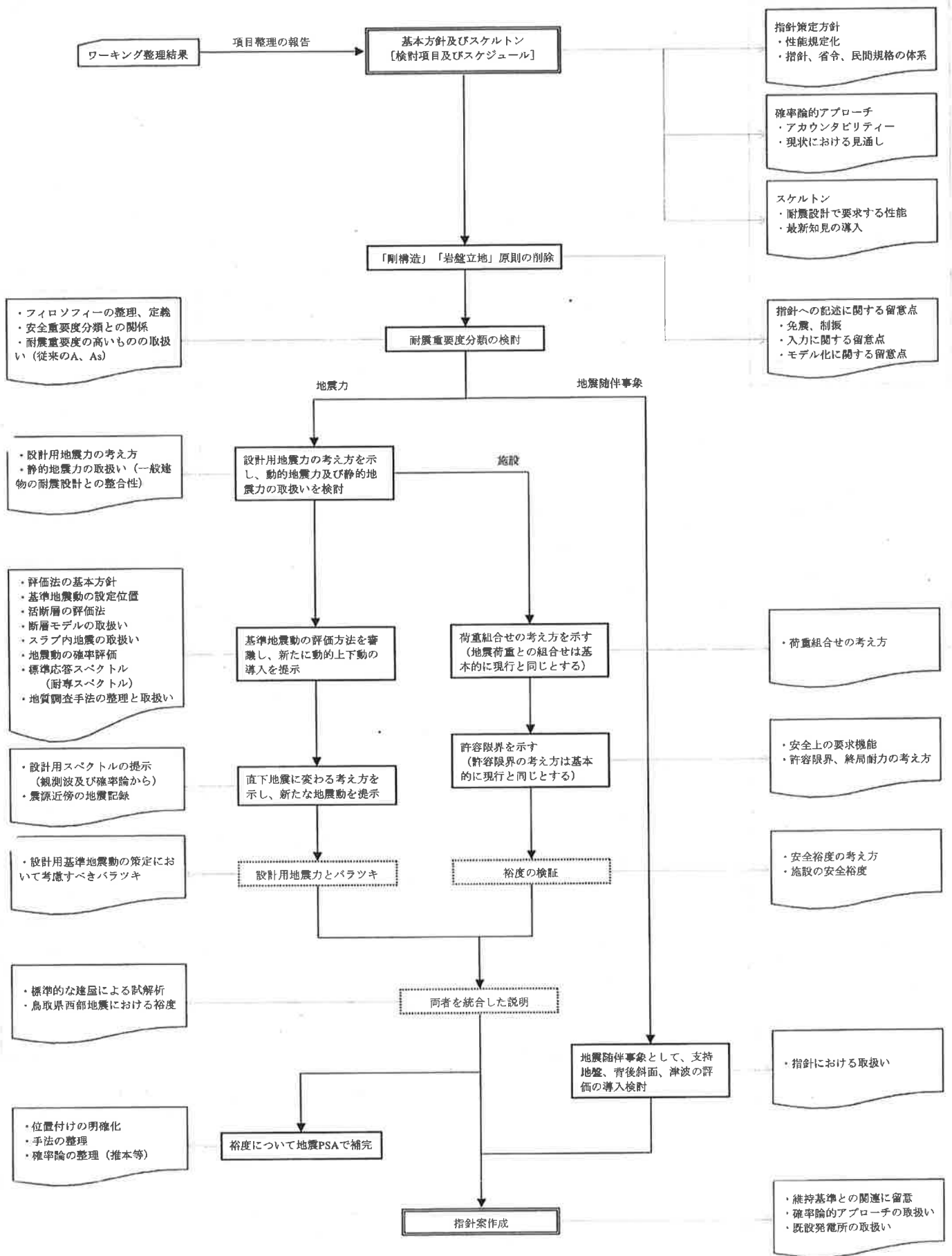


耐震設計審査指針の改定方針案 (素案)  
 (現行指針との対比)

耐震設計審査指針項目	現行指針の内容	改定方針案の内容	備考
1. はしがき			
2. 適用範囲			
3. 基本方針	①十分な耐震性 ②剛構造 ③岩盤立地	①十分な耐震性	・解析・設計レベル(免震・制振を含む)の向上。 ・非岩盤立地に係る技術の進歩。
4. 耐震設計上の重要度分類	(1) 機能上の分類 ①Aクラス(一部Asクラス) ②Bクラス ③Cクラス (2) クラス別施設 ①Aクラスの施設(一部Asクラスの施設) ②Bクラスの施設 ③Cクラスの施設	地震時の安全確保上の要求機能上の分類 Asクラスを対象とするカテゴリーとし、Asクラス以外のものはNonカテゴリーとする。	・地震時の安全確保上の要求機能により分類の定義を再整理する。また、施設別重要度分類を示すのではなく、地震時の安全確保のための要求機能を明確にする。 ・Asを除くAクラス(ECCS等)の取り扱いについて留意。
5. 耐震設計評価方法	(1) 方針 ①Aクラス : 設計用最強地震及び静的地震力 Asクラス : 設計用限界地震 ②Bクラス : 静的地震力 ③Cクラス : 静的地震力	(1) 方針 ①Asクラス 静的地震力 動的地震力(基準地震動S2相当)	・耐震安全上重要な設備は動的地震力(従前の「設計用限界地震」及び「直下地震」による基準地震動S <sub>2</sub> に相当)に対して安全機能が確保されることを要求する。
	(2) 地震力の算定法  ①設計用最強地震及び設計用限界地震による地震力 水平地震力(基準地震動の評価法による) 鉛直地震力(基準地震動の最大加速度振幅の1/2)  ②静的地震力 Aクラス: 3.0Ci + 震度0.3の鉛直地震力 Bクラス: 1.5Ci Cクラス: 1.0Ci	(2) 地震力の算定法  ①動的地震力 水平地震力(基準地震動の評価法による) 鉛直地震力(基準地震動の評価法による)  ②静的地震力 3.0Ci + 震度0.3の鉛直地震力	・動的地震力のうち鉛直地震力は、これまで蓄積された観測データ等に基づき適切に設定された上下地震動による。
	(3) 基準地震動の評価方法  基準地震動は、解放基盤表面における地震動に基づき評価。	(3) 基準地震動の評価法  基準地震動は、水平方向及び上下方向の地震動として、標準応答スペクトルまたは断層モデルによる地震動解析に基づき設定する。	・標準応答スペクトルの設定手法として耐専スペクトルが提案されている。 ・断層モデルによる地震動評価法を整理。

耐震設計審査指針項目	現行指針の内容	改定方針案の内容	備考
	<p>①基準地震動はS1及びS2の2種類の地震動</p> <p>(i) 基準地震動S1をもたらす地震 ・「過去の地震」 ・「活動度の高い活断層による地震」</p> <p>(ii) 基準地震動S2をもたらす地震 ・「活断層による地震」 ・「地震地体構造上の地震」</p> <p>②基準地震動S2には直下地震によるものを含む M 6.5、X 10 km</p> <p>③模擬地震波の評価条件 (i) 地震動の最大振幅 (ii) 地震動の周波数特性 (iii) 地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化</p>	<p>①基準地震動は1種類(従前のS2相当)の地震動</p> <p>(i) 震源を特定できる地震による地震動 a. 「過去の地震」 b. 「活断層による地震」 ・5万年以降活動した活断層による地震 c. 「地震地体構造上の地震」</p> <p>(ii) 「震源を予め特定できない地震」<sup>註</sup>による地震動 最低限考慮すべき地震動として応答スペクトルで定める。</p> <p>②模擬地震波の評価条件 同左</p>	<p>・活断層の評価法(松田式、5万年、活動度、セグメンテーション)</p> <p>・最新知見を反映した地震地体構造の評価方法を検討。</p> <p>・スラブ内地震の発生に関する地域性や規模等を検討。</p> <p>・過去の地震、活断層による地震、地震地体構造上の地震から想定される地震動について確率論的見地から検討。</p> <p>・震源を予め特定できないとされる地震による震源近傍の地震動の観測記録に基づき設定。</p> <p>・地震動について確率論的見地から検討。</p> <p>注) 「震源を予め特定できない地震」とは、陸域のプレート内で発生する地震のうち地表に痕跡を残さない地震。</p>
6. 荷重の組合せと許容限界	<p>(1) 建物・構築物</p> <p>①Asクラス 「S1/静的地震力」－「許容応力度」 「S2」－「終局耐力に対し妥当な安全余裕」</p> <p>②Aクラス 「S1/静的地震力」－「許容応力度」</p> <p>③B、Cクラス 「静的地震力」－「許容応力度」</p>	<p>(1) 建物・構築物</p> <p>①Asクラス 「静的地震力」－「許容応力度」 「S2」－「終局耐力に対し妥当な安全余裕」</p>	
	<p>(2) 機器・配管</p> <p>①Asクラス 「S1/静的地震力/事故時等荷重」－「降伏応力」 「S2/事故時等荷重」－「機能維持」</p> <p>②Aクラス 「S1/静的地震力/事故時等荷重」－「降伏応力」</p> <p>③B、Cクラス 「静的地震力/過渡変化時等荷重」－「降伏応力」</p>	<p>(2) 機器・配管</p> <p>①Asクラス 「静的地震力/事故時等荷重」－「降伏応力」 「S2/事故時等荷重」－「機能維持」 「S2地震動」－「動的機器の安全機能維持」</p>	
地震随件事象(新規追加項目)			<p>・新規追加項目として次項について検討 支持地盤の安定性評価 背後斜面の安定性評価 津波に対する安全性評価</p>



