

耐震設計審査指針改訂に関する骨格の一部について（事務局整理案：その3）

原子力安全委員会事務局

これまでの耐震指針検討分科会での調査審議における改訂指針案に関する主要論点等についての委員からの意見・コメントを踏まえ、その骨格となるべき事項の一部について、事務局において整理したところ、次のとおりである。

1. 指針の位置付け

【事務局案】

（本文事項）

本指針は、「発電用軽水炉型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（以下「安全設計審査指針」という。）において定められている安全設計上の要求のひとつである「安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。」に関して、「適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計」について、その設計方針の妥当性を評価するための安全審査における判断基準を定めたものである。

さらに、本指針は、今後の新たな知見と経験の蓄積によって、必要に応じて見直される必要がある。

2. 適用範囲

【事務局案】

（本文事項）

本指針は、今日までの軽水炉に関する経験と技術的知見に基づき、原子炉施設を構成する建物・構築物の主要部分が原則として剛構造による耐震設計がなされ、かつ、重要な建物・構築物が岩盤その他の十分な支持力を有する安定した地盤に支持される発電用軽水型原子炉施設への適用を前提として定めたものである。

しかし、これ以外の原子炉施設にも本指針の基本的な考え方は参考となるものである。

なお、許可申請の内容について本指針に適合しない場合があったとしても、それが技術的な改良、進歩等を反映して、本指針が満足される場合と同等の耐震安全性を確保し得ると判断される場合、これを排除しようとするものではない。

3. 基本方針

【事務局案】

(本文事項)

原子炉施設は、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なされる耐震設計上の区分ごとに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計がなされること。さらに、原子炉施設は、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原子炉施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生するおそれがあると想定することが適切である地震動による地震力に対しても、当該原子炉施設のうち安全防護施設を含めた必要な施設についてその安全機能が損なわれることがないように設計がなされること。

(解説事項)

「原子炉施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生するおそれがあると想定することが適切である地震動」を十分な考慮をもって適切に策定した場合においても、その地震動を上回る地震動が発生する可能性は否定できない。したがって耐震設計を行うにあたっては、この「残余のリスク」が存在することを十分認識しつつ、それを実務上可能な限り小さくするよう考慮することが望まれる。また、そのリスクの定量的評価の精度向上のための一層の取り組みが積極的に実施されることが期待される。

《この他、「地震PSAの試行実施方針」等については、指針改訂と同時に別途指針の枠外の原子力安全委員会決定（文書）を公表し、実施の円滑的な確保を図ることとしてはどうか。》

4. 耐震設計上の重要度分類

【事務局案】

(本文事項)

原子炉施設の耐震設計上の施設別重要度を、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、次のように分類する。

(本文事項)

(1) 機能上の分類

耐震クラスⅠ・・・自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している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放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの並びにこれらの事故発生の際に、原子炉を安全に停止させるため又は外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響、効果の大きいもの

耐震クラスⅡ・・・上記において、影響、効果が比較的小さいもの

耐震クラスⅢ・・・耐震クラスⅠ、耐震クラスⅡ以外であって、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの

(本文事項)

(2) クラス別施設

上記耐震設計上の重要度分類によるクラス別施設を以下に示す。

① 耐震クラスⅠの施設

- i) 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」(軽水炉についての安全設計に関する審査指針について記載されている定義に同じ。)を構成する機器・配管系
- ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設
- iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な施設
- vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に圧力障壁となり放射性物質の拡散を直接防ぐための施設
- vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際にその外部放散を抑制するための施設で上記vi)以外の施設

② 耐震クラスⅡの施設

- i) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵しうる施設
- ii) 放射性廃棄物を内蔵している施設、ただし内蔵量が少ないか又は貯蔵方式によりその破損によって公衆に与える放射線の影響が年間の周辺監視区域外の許容被ばく線量に比べ十分小さいものは除く
- iii) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により公衆及び従業員に過大な放射線被曝を与える可能性のある施設
- iv) 使用済燃料を冷却するための施設
- v) 放射性物質の放出を伴うような場合、その外部放散を抑制するための施設で耐震クラスⅠに属さない施設

③ 耐震クラスⅢの施設

上記耐震クラスⅠ、耐震クラスⅡに属さない施設

5. 基準地震動の策定

【事務局案】

(本文事項)

