を評価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）。具体的には、例えば、震源断層長さを地表の活断層長さよりも長く設定する、また、断層幅（断層傾斜角や地震発生層の厚さから求められる）も調査の不確かさを踏まえて大きく設定する、さらに、アスペリティもサイトに近いところなど安全側の位置に設定するなどして、保守的なパラメータ設定が行われる。これにより、十分に適切な地震動が評価されることになる。

§５　５－３　地震

5-3-4　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一つである。以下では、その手法及び特徴を述べる。

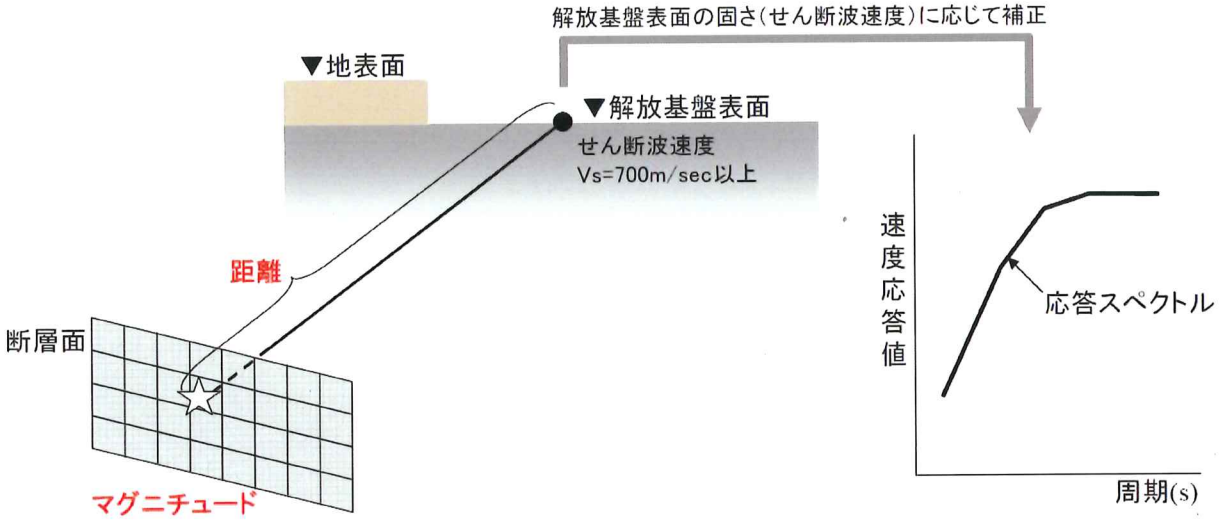
２　応答スペクトルに基づく地震動評価手法

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等比較的堅い岩盤における応答スペクトルを求め、解放基盤表面*2までの地盤特性を考慮した補正（増幅や卓越周期*3）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

---

*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　解放基盤表面については、「§５　５－３　5-3-1」脚注 10 参照。

*3　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。

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、地盤の卓越周期等）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。

§５　５－３　地震

5-3-5　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一つである。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、地盤の卓越周期等）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１参照）。

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。

以上のように、断層モデルを用いた手法による地震動評価は、小地震の地震動波形を多数重ね合わせることにより行われるが、これは、大地震の断層面における断層運動が、小地震の断層運動を重ね合わせることにより表現できるとの前提に基づくものである。そこで用いられる小地震の地震動波形を「グリーン関数」とみなし、原子力施設の耐震設計上重要である短周期地震動に着目した場合は、小地震の地震動波形の設定の仕方により、「経験的グリーン関数法」と「統計的グリーン関数法」という二つの方法がある。両方法の詳細は、後記（３）において説明する。なお、１秒以上の長周期地震動は、理論的手法により数値解析でき、

---

*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。*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。