審議の手順

平成 15 年 9 月 3 日

## 指針検討に係わる実質的課題と見解

### 項 目

1. 岩盤立地を要求事項としないこと
2. 地震時の安全確保
3. 安全上の要求事項
4. 耐震重要度分類の検討
5. 耐震重要度分類と安全重要度分類の関係
6. 設計用地震力の考え方
7. 活断層の評価期間
8. 活断層のセグメンテーション
9. 地質調査の高度化
10. 松田式(1975)の妥当性
11. 地震地体構造上想定する地震の想定方法
12. スラブ内地震の考慮の仕方
13. 位相特性の考え方
14. 地震動の不確定性への配慮
15. 震源を事前に特定できない地震の考え方
16. 静的地震力の取り扱い
17. 荷重の組合せの考え方
18. 許容限界、終局耐力の考え方

課 題	岩盤立地を要求事項としないこと
議論の要点	<p>岩盤は、一般的に重量構造物を支持するのに十分な耐力。          岩盤における地震動特性は比較的、解明容易。          原子炉施設の第四紀層地盤立地に関する研究が進展。</p>
見 解	<p>原子力発電所の立地多様化を目的として実施された「高耐震構造立地技術確証試験 第四紀層地盤立地技術方式に関する調査 (NUPEC)」、「原子力発電所の立地多様化技術 (土木学会)」により一定の条件を満たす第四紀洪積層の密な砂・れき・堆積層であれば第四紀層地盤立地は十分成立性があると判断。          地震動の評価技術も岩盤から第四紀層地盤への増幅を考慮した解析を実施することで評価可能。</p>
今後の検討方向	<p>従来、岩盤支持に求められていた地震時の支持力、滑り、沈下に対する安全機能を整理し、同機能を要求する。</p>
参 考	<p>「再処理施設安全審査指針」、「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」には岩盤立地は要求されていない。</p>

課題	地震時の安全確保
議論の要点	地震時の安全確保をどうとらえるか
見解	<p>原子炉施設の安全確保の目的は、放射性物質に係る放射線障害の潜在的危険性を顕在化させないことである。地震時には限界的な地震動に対し周辺公衆に過大な被ばくがないようにすることが原則であり、地震に起因する事象に対し被ばく評価することも考えられる。しかしながら地震によって周辺公衆に過大な被ばくが生じるような大きな事故に至らないように設計することが現時点での方策と考えられる。</p> <p>この場合①大きな事故とは何か、②原子炉規制法で災害防止上支障無いといっているのはどのようなレベルなのか③審査指針ではどのレベルで守るのかを明確にする必要がある。</p> <p>(案1)</p> <p>原子炉施設の安全確保の観点から、限界的な地震動に対して果たすべき機能を災害防止上もっとも緊要なものとしてクラスとし、それ以外の機能をノンクラスと規定する。</p> <p>(案2)</p> <p>炉規制法上の設置許可条件のひとつである「原子炉による災害防止上支障のないこと」を直接的に評価する「地震時安全評価基準」、及び、ある一定レベルの安全性を確実に担保することを目的とし「地震時安全設計基準」を規定する。</p>
今後の検討方向	①大きな事故とは何か、②原子炉規制法で災害防止上支障無いといっているのはどのようなレベルなのか③審査指針ではどのレベルで守るのかを安全委員会に明確にしよう。
参考	

課題	安全上の要求機能
議論の要点	地震時の安全確保で要求する機能の明確化
見解	<p>安全上の機能要求は、安全重要度分類指針に示されているPS, MSで区分されている個々の機能と解釈できる。一方、対象が地震力といういわゆる荷重であることから、個々の系統設備がそれに耐えうると言う設計体系を前提とし構成されている。両者の関連づけを整理するには、地震を受けた場合に安全機能が何によって担保されているかを考察する。</p> <p>1) 異常発生防止系 (PS) の耐震設計の考え方</p> <p>PSには、放射線物質を内包する原子炉冷却材圧力バウンダリ、放射性廃棄物貯蔵施設に代表されるような「閉じこめ」が要求されるもの、非常用以外のプラント運転の補助的役割を有する施設が分類される。これらには、容器・配管のような静止型設備と通常運転時に開であって地震時に閉動作が要求され原子炉冷却材圧力バウンダリ機能の一部を果たす隔離弁が存在し、地震時には構造強度面で健全であると共に、隔離弁については作動性能の確保が要求される。したがって、耐震設計では、地震時の構造強度の確認と共に、動作機能が要求される設備には作動機能の確認、電気品に対しては電氣的機能維持の確認を行う方策を採り、安全機能を確保している。</p> <p>2) 異常状態緩和系 (MS) の耐震設計の考え方</p> <p>MSには、非常時の緊急停止、冷却、隔離といった地震時に作動が要求される設備と、作動要求はないものの放射性物質の放出防止、異常状態の監視・緩和する役割を有する設備が分類される。これらの設備は、地震時に構造強度面で健全であると共に、作動性能の確保が要求される。したがって、耐震設計では、地震時の構造強度の確認と共に、動作機能が要求される設備には作動機能の確認、電気品に対しては電氣的機能維持の確認を行う方策を採り、安全機能を確保している。</p>
今後の検討方向	審査指針に記載すべき地震時の安全確保で要求する機能を明確にする。
参考	

課題	耐震重要度分類の検討
議論の要点	地震時の安全確保の考え方に立脚した耐震重要度分類の考え方の整理
見解	<p>(案1)</p> <p>限界的な地震動に対して機能維持すべき特に重要な安全機能を有する施設をクラスとする(従来のAsクラス。また、それ以外の施設をノンクラスとし、民間規定の中で従来のA, B, Cに区分する。A, B, Cの各施設に対応する地震力も民間規定とする。</p> <p>(案2)</p> <p>安全重要度分類指針の考え方にに基づき、共通要因事象である地震の特性を考慮してA, B, Cに区分する。また、別に安全評価用地震動に対して機能維持させる特に緊要な安全機能を規定する。</p> <p>ここで、緊要な安全機能とは、以下とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却材圧力バウンダリー機能</li> <li>・地震発生時に緊急かつ安全に原子炉を停止させ維持する機能</li> <li>・原子炉停止後の最終除熱機能</li> <li>・原子炉格納容器バウンダリー機能</li> <li>・使用済燃料の大量かつ著しい損傷を防止する機能</li> </ul>
今後の検討方向	指針に記載すべき地震時の安全機能と耐震重要度分類の定義を検討する。具体的な耐震重要度の検討はJEAGにて行う。
参考	



課題	耐震重要度分類と安全重要度分類との関係
議論の要点	安全重要度分類を基本とした、耐震設計上の重要度分類を再検討
見解	<p>安全重要度分類と耐震重要度分類の対応関係を比較検討した。その結果、安全重要度分類に対し、実設計に導入している耐震クラス設定及びクラス別設計地震力は、対象設備に要求される他の機能にも配慮し同格若しくはそれ以上のグレードが設定されており、地震時の安全性を確保する観点からは両分類の整合は問題無いと判断できる。従って、安全重要度分類と耐震重要度分類は、その目的、特性上の相違があっても、特に地震時の安全性を損なうような設計となる可能性はなく、現行の耐震重要度分類は、共通要因として生じる地震時の安全性を確保する上で、有効であると判断される。</p>
今後の検討方向	安全上の機能に着目し安全重要度分類から共通要因事象を考慮した耐震重要度分類を検討する。詳細は JEAG にて検討する。
参考	

課題	設計用地震力の考え方
議論の要点	指針で規定する地震力の位置付け
見解	<p>(案1) 理学をベースに工学的見地からこれ以上の地震動は生じないと考えることが適切な一つの限界的な地震動を規定する。</p> <p>(案2) 炉規制法上の要件を満足していることを直接的に評価する「地震時安全評価用基準」に基づく安全評価用地震力を考慮する。また、可能な限りリスクを抑えよとの観点から、ある一定レベルの安全性を確実に担保することを目的とした「地震時安全設計基準」に基づく安全設計用地震力を考慮する。</p> <p>上記いずれの場合にも、各々上下地震動による鉛直地震力を考慮する。</p>
今後の検討方向	地震時の安全確保の論議から案を絞り込む
参考	

課 題	活断層の評価期間
議論の要点	指針制定後、多数のトレンチ調査等が実施され活断層に関する知見が集積。S1 については、設計用地震の位置付け、重要度分類との関係で要検討。
見 解	<p>国内の多数のトレンチ調査結果によっても、再来期間が5万年を超える活断層は存在しないことから、S2として考慮する活断層の評価期間を5万年としていることは妥当と判断。</p> <p>同トレンチ調査結果から、S1として考慮する活断層～S2として考慮する活断層の区分（1万年、活動度A級）について、厳密に境界を設定することは困難であっても、工学的には妥当と判断。</p> <p>これらについて、トレンチ調査結果に基づく活断層の再来期間の分布状況等を考慮した確率的検討によっても妥当であることを確認。</p>
今後の検討方向	5万年について変更する必要はないと認識。S1（A級、1万年）については、指針での設計用地震動に関する記述方針にもよるが、指針では規定せずJEAGに移行する案もある。
参 考	