原子炉施設の耐震設計に用いる地震動は、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原子炉施設の供用期間中に極めてまれであるが発生するおそれがあると想定することが適切な地震動（以下、「基準地震動 S_s 」という。）として策定されたものでなければならない。

(解説事項)

用語の意味解釈を記載。以下に例示する。

- ・ 「解放基盤表面」とは基盤（概ね第三紀層及びそれ以前の堅牢な岩盤であって、著しい風化を受けていないもの）面上の表層や構造物が無いものと仮定した上で、基盤面に著しい高低差がなく、ほぼ水平であって相当な広がりのある基盤の表面をいう。
- ・ 「活断層」とは最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層をいう。活断層の認定は地形学的及び地質学的調査並びに地震観測資料等によって求めるものとする。（震分第23-1号の定義（案）より）

(本文事項)

(1) 基準地震動 S_s は、以下の方針により策定することを基本とする。

- ① 基準地震動 S_s は、次に掲げる「敷地ごとに策定する（サイト固有の）地震動」及び「震源を特定せず想定する地震動」について、敷地における解放基盤表面上における水平方向及び鉛直方向の地震動をそれぞれ策定する。
- ② 「敷地ごとに策定する（サイト固有の）地震動」の策定は、以下による。
 - i) 歴史史料から過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質に基づき、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を設計用地震として、近距離及び遠距離地震を複数選定する。
 - ii) 上記 i) で選定した設計用地震を基に、適切な手法を用いて敷地における解放基盤表面上の応答スペクトルを評価し、それらを全て包絡する応答スペクトルを設計用応答スペクトルとして、地震動の諸特性を考慮して基準地震動（模擬地震波）を策定する。
 - iii) 上記 i) で選定した設計用地震を基に、断層モデルを用いた適切な手法により、敷地における解放基盤表面上の地震動を複数のシナリオを考慮して評価し、基準地震動（断層モデル）を策定する。
 - iv) 地震動の策定においては、その策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）について、客観性を持った適切な手法を用いて考慮する。
- ③ 「震源を特定せずに想定する地震動」については、敷地周辺の事情等を十分考慮しつつ実施される詳細な地質調査等によっても、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、震源近傍の観測記録を基に、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定し、これに地震動の諸特性を考慮して基準地震動（模擬地震波）を策定する。

(解説事項)

- ・ 「敷地ごとに策定する（サイト固有の）地震動」及び「震源を特定せず想定する地震動」については、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどれくらいのリスクレベルに相当するかを把握しておくことが望ましいとの観点から、対応する超過発生頻度の参照を行うこととする。
- ・ 敷地に大きな影響を与えると予想される地震を設計用地震として選定する際には、地震地体構造を必要に応じて参考とすることとする。なお、「地震地体構造」とは地震規模、震源深さ、発震機構、地震発生頻度等に注目するとき、地震の発生の仕方に共通の性質をもっているある広がりをもった一定の地域の地質構造をいう。

- ・ 設計用地震は、地震の発生機構に着目し、以下の地震に分類することとする。

- ①内陸地殻内地震
- ②プレート境界地震
- ③スラブ内地震

設計用地震を基にした地震動評価に当たっては、その分類による地震動の特性を考慮することとする。

- ・ 敷地に大きな影響を与え、かつ、震源が近く、その破壊過程による地震動評価への影響が大きいと想定さ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行うことを基本とする。
- ・ 断層モデルにより評価された地震動のうち、その応答スペクトルが全ての周期帯において設計用応答スペクトルを下回る地震動は、基準地震動（断層モデル）の策定から除外することを可能とする。

（本文事項）

- （２） 敷地又はその周辺に影響を与えたと考えられる過去の地震の発生状況から、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を設計用地震として選定する際は、以下を考慮することを基本とする。
 - ① 適切な地震史料の選定と地震の想定に必要な情報の網羅
 - ② 考慮する過去の地震の範囲
 - ③ 被害状況と地形又は地盤との関係についての調査の必要に応じた実施