理論的手法と統計的あるいは経験的グリーン関数法を組み合わせたハイブリッド法も存在する。

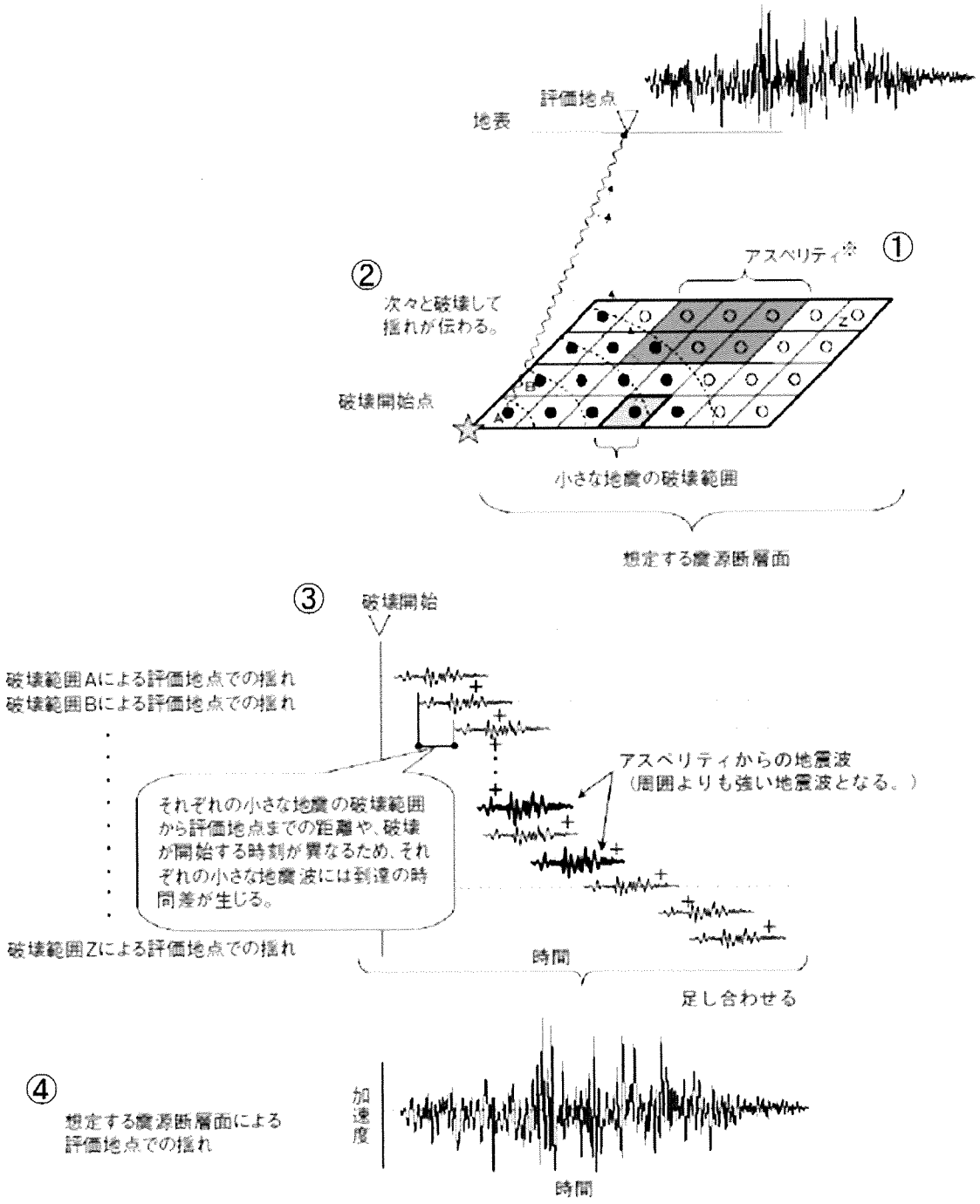


図１　断層モデルの手法の概念について

（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」（以下「レシピ」という。）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。）Ⅰ．３．３．２(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・下端深さ等について分析した上で保守性を考慮する。基本震源モデルに保守性を考慮することについては、設置許可基準規則において「適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定」（同解釈別記２の５二④ⅱ）することとした上で、敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド（以下、「地質審査ガイド」という。）において具体的にその確認事項が例示されており、設置許可に係る審査においては、基本震源モデルの震源断層が、当該原子炉施設の地震動を評価するにあたり適切かつ保守的に