課 題	活断層のセグメンテーション
議論の要点	<p>活断層の連続については、「明確な証拠がない場合には安全側に考慮」とのポジション</p> <p>地震研究推進本部等の評価結果は原子力の評価を超える場合もあり、原子力の評価の妥当性を問われるケースがある。</p>
見 解	<p>断層の連続に関する評価は、断層の形態、性状などに関するデータの質・量に応じて合理的に検討されるべき。</p> <p>具体的には、断層の屈曲、分岐などの幾何学的要素、変位センス、変位速度などの地質構造的要素、古地震の破壊区間、活動間隔、最新活動時からの経過時間などの活動履歴に関する要素などによる評価が可能（土木学会新立地部会断層活動性分科会でとりまとめを実施：下記参照）。</p> <p>地震研究推進本部などによる検討結果についても、活断層としての定義の違い、ベースとなるデータの質、量などを吟味した上で、原子力として判断するべき。</p>
今後の検討方向	<p>セグメンテーションのルールを一般化することは困難であり、原則として個別断層（群）毎に評価。</p>
参 考	<p>平成 10 年度～平成 14 年度にかけて、土木学会新立地部会断層活動性分科会では糸魚川～静岡構造線をケーススタディとして、断層のセグメンテーションの考え方のとりまとめを実施。同成果は土木学会報告書として平成 15 年下期出版予定。</p>

課 題	地質調査の高度化
議論の要点	地質調査範囲の妥当性 鳥取県西部地震を踏まえた地質調査
見 解	最低限考慮する地震動を考慮すれば、30km 範囲については、現行の JEAG 規定内容で問題はないと認識。 地震動に大きく影響を与える可能性のある敷地近傍については、鳥取県西部地震並の調査を実施。
今後の検討方向	
参 考	

課 題	松田式(1975)の妥当性
議論の要点	松田式(1975)は古い M-L 関係式の最近の知見である、松田式(1998)、武村(1998)、Wells and Coppersmith(1994)との関係
見 解	<p>松田式(1975)は、測地学的なデータも活用して活断層長さLを決めているため、その活断層長さLは震源断層に対応すると考えられる。</p> <p>松田式(1975)は、武村(1998)、Wells and Coppersmith(1994)における同様な関係式との比較検討を実施した結果、日本国内あるいは世界中の地殻内地震に基づき導き出されている震源断層の長さとの関係と良く整合している。</p> <p>一方、最近の知見である松田式(1998)は、1回の地震で地表に表れる地震断層の長さとの関係を求めて折り、両者で断層長さの評価は異なっている。</p> <p>現行の地質調査法に従って評価された活断層は、地下の震源断層が繰り返し活動した結果を地表から確認しているもので、震源断層に対応する。よって、第一義的にLからMを求める場合は、松田式(1975)で支障ないと判断。</p>
今後の検討方向	地表地震断層と地殻内の震源断層との関連や、地表に断層が現れるメカニズムの解明や、過去の地震と活断層との関連について検討する必要がある。
参 考	活断層が敷地に近い場合は、別途、断層モデルによる地震動評価等の検討が必要。

課 題	地震地体構造上想定する地震の想定方法
議論の要点	<p>地震地体構造という概念が現在の地震学的に受け入れられるか  設計用地震を想定する上で想定される最大地震規模と発生位置に関する知見は重要  基準地震動を策定するにあたって地震地体構造をどのように評価するべきか。</p>
見 解	<p>① 現行指針では、地震地体構造上考慮する地震の上限規模を想定する際に、地震地体構造マップを参照するだけでなく、その元データである過去の地震、活断層に遡って検討が行われ、また、最新知見も適宜考慮している。</p> <p>② 地震地体構造の地震学上の位置づけはともかく、設計用地震を想定する上で想定される最大地震規模と発生位置に関する知見は重要</p> <p>③ 地震地体構造の今後の扱いについては、設計用地震動の設定における「震源を特定できる地震」の位置や規模の想定を、「過去の地震」および「活断層による地震」に基づき行う際に、関連知見の不足やデータベースの不十分さを補うために参照する関連研究成果の一つとして位置づけ</p>
今後の検討方向	<p>現行指針に基づく地震地体構造の評価では、「表マップ(1980)」が多く用いられているが、その後のより細分化された「萩原マップ(1991)」および「垣見マップ(1994)」、「垣見マップ(2003)」との上限規模の比較からみても矛盾はない。よって、新しい「垣見マップ」も、基準地震動の策定に使用。</p>
参 考	

課 題	スラブ内地震の考慮の仕方
議論の要点	地震発生機構別（プレート境界地震、内陸地震、スラブ内地震等）による地震動評価手法が確立していないが、スラブ内地震を基準地震動を策定するにあたってどのように評価するべきか。
見 解	スラブ内地震は地域性を示すため、サイト毎に観測記録等をもとにした評価を行う。
今後の検討方向	耐専スペクトルに深さのパラメータ等を追加するなどしてスラブ内地震の評価方法を検討。また、長期的には、スラブ内地震の地域性、伝播経路の影響、地震発生（ダウンディップコンプレッション、ダウンディップエクステンション）等を考慮して地震動を評価できるよう検討。
参 考	



課 題	位相特性の考え方
議論の要点	基準地震動の策定にあたり、位相特性を考慮するべきではないか。
見 解	<p>原子力施設は、厚い生体遮へい壁など有するため剛性が高く、実質的に弾性応答をする。弾性応答では、地震動強さは応答スペクトルに一对一で比例する。よって、基準地震動は設計用応答スペクトルのレベルを満足することが重要であり、位相による影響は小さい。</p> <p>なお、断層モデルによる地震動評価を実施した場合は、震源の特性を含んでいることから、位相特性を別途考慮する必要はなく、計算された地震動をそのまま用いることが可能。</p>
今後の検討方向	今後、岩盤立地によらない第四紀層立地や、免震構造を導入する場合には、弾塑性応答になることが予測されるため、位相特性を考慮した基準地震動について検討する必要がある。
参 考	

課 題	地震動の不確定性への配慮
議論の要点	<p>自然現象である地震動には不確定性が伴う            不確定性を保守的に考慮すると設計用地震動を超えることがありうる            設計では種々の耐震安全余裕が見込まれている</p>
見 解	<p>① 設計用地震動の選定に当たって諸元を厳しめに設定            敷地に影響のある過去の地震を選定し、被害記録を基に異論のある場合も考慮して諸元を設定            活断層長さの評価に当たって着実な地質学的証拠が得られない場合は保守的につなげて評価            地震調査から敷地で起きる可能性が低い地震も考慮し、更に無条件に直下地震を考慮</p> <p>② 地震動の策定に当たってバラツキに配慮            敷地で考慮する地震の地震動強さを全てカバーするように設計用地震動を策定、大崎スペクトルはバラツキにも配慮した設計用スペクトル</p> <p>③ 地震応答解析、許容値等の保守性            地震応答解析モデルは実現象に対して概ね安全側であることを確認して設定し、床応答スペクトルを周期領域に1割拡幅して使用            許容値も試験値に対して使用状態を考慮し安全側に設定</p> <p>④ 地震 PSA によっても CDF は低い            代表炉の評価結果から <math>10^{-4}</math> / 炉年以下である。</p>
今後の検討方向	<p>耐震試験データの充実            限界状態設計法の原子力施設への適用            確率評価モデルの精緻化</p>
参 考	<p>電気協会 原子力発電耐震設計特別調査委員会にて原子力施設の総合耐震安全性を検討したところ、現状の設計を実施することにより中央値で少なくとも約2倍の余裕を確認</p>

課 題	震源を事前に特定できない地震の考え方
議論の要点	現行指針による直下地震の設定は間違っていたのか 震源を事前に特定できる地震と特定できない地震の区別
見 解	<p>① 原子炉設置の際には詳細な地震調査が実施され、同調査によって震源を特定できる地震は耐震設計上考慮される。</p> <p>② 現行指針による直下地震の位置づけについては、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987 日本電気協会）に「直下地震は、原子炉施設の耐震設計条件の一つとして、実際に起きる地震との関連よりも、むしろごく近傍である程度の規模の地震が発生したと仮定しても安全性が保てるように耐震設計を行っておくべきであるとの観点から設定されている。」とある。</p> <p>③ ②から、現行の直下地震は、耐震設計上の歯止めの地震動を与えるため M6.5 の地震を仮想したものと理解できる。</p> <p>④ 今回、「震源を事前に特定できない地震の地震動」は、上記の考え方を発展させ、原子力施設の建設に当たって敷地周辺において実施される詳細な調査によっても震源を事前に特定できない地震に対して、震源近傍で得られた複数の観測記録のほぼ上限レベルを与えた地震動強さとしている。</p> <p>⑤ これは仮想の地震から地震動を与えるのではなく、耐震設計上の最低規定を意図して地震動強さを直接設定したもの。</p> <p>⑥ したがって、現行指針の考え方を踏まえ、最新の知見を取り入れ、発展させた高度化である。</p> <p>⑦ ここでいう「震源を事前に特定できない地震」は原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987 日本電気協会）等によって敷地周辺で実施される詳細な地質調査によっても震源と活断層を関連づけることが困難な内陸地殻内地震である。</p>
今後の検討方向	評価地点毎に地震発生様式などの地震学的知見に基づく評価の実施
参 考	<p>地震調査研究推進本部（2002）は「震源を予め特定しにくい地震（地表に痕跡を残さない地震）」を以下のように定義している。</p> <p>グループ3：海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する地震の内大地震以外の地震</p> <p>グループ4：沈み込むプレート内の地震</p> <p>グループ5：陸域のプレート内で発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震</p> <p>ここでいう「震源を事前に特定できない地震」はグループ5に属する。</p>