（本文事項）

- （３） 敷地周辺の活断層の性質に基づき、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を設計用地震として選定する際は、以下を考慮することを基本とする。
 - ① 震源として想定する断層を評価するために考慮の対象とする活断層は、活動度がC級以上のものとする。ただし、 年前以降の活動が否定され、かつ、地震の再来期間が 年以上のものは除くことを可能とする。
 - ② 敷地周辺の活断層の位置・形状・活動性等の状況を把握するため、敷地からの距離に応じて、十分な活断層調査を行うこと。
 - ③ 確実な地質学的証拠と工学的判断に基づいて活断層の活動性を評価すること。なお、微小地震の観測により、活断層の現在の活動性が顕著に認められる場合は、これを考慮するものとする。

- ④ 地震の規模を想定する際は、震源として想定する断層の形状評価を適切に行うこと。
- ⑤ 震源から敷地までの距離は、震源として想定する断層からの最短距離を用いること。

(解説事項)

- ・ 詳細な調査を実施しても、震源として想定する断層の形状を評価する際に必要な情報が得られなかった場合には、敷地への影響が過小評価されることがないように、震源として想定する断層形状を保守的に評価することとする。
- ・ 断層が不明瞭な地域における地震の想定に際しては、以下に留意することとする。
 - ① 適切かつ詳細な地形調査、地質調査、物理探査等を行い、地震が発生する可能性があるゾーンを特定すること
 - ② そこで将来発生する地震の規模の想定にあたっては、過去に起きた地震と活断層・地震断層との関係等、その地域の特性を十分調査・分析して得られた活断層データ等に基づき、適切な想定を行うこと
- ・ 震源として想定する断層長さから地震規模を想定する際に経験式を適用する場合は、その経験式の特徴などを踏まえ、地震規模を過小評価することがないようにすることとする。

(本文事項)

- (4) 基準地震動の評価法は、以下が満足されていることを基本とする。
 - ① 応答スペクトルに基づいた地震動評価
 - i) 応答スペクトルが、地震規模、震源位置、震源特性を考慮して適切に定められていること
 - ii) 地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化が適切に定められていること
 - ② 断層モデルに基づいた地震動評価
 - i) 断層パラメーターが適切に定められていること
 - ii) 強震動評価手法が、その手法の有する特徴を考慮して適切に選択されていること

6. 耐震設計方針

【事務局案】

(本文事項)

(1) 基本的な方針

施設は、耐震設計上のクラス別に次に示す耐震設計に関する基本的な方針を満足していなければならない。

- ① 耐震クラスⅠの各施設は、敷地ごとに設定される基準地震動 (S_s) による動的地震力に対してその安全機能が保持できること。また、以下に示す敷地ごとに適切に設定される弾性設計用の動的地震力又は以下に示す静的地震力のいずれか大きい方の地震力に耐えること。
- ② 耐震クラスⅡの各施設は、以下に示す静的地震力に耐えること。また共振のおそれのある施設については、その影響の検討をも行うこと。
- ③ 耐震クラスⅢの各施設は、以下に示す静的地震力に耐えること。
- ④ 上記各号において、上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないこと。

(本文事項)

(2) 地震力の算定法

施設の耐震設計に用いる動的地震力及び静的地震力の算定は以下に示す方法によらなければならない。

① 基準地震動 (S_s) による動的地震力

基準地震動 (S_s) による動的地震力は、基準地震動 (S_s) を用いて、水平方向及び上下方向について、同時性を考慮して適切に組み合わせたものとして算定されなければならない。

② 適切に設定される弾性設計用の動的地震力

適切に設定される弾性設計用の動的地震力は、基準地震動 (S_s) の策定過程及び敷地周辺の事情等を十分考慮しつつ、水平方向及び上下方向について、同時性を考慮して適切に組み合わせたものとして算定されなければならない。

(解説事項)

(解説において、この ((2) ②) の動的地震力の設定に当たっては、基準地震動 (S_s) との関連性を十分踏まえて設定されることが望ましく、例えば、

- ① 基準地震動 (S_s) の策定過程における歴史資料及び活断層の調査・評価

- 等により得られた情報を最大限活用すべきこと、
- ② 基準地震動 (S_s) の策定の際に参照する超過発生頻度を参考に、工学的判断を加味すること、
 - ③ 基準地震動 (S_s) の策定過程において検討された「敷地ごとに策定する (サイト固有の) 地震動」に工学的判断から求めた係数を乗じて算定する動的地震動を用いること、
- 等を例示的に選択肢 (組合せも可) として列挙し、さらに、
- ④ いずれの方法によってこの動的地震力を算定した場合であっても、その地震力強さは、基準地震動 (S_s) による地震力強さの 50% を下回ることがないことをめやすとすること、及び、
 - ⑤ 個別申請ごとにこの動的地震力についてどのような考え方にに基づき算定したのかを十分に明らかにすべきであること、
- を共通的事項として記述する。)