---

*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。

設定されたものであることを確認している。

（２）基本震源モデルへの不確かさの考慮

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。すなわち、震源断層に係る調査においては、必要な調査を行っても、震源特性パラメータのうち、活断層の存否や断層長さ等、地震動評価を行うにあたって影響を与えると考えられるパラメータの評価に不確かさが残る場合がある。基準地震動策定にあたっては、震源断層の認定における不確かさが明確に示され、それらの不確かさが地震動評価において検討されることが重要である。

そこで設置許可基準規則においては、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について、基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量及び破壊開始点等の不確かさ、並びにこれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮することを求めている（設置許可基準規則の解釈別記２の５二⑤）。

また、支配的なパラメータの中でも特に、アスペリティの位置・応力降下量[*3]や破壊開始点等が重要であり、これらのパラメータが震源モデルの不確かさとして適切に評価されていることを確認することとしている（地震動審査ガイドⅠ．３．３．３(2)①1））。

---

*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。

（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、震源から解放基盤表面[*4]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[*5]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、グリーン関数の設定方法として、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は、伝播過程を評価するために想定する断層の震源域において、実際に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、想定する断層の破壊過程に応じて足し合わせることで、大きな地震による地震動を計算する方法である。本手法を用いるためには、あらかじめ評価地点における適切な観測記録を入手する必要がある。

統計的グリーン関数法は、多数の観測記録を統計処理した結果をもとに平均的特性を持つ波形を算出し、当該波形を要素波として、大きな地震による揺れを計算する方法である。本手法は、評価地点における観測記録をあらかじめ入手する必要はないが、評価地点固有の特性に応じた震動特性が反映されにくい

---

*4　解放基盤表面については、「§５　５－３　5-3-1」脚注 10 参照。

*5　グリーン関数とは、物理の分野において、波動による伝播過程などを表現することに用いられており、地震の分野においても、一般的に震源に単位の力が作用したときの観測点での応答としてみなすことができる。その応答には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。このことを図１において説明すると、例えば「破壊範囲 A」が破壊することにより生じた地震波が地表まで伝播し（②の破壊範囲 A から地表に向かう波線）、評価地点において観測された地震波（③の「破壊範囲 A による評価地点での揺れ」）は、その発震機構や伝播経路を大きな地震に伴う中小地震の観測波形をグリーン関数とみなすことで、これを重ね合わせて地震の波形として合成した応答として扱うことができる。なお、このグリーン関数に、実際の小規模地震の観測記録を補正して用いるのが「経験的グリーン関数法」であるが、その場合、小規模地震の観測記録には既に当該地域の伝播特性等が自然に含まれているため、重ね合わせることで適切に強震動の評価ができる。他方、適切な小地震記録がない場合には、他の地点で得られた多数の強震記録を統計処理して評価した模擬地震波をグリーン関数とする「統計的グリーン関数法」が用いられる。

とされている。なお、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）震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価

内陸地殻内地震について、震源が敷地に極めて近い場合には、前記（1）～（3）に加え、より詳細な検討を行った上で基準地震動を策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2の5二⑥及び「地震動審査ガイド」）。震源が敷地に極めて近い場合において、より詳細な検討を行うよう求めているのは、地下構造の不均質性が地震波の伝播特性に対し、より大きな影響を与える可能性があり、かつ、内陸地殻内地震は再来期間が長く震源極近傍の観測記録が十分に得られていないことなどから、評価手法に不確定性が伴うからである。

このようなことから、設置許可基準規則では、震源が敷地に極めて近い場合における地震動評価については、例えば、地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討するとともに、これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意して評価するよう求めている。その場合、各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえ、さらに十分な余裕を考慮して基準地震動を策定することも求めている（設置許可基準規則の解釈別記2の5二⑥及び「地震動審査ガイド」）。また、地震動審査ガイドにおいても、上記規制基準の要求事項に係る具体的な確認事項が示されている（地震動審査ガイドⅠ．3．3．2（4）④）。

以上により、震源が敷地に極めて近い場合においても、適切な基準地震動が策定されることとなる。

なお、震源極近傍の地震動評価に関しては、地震発生層より浅部における断層のずれによる長周期地震動や地表変位の発生、震源断層の破壊伝播効果が地震動へ与える影響等について多くの研究がなされており、重要な知見については審査において活用している。