課題	静的地震力の取扱い（一般建物の耐震設計との整合性）
議論の要点	静的地震力を適用することの可否
見解	<p>最低規定としての地震力を与えるものとして静的地震力を用いる。</p> <p>また、地震被害との関連が明確な従来の静的地震力を、耐震設計の簡便性、建築基準法での取扱い*を考慮し、継続して適用する。</p> <p>耐震重要度分類に応じた係数及び必要保有水平耐力については従来との連続性を考慮して同じとする。</p> <p>*：建築基準法改定において、設計者が構造設計方法を選択できるようになったが、現行の層せん断力による1次設計も認めている。</p>
今後の検討方向	静的地震力を用いることを審査指針に記載する。
参考	

課題	荷重の組合せの考え方
議論の要点	地震荷重と組み合わせる事象の整理
見解	<p>地震荷重との組合せの基本的な考え方は以下のように基本的に現行と同じ。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 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地震荷重を組合せ、それらの組合せ荷重によって施設に発生する応力や変形等の評価を行う。</li> <li>2) 地震の従属事象として、地震とそれによって引き起こされるプラント状態との同時性を考慮する。また、地震とは独立な事象として、地震の発生いかにかわらず生ずる荷重と地震荷重との同時性についてはそれらの事象の発生頻度、当該事象による荷重の継続時間及び継時的変化を考慮して確率的に判断する。なお、他の荷重の組合せで代表できる場合は当該荷重との組合せ評価を省略することができる。</li> </ol>
今後の検討方向	上記基本的な考え方を審査指針に記載し、具体的な荷重の組合せはJEAGにて行う。
参考	

課題	許容限界、終局耐力の考え方
議論の要点	許容限界の考え方は基本的に現行と同じ
見解	<p>現行審査指針の考え方を踏襲し以下を基本とする。</p> <p>1) 建物・構築物、系統及び機器に要求される安全機能の性質は多様であるので、設計上の制限は、その安全機能の性質に応じた合理的なもの（応力・応力度、歪、変形など）を用いる。</p> <p>2) 動的安全機能の評価は、原則として試験・実験に基づく評価法を用いるものとする。</p>
今後の検討方向	<p>一部の設備についてはより合理的な条件での設計評価が可能となるよう研究が進行中であることから、これらの成果も取り入れられるような形で性能規定化されることが適当であると考えられる。</p> <p>許容限界の詳細は JEAG にて検討を行う。</p>
参考	

### 4.3.6 設計震度と地震動の最大加速度との関係

新しい震度の概念ではないが、現行の設計震度が観測加速度あるいは距離減衰式から推定される加速度とどのような関係にあるかに関する検討も行われている。港湾施設に対して、野田ら<sup>19)</sup>は13個の地震に対して45地点の港湾における重力式岸壁の被害に基づいて現行耐震計算法から被害を起こす震度を推定し、距離減衰式から地表面加速度を推定して両者の関係を定式化した。これによると、地盤加速度が極く小さい範囲では地盤加速度と震度はほぼ一対一の対応がありそうであるが、地盤加速度が100gal付近を超えると震度は加速度に対して非常に緩やかにしか増加しないため被害を起こすはずの震度は地盤加速度と比べ非常に小さい値となると言える。

渡邊ら<sup>20)</sup>は種々の卓越周期をもつ549個の地震動記録の5%の減衰定数に対する加速度応答スペクトル倍率の各最大値をその卓越周期に対してプロットした。その結果、定常応答倍率が10であるのに対して加速度応答スペクトル倍率の上限が5~6にしかならないことが明らかになった。佐野震度の定義には、変位正弦波の2階微分係数の振幅とする記述があり、震度法が静的荷重を想定することは定常正弦波を加えることとも解釈でき、震度はその振幅あるいは実効値と考えることもできる。このような解釈が成立するとした場合、地震動記録の加速度応答倍率が定常正弦波の加速度倍率と等価となるためには、加速度記録の最大値は1.7~2.0倍なければならないことになる。したがって、震度は地震動の最大加速度の50~60%に相当すると考えることができる。実効値をとれば35~45%とさらに小さくなる。ただしこの値は減衰定数に依存することに留意する必要がある。

伯野ら<sup>21)</sup>は標準的な震度0.2が構造物の靱性を考慮した場合、どの程度の地震動最大加速度に相当するかを検討した。3種類のマルチリニア復元

力をもつ1自由度振動系に0.2gすなわち196cm/sec<sup>2</sup>の加速度を静的に与えた時の変位を求めておき、次いで、多種類の人工地震波や観測加速度記録に対するこの振動系の応答変位量を計算して、これらが静的に求めた変位量と一致する時の加速度波の最大値を求めた。その結果、靱性がほとんどない場合を除いて標準的な震度に相当する加速度の2.9~7.5倍の大きさになることを示した。前述した等価震度もフィルダムや土構造物においては応答最大加速度よりかなり小さい値となることはもちろんである。前述した地中震度も2番目の方法においては最大応答加速度より大幅に小さくなる。

以上述べてきたことをまとめると、現行の設計震度の成立過程を概観することにより耐震設計において最重要である設計震度の工学的意義が明らかになったこと、新しい概念による震度はその値に比べてかなり大きな応答加速度に相当すること、また、古典的な震度も種々の観点からの検討によっても、いずれも、かなり大きな地震動加速度に相当すること、等と結論できる。

#### 【参考文献】

- 1) 那須信治：耐震研究略史，JSEEP，NEWS No.83，pp.21-31，1985。
- 2) 村松貞次郎：耐震構造法の歴史，建築雑誌，Vol.75，No.885，pp.319-322，1960。
- 3) Atsumasa Okada：Neo-Dani Fault，Active Fault Research，No.4，Earthquake Research Institute，University of Tokyo，pp.71-90。
- 4) 竹山謙三郎：高さ100尺制限と震度0.1はどうして決まったか，前掲2)，pp.323-324。
- 5) 物部長穂：貯水用重力堰堤の特性並に其の合理的設計法，土木学会誌，11巻5号，1925。
- 6) 松村孫治：地震動による土堰堤の変形，土木試験所報告，No.28，1934。
- 7) Newmark，N.M.：Effects of earthquakes on

## 設計用基準地震動策定に係る確率論的手法の導入について (案)

### 1. まえがき

本資料は、国内外の確率論的設計手法の動向と我が国の発電用原子炉施設を対象にした確率論的設計手法に係る調査・検討状況について展望したのち、我が国の発電用原子炉施設の耐震設計において採用すべき確率論的設計手法について考察し、克服すべき課題等について整理の上、設計用基準地震動の策定に係る確率論的手法の導入の見通しについてまとめたものである。

### 2. 海外における確率論的設計手法の事例

#### (1) IAEA Nuclear Safety Standards Series

IAEA のメンバー国を対象に、個々の国が設計体系を構築する場合の標準的な設計法を示している。決定論的手法も併記されているが、確率論的手法に関連した記載を以下に示す。

- ・ DS 305(委員会審議中): **Safety Requirements – Site Evaluation** (安全要求－立地評価) は、地震ハザードは確率論的アプローチにより検討することを推奨し、地震ハザード評価に基づき設計用地震動を設定することが述べられている。
- ・ DS 302(発行済): **Seismic Hazard Evaluation for Nuclear Power Plants** (原子力発電所における地震ハザード評価) は、設計用地震動 SL2 及び SL1 のレベルとして、それぞれ  $10^{-3}$  ~  $10^{-4}$  及び  $10^{-2}$  の年超過頻度の地震動に相当するとの例を挙げている。

#### (2) 米国の立地基準の改定

米国 NRC は 1996 年 12 月に立地基準を改定した。この中で、安全停止地震動 SSE<sup>注1</sup> の評価方法が規制指針 RG1.165 にまとめられた。

この手法の策定の背景としては、ロッキー山脈以東の歴史地震データや活断層データの少ない地域において、決定論的手法による設計用地震の設定を国民に合理的に理解してもらうことは難しいと判断し提案されたものである。適用地域としては、ロッキー山脈以東はもとより以西にも適用できるとしているが、関連データが十分整備されている地域の場合には、他の手法を用いても良いとされている。

注1 地質学、地震学的検討及び地盤特性等を踏まえ、潜在的に起こるかもしれないと考えられる最大の地震動。1997年の改訂前は、原子炉施設の供用期間中に起こると予期すべき最大の地震として設定されていた。なお、安全停止用地震動 SSE 以外に、発電所の運転継続を判断するための地震動として運転基準地震動 OBE がある。