(本文事項)

③ 静的地震力

【現行指針における要求内容を踏襲しつつ、規定振りについては要検討】

【(参考) 現行指針の本文の記載内容】

静的地震力の算定は以下によらなければならない。

(i) 建物・構築物

水平地震力は、原子炉施設の重要度分類に応じて以下に述べる層せん断力係数に当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

A クラス 3.0 C_1

B クラス 1.5 C_1

C クラス 1.0 C_1

ここに、層せん断力係数の C_1 は、標準せん断力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

A クラスの施設については、鉛直地震力をも考慮することとし、水平地震力と鉛直地震力は、同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(ii) 機器・配管系

各クラスの地震力は、上記 (i) の層せん断力係数の値を水平震度と

し、当該水平震度及び上記(i)の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。

なお、水平地震力と鉛直地震力とは同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

7. 荷重の組合せと許容限界

【事務局案】

(本文事項)

耐震安全性の設計方針の妥当性を評価するに際して検討すべき耐震設計に関する荷重組合せと許容限界の基本的考え方は以下によらなければならない。

(本文事項)

(1) 建物・構築物

① 耐震クラスⅠの建物・構築物

(i) 弾性設計用の動的地震力等との組合せと許容限界

常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用の動的地震力又は静的地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、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。

(ii) 基準地震動 S_s との組合せと許容限界

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 S_s 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十分変形能力(ねばり)の余裕を有し、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。

② 耐震クラスⅡ、Ⅲの建物・構築物

常時作用している荷重及び運転時に施設に作用する荷重と、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、上記①、(i)の許容応力度を許容限界とする。

(本文事項)

(2) 機器・配管

① 耐震クラスⅠの機器・配管

(i) 弾性設計用の動的地震力等との組合せと許容限界

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の動的地震力又は静的地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする。

(ii) 基準地震動 S_s との組合せと許容限界

通常運転時、運転時の異常な過渡変化時、及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動 S_s による地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、構造物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがないこと。なお、動的機器については、基準地震動 S_s による応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とする。

② 耐震クラスⅡ、Ⅲの機器・配管

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とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする。

(解説事項)

耐震安全性の設計方針の妥当性を評価するに際して考慮すべき荷重の組合せについては、「7. 荷重の組合せと許容限界」に示すとおりであるが、荷重の組合せ方等についての解釈は以下による。

- ・ 「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」については、いずれも地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重について考察すればよいことを意味する。

また、「事故時に生じる荷重」であっても、その事故の発生事象が極めて稀であり、かつその事故事象が極めて短期に終結するものであれば、そのような事象によって発生する荷重までも地震力と組み合わせて考慮する必要はない。

上記にかかわらず、地震動によって引き起こされるおそれのない事象であっても、一たん事故が発生した場合は長時間事象が継続するものであれば、そのような事故事象によって発生する荷重は地震力と組み合わせて考慮しなければならない。

- ・ 建物・構築物の弾性設計用の動的地震力等との組合せに対する許容限界については「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」としたが、具体的には「建築基準法」等がこれに対応する。
- ・ 建物・構築物の基準地震動 S_s との組合せに対する項目中「終局耐力」

とは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が著しく増加する状態を構造物の終局状態と考え、この状態に至る限界の最大荷重負荷を意味する。