（５）断層モデルを用いた手法による基準地震動

断層モデルを用いた手法では、アウトプットとして、時刻歴波形が計算される。具体的には、検討用地震ごとに、各種の不確かさを考慮して評価した地震動の時刻歴波形から、応答スペクトル（以下の「一つ目」）を算出する。さらに、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（以下の「二つ目」）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Ⅰ．５．２(2)）。

なお、ここでは「応答スペクトル」という用語が２回出てくるが、両者が意味するものは異なる。一つ目は、いろいろな固有周期*6を持つ構造物等に対して、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」で得られた地震波形（例えば図１の④）が生じた最大応答加速度を周期ごとに図示した応答スペクトルを意味しており、あくまで「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の結果である。二つ目は、先に 5-3-4 において説明した、「応答スペクトルに基づく地震動評価」により得られた応答スペクトルを意味している。このほか、耐震設計の場面でも、また異なる意味で「応答スペクトル法」という言葉が用いられていることから、各々の「応答スペクトル」の用語の意味や違いについて、後に 5-3-6 において詳述する。

---

*6　物体が自由振動するときの周期であり、物体の質量が大きく剛性が小さいほどゆっくり振動する。

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評価では、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評価では、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、断層モデルを用いた手法による地震動評価では、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、地震動審査ガイドでは、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、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１ページ）。

地震本部地震調査委員会は、レシピの策定に当たり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１ページ、地震本部地震調査委員会強震動評価部会による検証結果[7]）。

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。

---

*7　地震本部地震調査委員会強震動評価部会による検証結果は、以下のとおり。
①「鳥取県西部地震の観測記録を利用した強震動評価手法の検証について」（平成 14 年 10 月 31 日公表）
②「2003 年十勝沖地震の観測記録を利用した強震動予測手法の検証について」（平成 16 年 12 月 20 日公表）
③「2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証について」（平成 20 年４月 11 日公表）

§５　５－３　地震

5-3-6　「応答スペクトル」という用語は、様々な場面で用いられるが、それぞれどのような意味なのか。

１　はじめに

「応答スペクトル」という用語は、前記 5-3-5 の２（５）のとおり、様々な場面で用いられるが、その使われ方は場面によって異なる。ただし、「応答スペクトル」の意味そのものは同じであるから、以下では、まず「応答スペクトル」とは何かについて説明する。