同手法は、地震ハザード評価を実施し、参照確率( $10^{-5}$ /年)<sup>注2</sup>における寄与地震の平均マグニチュード  $M$  と平均震央距離  $X$  を算出し、( $M$ 、 $X$ )に対する応答スペクトルを設計用地震動 SSE の策定に使用する、というものである。また、耐震設計要求は、耐震カテゴリー設備が SSE に対し所要の機能を維持することを求めている。

### (3) ISO

#### (原子力)

ISOの Nuclear power plants-Design against seismic hazards (原子力プラントの耐震設計) では、地震ハザード評価を実施し、プラント寿命中の超過頻度が受容できる程度に低い頻度の地震動のレベルおよびスペクトルを決定することとしている。また、これを実施する際には、地震記録が十分にあり地震発生の確率モデルが作成できることが必要であるとしている。

#### (原子力以外)

Bases for design of structures-Seismic actions for designing geotechnical works (ISO/WD23469 1<sup>st</sup> draft) —構造物の設計の基本—地盤基礎構造物への地震作用—

これは第1ドラフトであり、2005年6月の公開にむけ作業が進められている。

以下に「要求性能」と「基準地震動」について述べる。

- ・ 要求性能は、使用限界状態（使用性が確保される限界の変位で定義され、地震時及び地震後の使用性を満足する限界）と安全限界状態（終局限界状態で定義され、地震時及び地震後の安全性を満足する限界）に大別される。
- ・ 基準地震動は、2つの要求性能に対し、使用性照査用地震動（対象構造物の供用期間に発生するであろう地震動）と安全性照査用地震動（発生する確率は低い非常に大きな強度を持つ地震動）に大別される。これらの地震動については、決定論的地震ハザード解析、又は確率論的地震ハザード解析によって求める方法が併記されている。

決定論的地震ハザード解析では、震源位置、断層規模、メカニズム等の地震シナリオを選定した上で、そのような地震が発生した場合の地震動を評価する。この解析では、地震の発生確率を考慮しないが、地震発生確率以外のパラメータ設定に係わる不確実さについては適宜考慮することが示されている。

---

注2 米国中東部で稼働している発電用原子炉施設の50%が、このレベル以下の安全停止地震動 SSE の年超過確率を持つように求められた数値 (SSE の年超過確率の中央値)。

これに対し、確率論的地震ハザード解析は、構造物の供用期間中の発生確率を設定し、その発生確率に対応した地震動を評価するもので不確実性は一連の手順の中で考慮されている。

このほか、次のものがある。

- ISO 2394 :1998, General principles on reliability for structures  
構造物の信頼性に関する一般原則
- ISO 3010 : 2001, Bases for design of structures-seismic actions on structure  
構造物の設計の基本—構造物への地震作用
- ICC Performance Code for Buildings and Facilities (ICC, 2000)  
建築物と設備のための ICC 性能コード

### 3. 我が国における確率論的設計手法の例

1996年、我が国はWTO/TBT協定に加盟し、調達に係る基準類のあり方として「仕様規定に基づく規定ではなく、性能に基づく規定」というコンセプトに同調することとした。

#### 3.1 各分野の動向

##### (1) 建築分野

平成12年6月施行の建築基準法では、従来の許容応力度設計法に加えて、限界耐力計算による設計法が追加され、設計者の判断によりいずれの設計法も適用可能となっている。限界耐力計算では損傷限界と安全限界が定義され、従来の「仕様」に基づく規定から「性能」に基づく規定へ改定されている。

しかし、実際の手順としては決定論的に断面設計を行い、保有耐力が確保されていることを確認する設計法となっており、一般に言われている性能規定化とはかなり異なったものとなっている。

建築分野における確率論的設計手法を扱ったものとしては、以下がある。

日本建築学会	「建築物荷重指針・同解説」
同	「鋼構造限界状態設計指針・同解説」
同	「建築物の限界状態設計指針」

「建築物の限界状態設計指針」は、確率論的設計法として「荷重・耐力係数設計法」が採用されている。これは、荷重と耐力のそれぞれに確率に基づく係数を乗じ、これらの間に所要の離隔を設けることによって、目標信頼性指標 ( $\beta_p$ ) を確保しようとするものである。また、設計用の限界状態として使用限界状態と終局限界状態 (安全限界) を定めている。

ただし、何れにしても建築基準法に即して設計しなくてはならないことから、この手法を実際の建築物の設計に適用した実績はない。

## (2) 土木分野

土木分野における確率論的設計手法を扱ったものとしては、次のものがある。

「LNG 地下タンク 躯体の構造性能照査指針」

「鉄道構造物等設計標準・同解説」

「コンクリート標準示方書」

いずれも性能照査型設計体系が導入され、その手法として「部分安全係数法」が採用されている。これは、照査用応答値（荷重効果）と照査用限界値（耐力）のそれぞれの各要素に安全係数を導入し、その積み重ねとして構造物の安全を確保しようとするものである。また、構造物の耐震性能レベルとしては、耐震性能 1（健全、地震後補修せずに機能を保持）、耐震性能 2（機能維持、地震後早期に補修可能）、耐震性能 3（崩壊せず）を定めている。照査用地震動レベルはレベル 1 地震動（耐震性能 1 に対応）とレベル 2 地震動（重要度に応じ耐震性能 2、3 に対応）を定めている。レベル 1 地震動は供用期間中に 1、2 回程度遭遇すると考えられる地震動であり、レベル 2 地震動は供用期間中に発生する確率は小さいが起こり得る強い地震動と定義している。なお、現在土木学会においては、これらの地震動について、レベル 1 地震動を確率論的に、レベル 2 地震動を確率論及び決定論の併用（シナリオ地震の不確実性及び供用期間中の発生確率を考慮した地震動）により評価する方向で検討されており、また、平成 13 年度から 2 年計画で、「性能設計体系における合意形成・評価手法に関する研究小委員会」にて、土木構造物の性能目標の設定も含めた設計体系に関する検討も進められているが、確率論的設計手法を実際の建築物の設計に適用した実績はまだない。

## (3) 機械分野

機械分野では確率論的設計手法を設計指針の形でまとめられたものは無い。

### 3. 2 原子力施設の耐震要求レベルと留意点

#### (1) 原子力施設の耐震要求レベル

発電用原子炉施設は、一般建築より格段に高い耐震安全性を有していることがうかがえる。例えば、一般建築の場合、建築学会の「建築物の限界状態設計指針」によると、50 年再現期待値の地震荷重（地動最大加速度 200Gal、加速度応答スペクトルフラット部分 500Gal）に対する信頼性指標（ $\beta$ ）は 1.5 ( $6.68 \times 10^{-2}$ ) であることが示されている。一方、既存の代表的発電用原子炉施設を対象とした試解析例では、40 年再現期待値で信頼性指標（ $\beta$ ）が 3.0 ( $1.35 \times 10^{-3}$ ) 程度以

上が得られている。

このことは、放射性物質を多く含む発電用原子炉施設の損傷が起因する放射線災害を防止するため、一般建築が破壊するような大きな地震動が作用した場合でも、その健全性を維持するとの考え方が反映されているものと考えられる。

また、IAEAのINSAG-5が安全目標として、新設炉で $10^{-5}$ /炉年(既設炉 $10^{-4}$ /炉年)を提案するなど、他の工作物に比して大きな安全性が要求されている。

## (2) 留意点

発電用原子炉施設の地震時の合理的な安全余裕の評価に確率論的方法を導入する場合は、その信頼性を高めるために、地震・地震動データの収集・整備はもとより、地盤、建屋、機器・設備及び土木構造物の材料や耐力データの収集・整備、設計用地震動の評価手法や地震応答解析法等の精度の向上に努める必要がある。

## 4. 我が国における発電用原子炉施設の確率論的設計手法の調査・検討状況

原子力発電技術機構、原子力研究所及び土木学会原子力土木委員会で検討された確率論的設計手法の概要を以下に示す。

### (1) 原子力発電技術機構「確率論に基づく基準地震動の検討」

原子力発電技術機構においては、設計用基準地震動を確率論的に評価する手法について検討を行うとともに、それにもとづく耐震設計体系についての検討を行っている。概要を付録-1に示す。

### (2) 原子力研究所「確率論的地震危険度評価に基づく設計用想定地震の設定法」

原子力研究所においては、地震に対する確率論的安全性評価手法を構成する評価項目の一つである確率論的地震危険度解析を拡張し、将来サイトに影響を及ぼす可能性のある地震の諸元(規模、距離)及び地震動を評価する手法が検討されている。

## 5. 我が国の発電用原子炉施設の耐震設計において採用すべき確率論的設計手法

確率論的設計手法には多種・多様なものがあるが、現在において最も実用的な設計法は「限界状態設計法」であると考えられる。ここでは、我が国の発電用原子炉施設の確率論的手法に基づく耐震設計において、限界状態設計法を採用した場合の各段階での考え方を以下に示す。(図-1 参照)

### ① 目標性能の設定

発電用原子炉施設が地震時に確保すべき性能を明示し、種々の不確定性を考慮したときにおいてもその性能が確保されることを具体的な指標をもって示す。限界状態設計法では指標として信頼性指標  $\beta$  が用いられるが、 $\beta$  は損傷確率  $P_f$  に換算できるため、この設計法では性能を損傷確率で示すこともできる。