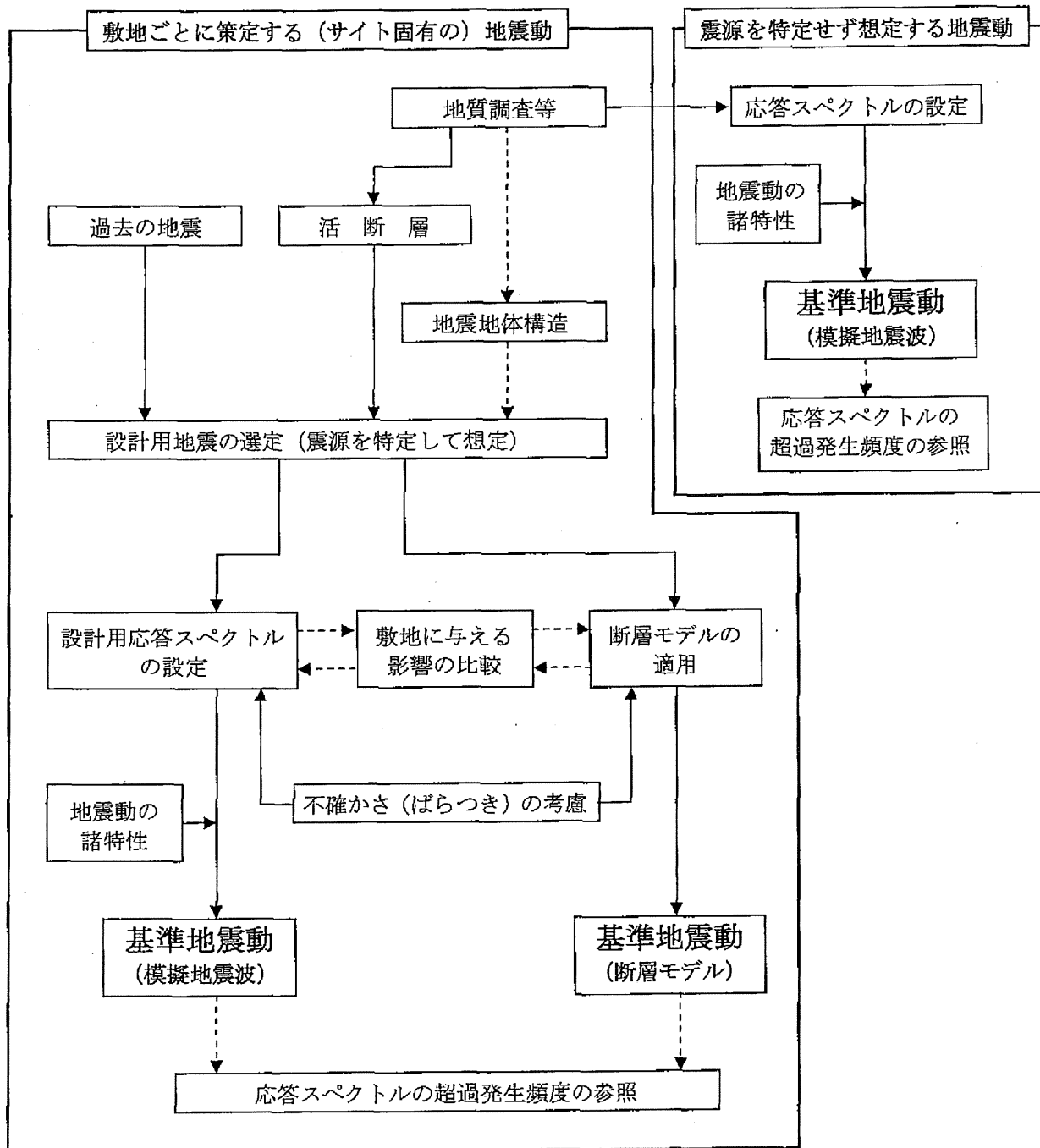
- ・ 機器・配管系の許容限界については、「発生する応力に対して降伏応力又はこれと同等な安全性」を有することを基本的な考え方としたが、具体的には、電気事業法に定める「発電用原子力設備に関する技術基準」等がこれに対応する。

- ・ 建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して、重要度に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認することとする。