２　応答スペクトルの概要

地震波形には種々の周期の波が含まれており、地震工学では、地震動による構造物の応答の最大値を固有周期ごとに表す「応答スペクトル」（図１）が用いられている。

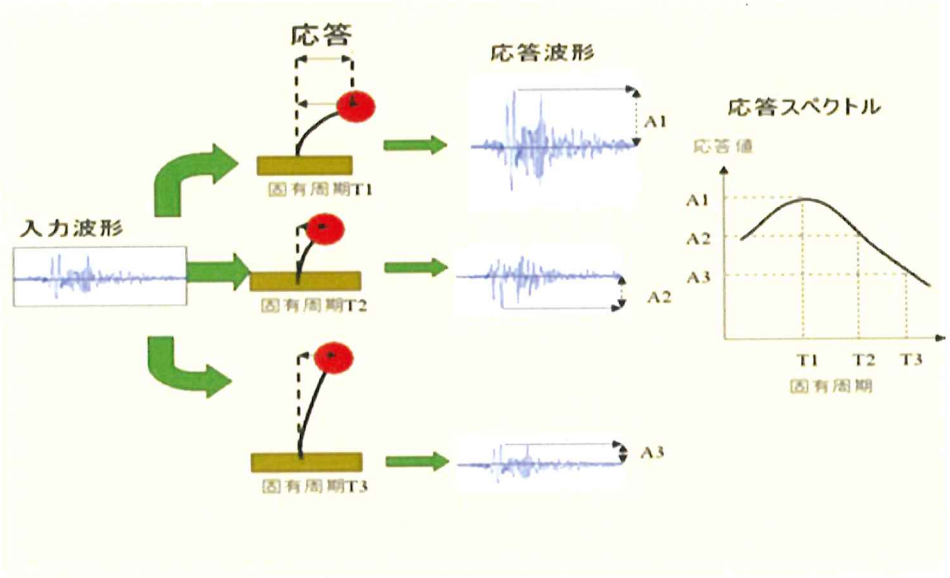


図１　応答スペクトルの概念図（出典：気象庁ホームページ）

構造物はその質量と剛性により定まる固有周期を有し、構造物に作用する地震動の周期が固有周期に近いほど、構造物の揺れ（応答）が大きくなる（所謂「共振」）特徴がある。応答スペクトルは、地震動に対してどのような固有周期を持つ構造物が揺れやすいかを表しており、減衰定数（揺れが時間とともに弱まっていく程度を示す定数）が同じ種々の固有周期を持つ振り子（１質点系）に地震波が作用したときの各振り子の最大応答値をプロットしたものである。

上記図１で説明すると、地震波（入力波形）が固有周期Ｔ１を持つ振り子に作用した際には、その揺れが応答波形として現れ、その最大の揺れ（応答）がＡ１となる。固有周期がＴ２やＴ３であれば、その応答もそれぞれＡ２、Ａ３となる。この応答を、固有周期毎にグラフ化すると、応答スペクトルの図となるというものである。

応答スペクトルは、固有周期の異なる種々の構造物の揺れの最大値を一目で把握できるという利点がある反面、地震動の時間的変化に関する情報を示すことはできない。

「応答スペクトル」は、基準地震動*1の策定や耐震設計において、以下の①～③のような使われ方をする。

①「応答スペクトルに基づく地震動評価」

「応答スペクトルに基づく地震動評価」とは、前記 5-3-4 のとおり、過去の地震の地震規模（マグニチュード）及び震源から観測点までの距離（震源距離）と地震による構造物の揺れの大きさ（応答スペクトル）の関係などから導かれた回帰式（距離減衰式）により応答スペクトルを作成する方法である。

この方法は、図１の右に示したような応答スペクトル（設計用応答スペクトル）を、過去の地震による観測波形から計算した応答スペクトルの統計解析に基づいて、地震動の時刻歴波形を介することなく直接求めるものである。このように応答スペクトルを直接的に求める手法であることから、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と呼ぶが、「距離減衰式に基づく地震動評価」とも呼ばれる。そして、基準地震動の策定においては、応答スペクトルから模擬地震波（時刻歴波形）を作成することになる（図２(a)参照）。

②「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

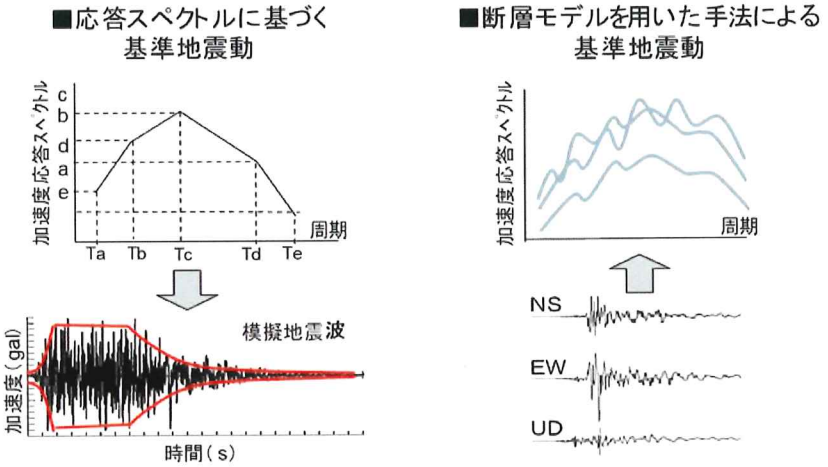
「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、前記 5-3-5 のとおり、設定した断層モデルを用いて数値解析を行い、合成地震波（時刻歴波形）を求める手法である（5-3-5 図１参照）。この合成地震波（時刻歴波形）について、図１の矢印に沿う過程（左から右）で周期ごとの最大応答値をスペクトルで示したものが、応答スペクトルである（図２(b)参照）。