### ② 設計用基準地震動の評価

設計用基準地震動の確率論的な評価には、発電用原子炉施設の敷地周辺の地震活動度を詳細に調査し、歴史地震データや活断層データを用いて敷地の地震動の発生確率を評価する地震ハザード解析手法に基づく方法がある。この手法には最大加速度を距離減衰式に基づいて評価する方法と、加速度応答スペクトルを距離減衰式によって評価する方法があり、設計用基準地震動の最大加速度の設定及びターゲットスペクトルの設定に用いることができる。設計用基準地震動の継続時間や振幅包絡線の経時的変化についてはマグニチュード  $M$  と震央距離  $\Delta$  から評価されるが、マグニチュード  $M$  と震央距離  $\Delta$  を地震域の貢献度に基づき確率論的な手法で設定する方法も提案されている。

### ③ 施設の設計

施設の設計は、設計用基準地震動が入力するとき発電用原子炉施設全体の目標性能を確保するため、各施設の限界状態を明示し、目標性能に係る事故シーケンス解析を考慮して、施設全体の目標性能の確保に必要な各施設の条件付損傷確率(信頼性指標  $\beta$ )が満足されるよう部材等の設計が行われる。

各施設の限界状態は、それぞれの支配的な損傷モードにもとづき、応力、ひずみ、加速度、変位等の限界を試験データに基づきバラツキを考慮して設定される。地震力と組み合わせる通常運転時荷重、事故時荷重等の各荷重についても、各荷重のバラツキを考慮して確率論的に扱われる。また、設計用基準地震動に対する建屋、機器・配管系の応答解析では、地盤物性、コンクリート等の材料物性、減衰定数等のバラツキも考慮されることとなる。

## 6. 確率論的手法の各項目毎の検討状況と残された課題

前章で示した確率論的設計手法の考え方について、今後の実用化に向けて課題となる項目を以下に示す。なお、課題は確率論的手法における技術的な成熟度合や、説明性の観点から抽出した。なお、課題の一部には現行の決定論的手法に共通のものもある。

### (1) 目標性能の設定

#### ① 性能の明示

発電用原子炉施設の地震時の目標性能を明示することにより、合理的な設計体系の構築が可能となるとともに、国民に対する発電用原子炉施設の耐震安全性に係る説明性が向上するが、目標性能として、例えば、炉心損傷という工学的な性能とするか、事故が起きた場合の公衆に対する影響度で評価するか等具体的な検討を行う必要がある。

#### ② 地震事象を含む適切な安全余裕の確保

限界状態設計法のような確率論的手法に基づく耐震設計法においては、荷重及び耐力に係る不確定要因によるバラツキを具体的に考慮した信頼性指標  $\beta$  を安全余裕の指標とすることができ、信頼性指標  $\beta$  が同じであれば損傷の可能性は同じと評価される。

不確定要因によるバラツキの定量的な評価に当たっては、避けられないランダムなばらつき (Randomness) と、評価誤差に起因するばらつき (Uncertainty) が存在することに十分留意する必要がある。

また、安全余裕の目標値 (信頼性指標  $\beta$  等) は、所謂「安全目標」との整合が必須であるが、その決定には多くの検討が必要とされている。

### (2) 設計用基準地震動の評価

#### ① 地震観測記録等の整備

距離減衰式は、地震観測記録のデータに基づく回帰式であるが、地震観測記録のデータに大振幅の記録が含まれていない場合、データの範囲外は外挿して評価することになる。この結果、地震ハザード解析において大振幅領域の評価結果の信頼性が課題となる。また、活断層の活動による地震動を評価する場合、活断層の規模、活動履歴等、十分なデータに基づいて評価する必要がある。このため、観測データや活断層データの蓄積が必要である。

#### ② 地震動の評価法の改善

##### 1) 地震ハザード評価法

従来の距離減衰式による地震動のバラツキ (評価誤差) は、地震動レベルによらず一定としているため、地震動が大きい領域での地震ハザード解析結果に大きく影響する。

このため、大きな地震による大振幅の観測記録を基に、地震動が大きい領域における振幅のバラツキを評価することが必要となっている。これまでも地震の発生メカニズム毎の距離減衰式が提案されたり、振幅が大きいと距離減衰式のバラツキは小さくなるとの知見が得られたりしているが、更に距離減衰式の不確定性の改善に向けての研究が求められている。

また、敷地近傍の活断層から発生する地震動の評価法として断層モデルによる評価法が近年急速に進歩してきたが、断層パラメーターや破壊メカニズムの予測評価等に係る調査・研究の更なる進展が求められている。

## 2) 確率論的設計用基準地震動の最大加速度レベルに対応する地震動波形の評価法

設計用基準地震動を最大加速度の地震ハザード解析から評価する場合、その最大加速度に対応する地震動波形を作成する必要がある。最大加速度の発生確率と同じ発生確率の一樣ハザードスペクトルをターゲットスペクトルとし、 $M$  と  $\Delta$  を適切な方法により設定して、継続時間や振幅包絡線の経時的変化を評価する方法が検討されているが、まだ評価法の確立には至っていない。

## (3) 施設の設計

### ① 耐力データベースの整備

地震 PSA が近年数多く実施され、建物・構築物、機器・配管系の耐力データが、試験結果等により合理的に評価されるようになってきた。しかし、その多くは米国のデータに依存しているのが現状である。我が国では原子力発電技術機構において、改良標準化以降の代表的プラントにおける安全上重要な機器を対象に試験が実施されているが、更に改良標準化以前のプラントにおける重要機器や、代表的プラントにおいて試験が未だ実施されていない重要機器を含め逐次データを整備し、客観的且つ合理的な耐力の評価法を確立させる必要がある。

### ② 他の荷重との組合せ

地震力と組み合わせる通常運転時荷重、事故時荷重、温度荷重、施工荷重、試験荷重等の各荷重の確率論的な扱い方と、これらの荷重を組合せた時の限界状態の設定等について体系化する必要がある。荷重の確率論的な扱いとは、各荷重の分布形状、発生頻度、継続時間を考慮して、同時発生確率をベースに荷重組合せ方法を決定することであるが、荷重組合せが異なれば損傷モードも違ったものになると考えられることから、荷重組合せに応じた限界状態の定義が必要である。

### ③ 個々の施設が保持すべき信頼性の評価法

設計用基準地震動に対する発電用原子炉施設全体の保有すべき炉心損傷確率は、事故シーケンス解析により評価されることになるが、その評価に必要となる個々の施設の保持すべき損傷確率についての評価法が確立されていない。



## 7. 結論

発電用原子炉施設に係る確率論的手法による合理的な耐震設計手法の構築にあたっては、目標性能の設定と安全余裕の具体的評価法、地震動評価に係る大振幅の観測データ不足やバラツキの扱い、発電用原子炉施設全体の安全性の確保に必要な個々の施設の重要度を考慮した損傷確率の評価法等多分野において、克服すべき課題が多く残されている。従って、設計用基準地震動のみを確率論的手法に基づいて決定する場合であっても、その基本となる地震ハザードを実用設計に適用していくためには、今後、数年に及ぶ検討期間が必要と考えられる。