8. その他（地震随伴事象に対する考慮等）

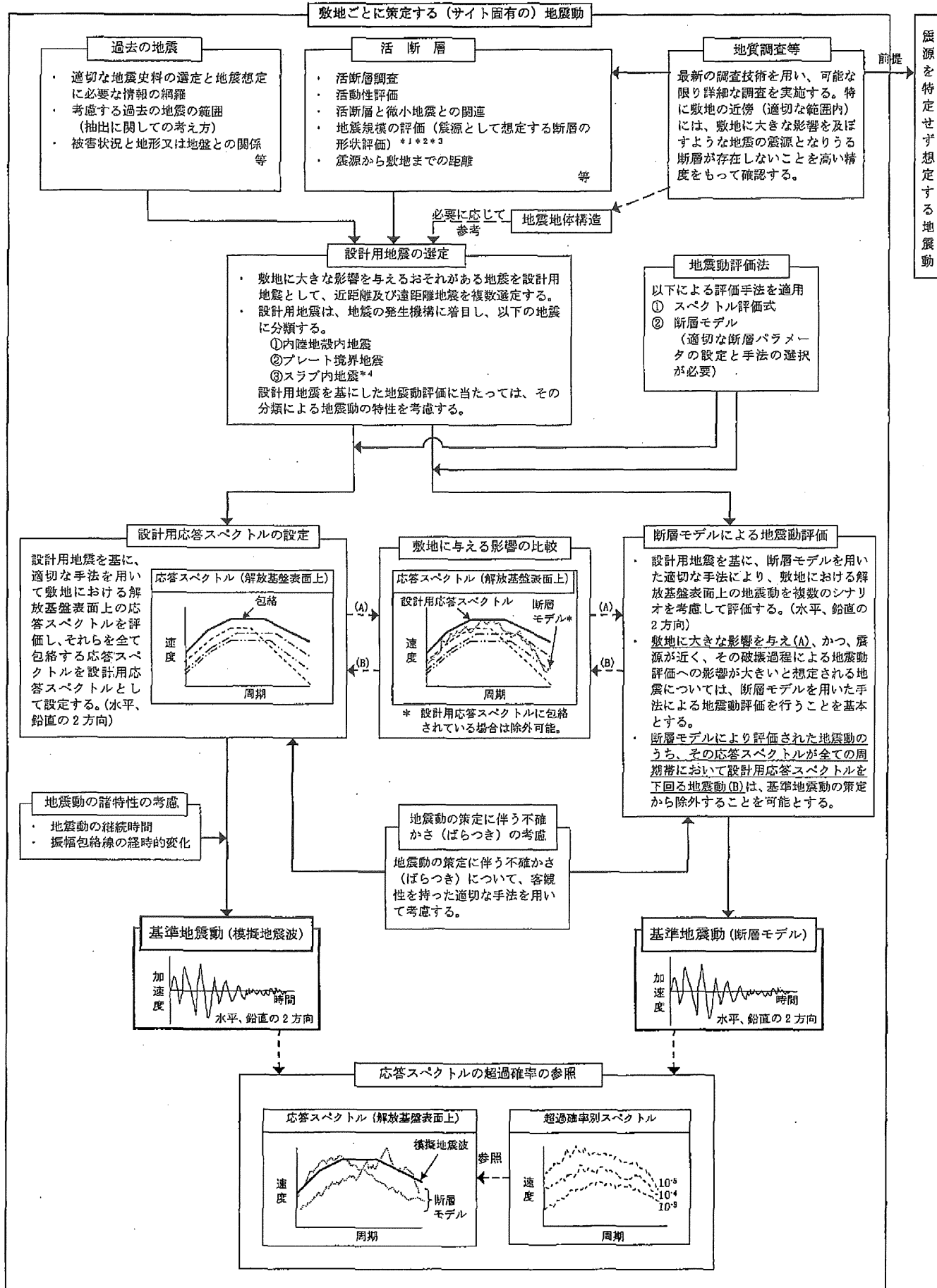
【必要に応じ別途検討】

基準地震動の策定についての全体概要フロー（案）



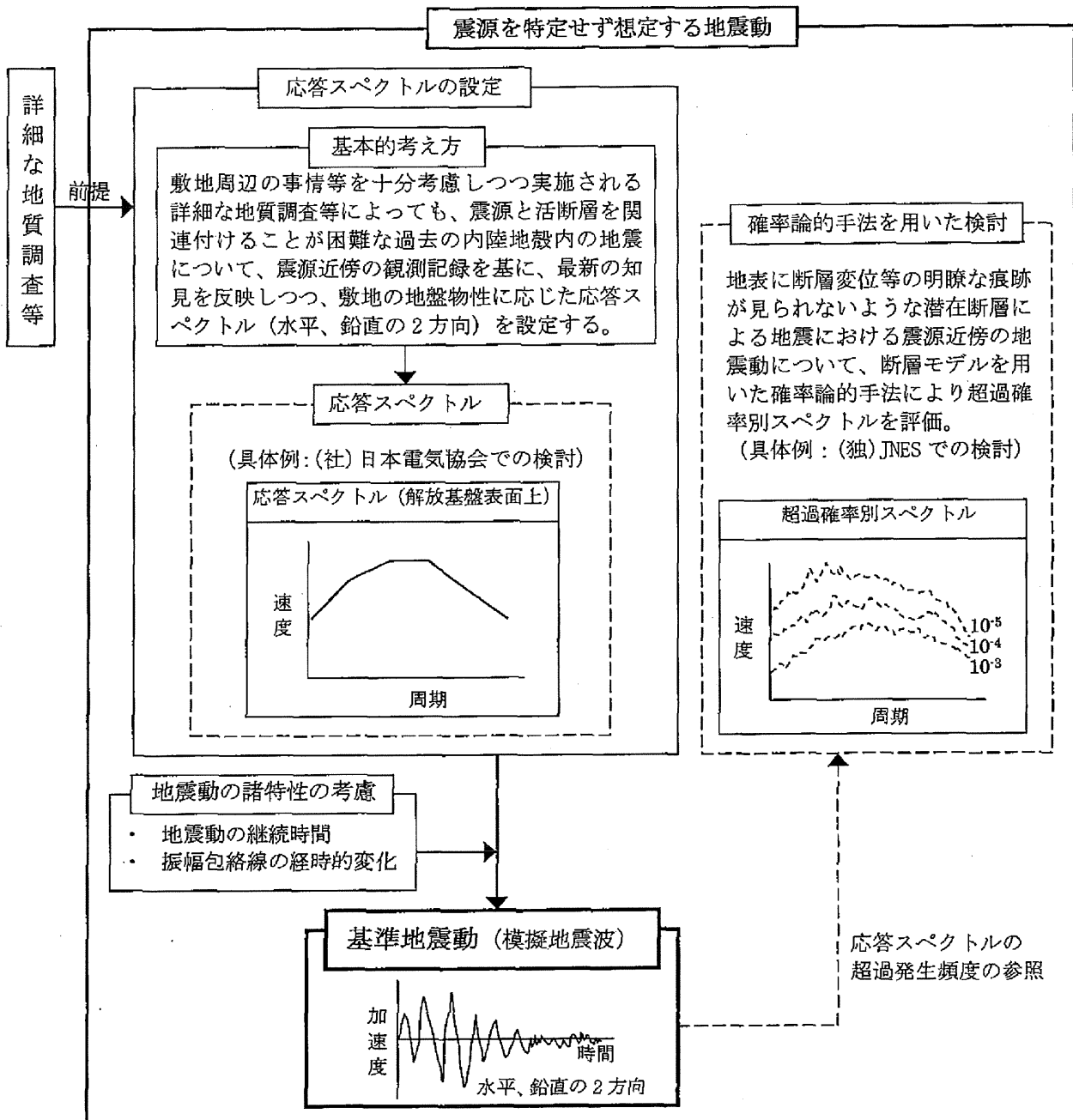
基準地震動の策定についての詳細フロー（案）：その1

～ 敷地ごとに策定する（サイト固有の）地震動 ～



基準地震動の策定についての詳細フロー（案）：その2

～ 震源を特定せず想定する地震動 ～



留意事項等

- *1 詳細な調査を実施しても、震源として想定する断層長さ（断層の形状）を評価する際に必要な情報が得られなかった場合には、敷地への影響が過小評価されることがないように、震源として想定する断層長さ（断層の形状）を保守的に評価する必要がある。
- *2 断層が不明瞭な地域における地震の想定に際しては、以下に留意する。
 - ① 適切かつ詳細な地形調査、地質調査、物理探査等を行い、地震が発生する可能性があるゾーンを特定する。
 - ② そこで将来発生する地震の規模の想定に当たっては、過去に起きた地震と活断層・地震断層との関係等、その地域の特性を十分調査・分析して得られた活断層データ等に基づき、適切な想定を行う。
- *3 震源として想定する断層の長さから地震規模を想定する際に経験式を適用する場合は、その経験式の特徴などを踏まえ、地震規模を過小評価することがないようにする。
- *4 設計用地震として選定されたスラブ内地震については、震源が特定できる地震として扱い、シナリオを想定して地震動を評価する。