このように、「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、まず応

---

*1　基準地震動については「§５　５－３　5-3-2」参照。

答スペクトルを求めた上で、これに基づき模擬地震波（時刻歴波形）を作成するのに対し、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」においては、数値解析により求めた時刻歴波形の作用による構造物の揺れの最大値を応答スペクトルで示すことになる（図２）。この双方の応答スペクトルを比較・検討し、基準地震動を策定することになる（地震動審査ガイドⅠ.5.2(2)）。



（a）　　（b）

図２　「応答スペクトルに基づく地震動評価」から時刻歴波の作成及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」から応答スペクトルの作成

③「応答スペクトル法」

上記①及び②は、基準地震動策定において、「応答スペクトル」という用語が用いられる場面だが、耐震設計においても「応答スペクトル法」との用語が用いられる。

「応答スペクトル法」とは、１質点系のモデル（図３左のような質量を示す点が１つのモデル）の応答スペクトルを用いて多質点系（図３右のような質量を示す点が複数のモデル）のモデルの地震時の応答を推定する方法である。地震力の算定に応答スペクトルを用いることから、「応答スペクトル法」と呼ばれている。具体的には、応答スペクトルとは、図１のように１質点で

表される単純な構造物の最大応答値を示しているにすぎないが、実際の構造物では多質点系で近似される場合もあるので、応答スペクトルを使って、多質点系の最大応答を推定するという方法である。

なお、応答スペクトル法による構造物の応答値は、時刻歴解析法に比べて計算効率が良く、大きな応答値を与えることが知られている。

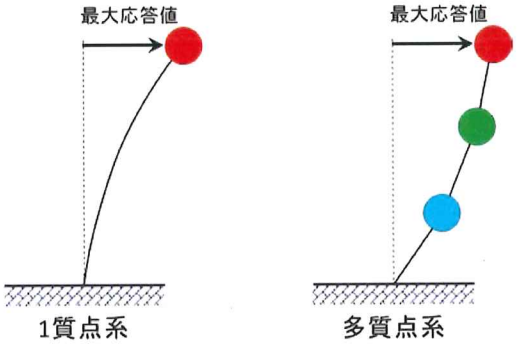


図３　１質点系と多質点系のイメージ

§５　５－３　地震

5-3-7　震源を特定せず策定する地震動とは、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あたっては、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あらかじめ要求している。

「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[*1]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

---

*1 解放基盤表面については、「§５ ５－３ 5-3-1」脚注 10 参照。

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」*2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」*3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、

---

*2 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））。

*3 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））。

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。

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。

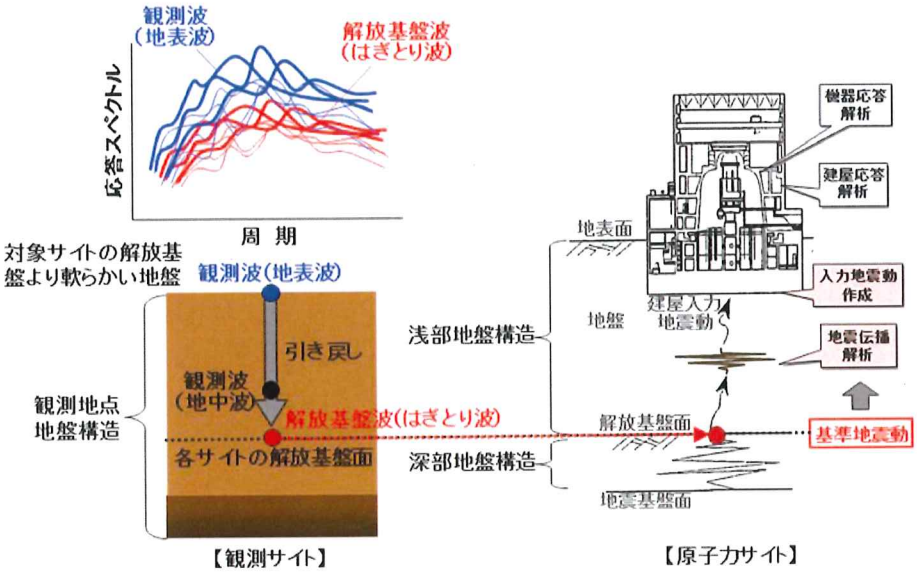


図１　震源を特定せず策定する地震動　概念図