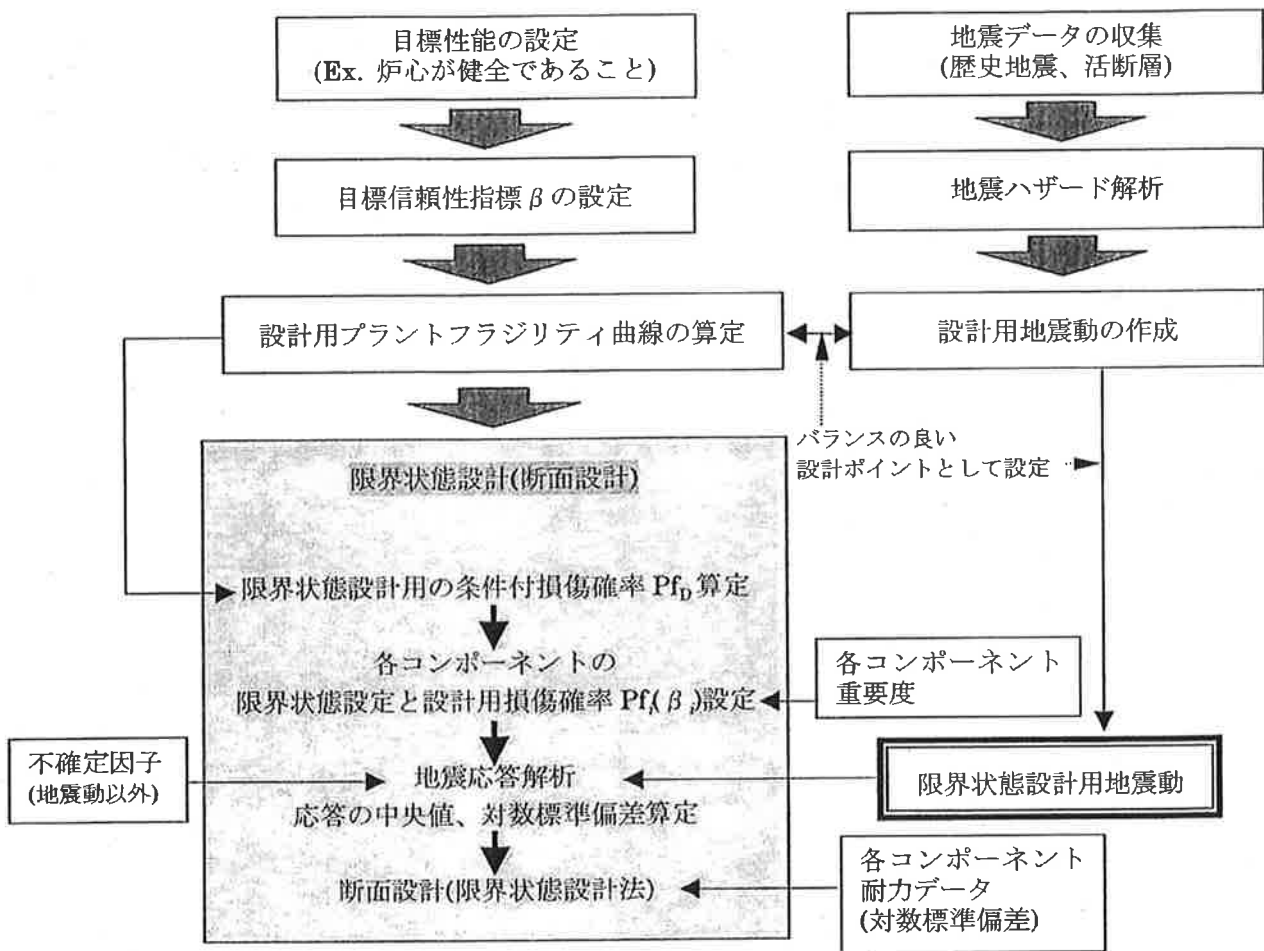


図-1 確率論的設計手法を導入した設計フローの概要

## 付録－1 NUPEC で検討された確率論的基準地震動と設計法

### 1. 確率論的基準地震動の設定方法と試計算

限界状態設計法で採用される荷重耐力係数法の概念を用いて確率論的基準地震動の評価方法を提案し、試計算を行った。地震時の安全余裕を示す尺度として信頼性指標  $\beta$  を採用し、 $\beta$  は安全目標レベルを満たすように設定する。確率論的基準地震動の評価フローを付図－1 に示す。

試計算例では、安全目標レベルとして IAEA の INSAG-3 の推奨値(新規プラントに対しては  $10^{-5}$ /炉年、既存プラントに対しては  $10^{-4}$ /炉年)を用い、プラント供用期間を 40 年に設定している。確率論的基準地震動の最大加速度は、荷重項を地震ハザード曲線、耐力項を炉心損傷を対象としたプラントフラジリティ曲線として、それぞれ対数正規分布を仮定して、荷重耐力係数法の設計ポイントとして評価している。

これらの条件で 3 サイトのプラントを対象に確率論的基準地震動を試計算している。地震動の波形の目標スペクトルは最大応答加速度と発生確率が同じ一様ハザードスペクトルとし、継続時間や包絡関数はマグニチュード  $M$  と震央距離  $\Delta$  を確率論的手法で評価し、位相は一様乱数としている。

### 2. 確率論的基準地震動に基づく建屋、機器・設備・配管系の設計体系(事務局暫定案)

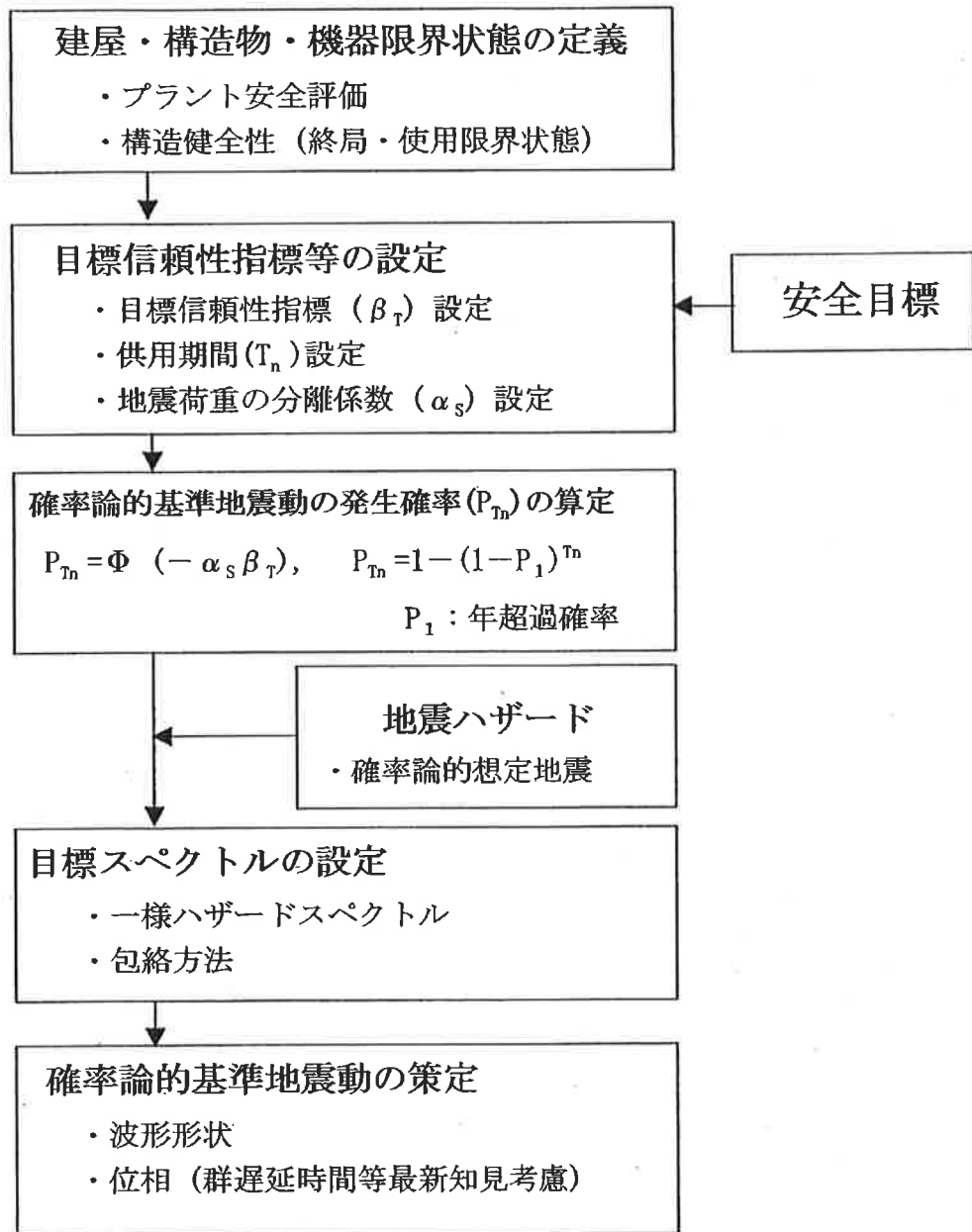
暫定案を付図－2 に示す。暫定案ではまず、地震ハザード曲線と分離係数からプラントとして必要な炉心損傷を対象とした設計用プラントフラジリティ曲線を求め、これに対応する確率論的基準地震動を算定する。設計用プラントフラジリティ曲線をターゲットに各コンポーネントを設計する。

設計は 2 段階に大別される。第 1 段階は、確率論的基準地震動を用いた各コンポーネントの断面設計を行う。第 2 段階は、性能照査用地震動を基本的に炉心損傷頻度に大きな影響を及ぼす限界付近の地震入力レベルで設定し、これを用いて性能確認を行う。

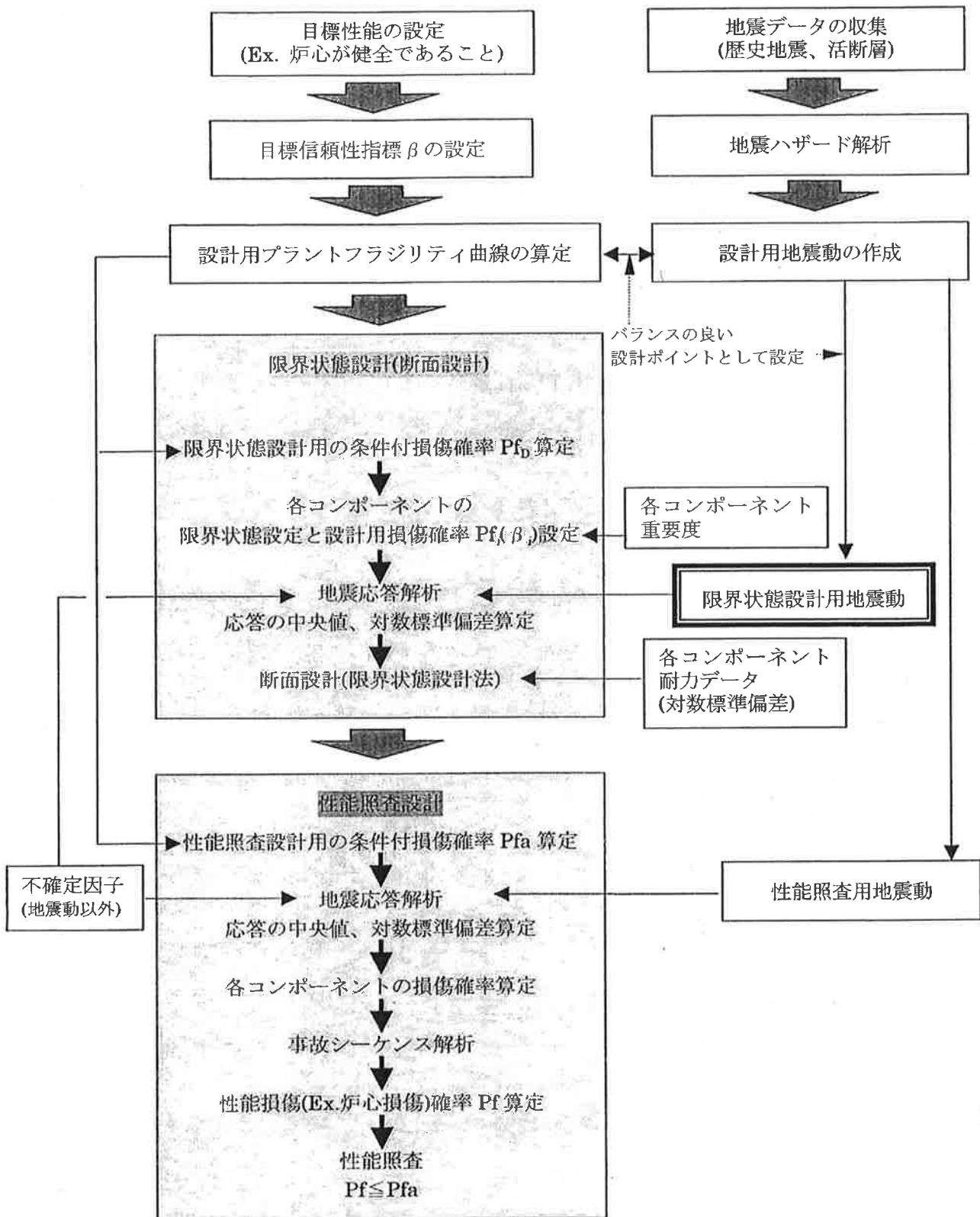
第 1 段階の断面設計は、まず入力地震動レベルにおけるプラントの条件付損傷確率を設計用プラントフラジリティ曲線から求める。次いで、事故シーケンス解析における冗長系としての裕度(成功/失敗の確率)を考慮して、プラントの条件付損傷確率に適合するように各コンポーネントの確保すべき条件付損傷確率を求める。確率論的基準地震動に対する応答の中央値と対数標準偏差は変動解析等により評価する。そして、実験データ等から別途評価される

耐力の対数標準偏差を考慮して、荷重耐力係数法により耐力の中央値を設計する。ここで、応答や耐力は各コンポーネントの損傷モード(応力、ひずみ、加速度、変位)に応じて評価する。

第2段階の性能確認は、第1段階で設計された各コンポーネントの性能確認用地震動レベルにおける損傷確率を求め、これを用いて事故シーケンス解析を行う。求められた炉心損傷確率が設計用プラントフラジリティ曲線から求められる条件付損傷確率以下であることを確認し、性能照査とする。



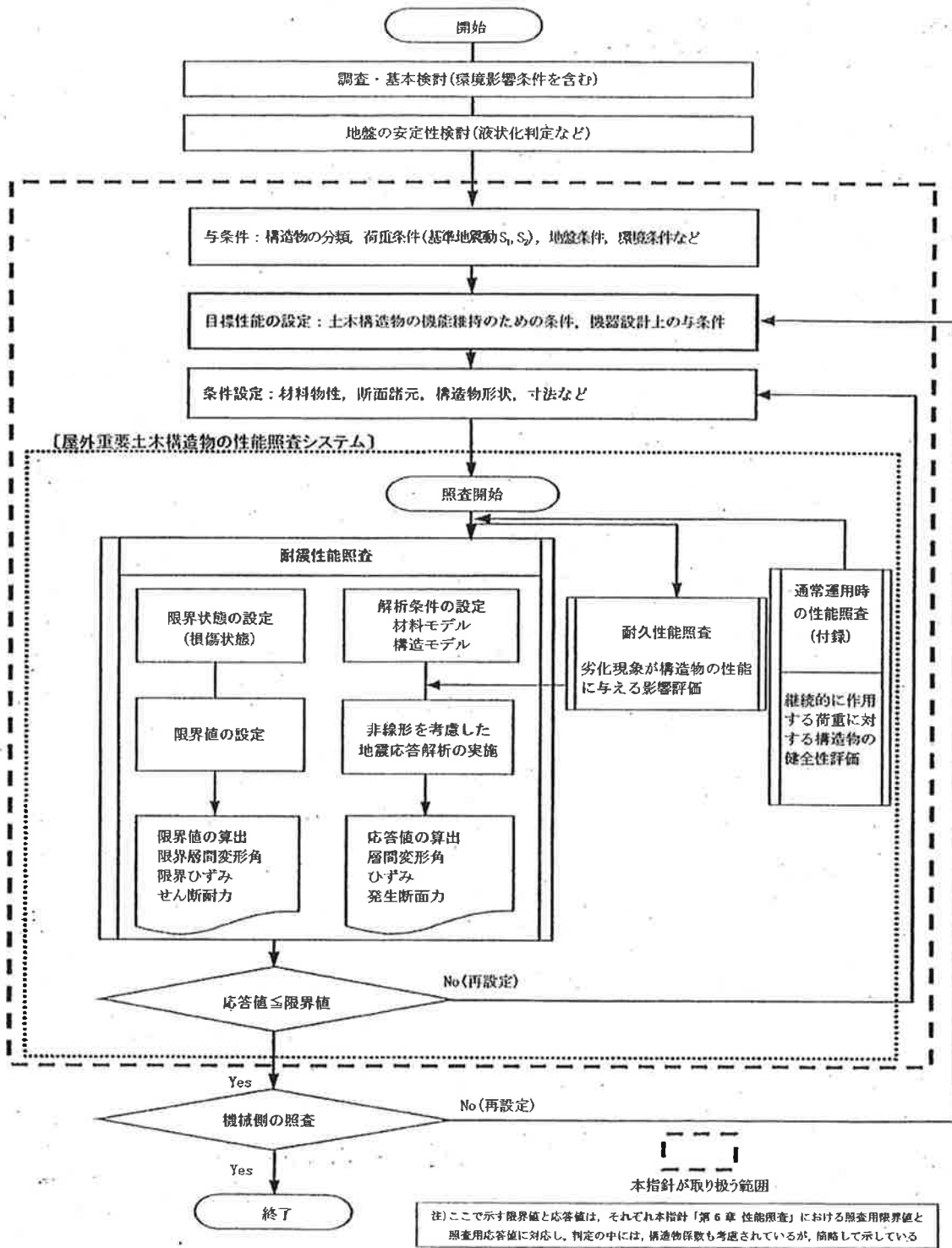
付図-1 確率論的基準地震動の作成フロー



付図-2 確率論的基準地震動に基づく耐震設計フローの暫定案

付録-2 土木学会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（案）及びマニュアル」

原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針



解説 図 1.2-1 耐震性能照査フロー(機器・配管を支持する場合)  
 付図-3 屋外重要土木構造物の耐震性能照査フロー

## 参考文献

- 1) Bases for design of structures-Seismic actions for designing geotechnical works 一構造物の設計の基本一地盤基礎構造物への地震作用 (ISO TC98/SC3/WG10) -
- 2) U.S Nuclear Regulatory Commission, Technical Basis for Revision of Regulatory Guidance on Design Ground Motions : Development of Hazard- and Risk-consistent Seismic Spectra for Two Sites, NUREG/CR-6769(2002):
- 3) IAEA/NUSS : IAEA SAFETY STANDARDS SERIES DS302/DS304/DS305
- 4) OECD/NEA
- 5) 土木学会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (案) 及びマニュアル」(2002.5)
- 6) 日本建築学会 : 建築物荷重指針・同解説 (1993)
- 7) 日本建築学会 : 建築物の限界状態設計指針・同解説 (2002)
- 8) 日本建築学会 : 鋼構造物限界状態設計指針・同解説 (1998)
- 9) 土木学会 : LNG 地下タンク 躯体の構造性能照査指針
- 10) 土木学会 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計
- 11) 土木学会 : コンクリート標準示方書
- 12) 亀田弘行、石川 裕、“ハザード適合マグニチュード・震央距離による地震危険度解析の拡張” 土木学科論文集 第 392 号/I-9 1988 年 4 月
- 13) Robin K. McGuire "Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes :Closing the Loop" BSSA, Vol.85, No.5, October 1995
- 14) U.S Nuclear Regulatory Commission, "Regulatory Guide 1.165, Identification and Characterization of Sources and Determination of State Shutdown Earthquake Ground Motion" , March 1997





とのお話を伺いました。

恐れ入りますが、  
その打合せの場所を確認させていただきたいので、  
教えていただけますでしょうか。

以上

\*\*\*\*\*

内閣府 原子力安全委員会事務局

技術参与 松田 耕作

〒100-8970 東京都千代田区霞が関3-1-1

中央合同庁舎第4号館 6階

TEL. 03-5253-2111 (代表) 内線 44758

03-3581-9988 (直通)

FAX. 03-3581-9836

E-mail: 

\*\*\*\*\*