

## ○発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針

(平成16年〇〇月〇〇日  
原子力安全委員会決定)

### I. はじめに

本指針は、発電用軽水型原子炉施設の耐震設計に関する安全審査において、安全性確保の観点から、その耐震設計の妥当性について判断する際の基礎を示すことを目的として定めたものである。

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」は、最初は昭和53年9月、当時の原子力委員会が定めたものであり、その後昭和56年7月に、原子力安全委員会が、当時における新たな知見に基づき静的地震力の算定法等について見直して改訂を行った。昭和56年の改訂以来、20年以上が経過し、この間地震学に関する新たな知見の蓄積、原子炉施設の耐震設計技術の改良及び進歩には著しいものがあった。また、平成7年1月に発生した兵庫県南部地震は、原子力施設に特段の影響を及ぼしたものではなかったが、関連する調査研究の成果等を通じて、断層の活動様式、地震動特性、構造物の耐震性等に係る貴重な知見が得られ、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のたゆまぬ努力の必要性を改めて強く認識させるものであった。これらを踏まえ、従来の指針について全面的見直しを行い、指針の内容の一層の明確化及び高度化を図ったものである。

### II. 本指針の位置付け

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」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、系統及び機器に関する「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、今後さらに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。

### III. 適用範囲

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。

### IV. 用語の定義

本指針において、次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(本指針の解釈・運用上、他の指針類との関連で確認的に定義付けしておいた方がよいもの、対象・範囲を限定しておいた方がよいもの、特殊な用語で一般になじみの薄いもの等を適宜取り上げる。)

例：「安全機能」「剛構造」「岩盤」「十分な支持力を有する安定した地盤」「解放基盤表面」「時刻暦波形」「地震地体構造」「活断層」「活動度の高い断層」「地表地震断層」「プレート境界地震」「内陸地殻内地震」「スラブ内地震」「断層モデル」「地震動の確率評価」「施設の安全余裕」「静的地震力」「水平地震力」「鉛直地震力」「応答スペクトル」「応答解析モデル」・・・

### V. 基本方針

発電用原子炉施設（以下、「施設」という。）は、敷地ごとに適切に設定される大きさの地震力に対してもこれが大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない。

すなわち、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区分された耐震設計上の重要度分類に応じて、敷地ごとに適切に設定される地震力に十分耐えられる設計であることを基本とする。

「大きな事故」とは、事故（「施設の運転時の異常な過渡変化」を超える異常な状態であって、発生する頻度はまれであるが、施設の安全設計の観点から想定されるもの）のうち、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をいう。

「十分な耐震性を有している」とは、耐震重要度分類に応じて必要な施設が、敷地ごとに工学的な妥当性をもって適切に算定される大きさの設計用（基準）地震動による地震力に十分耐える（安全機能を保持する）ことは当然、さらにそれを上回る地震動による地震力に対しても適切な安全余裕を具備することにより具体化されるものである。

## VI. 地震時における施設の安全確保の考え方

この指針の基本目標である「敷地ごとに適切に算定される大きさの地震力に対しても大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない」ことを達成するため、地震動の大きさ（により）or（と頻度の関係を踏まえた）地震時における施設の安全確保の考え方は次の三つである。

- (1) 施設は、敷地ごとの特性からみて施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動を経験しても、炉心は損傷に至ることなく、かつ、通常運転に復帰できる状態で事象が収束されるよう設計されること。
- (2) 施設は、敷地周辺の事情及び地震学的見地から考慮される施設の寿命中に極めて稀に発生するかもしれない地震動を経験しても、安全防護施設を含めた必要な施設の安全機能が損なわれることのないよう設計されることとし、さらに、地震動の設定における不確実性及び施設の耐力の不確定要素（ばらつき）及び供用期間中の経年変化を考慮しても、周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないよう（or 周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないよう）、この地震動による地震力等に対し、十分な安全余裕を有していること。

【(3) 施設は、上記(2)の地震動よりも発生の可能性がさらに小さいと考えられるが、さらに大きな地震動が発生することを考慮しても、周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないよう、十分な安全余裕を持つことを確保するための設計上の考慮がなされること。このことを具体的に評価するに当たっては、大量の放射性物質を周辺環境に放散するような事故及び炉心の大規模な損傷事故の発生確率をどの程度適切に抑制させるべきかに関して、安全目標についての考え方も踏まえつつ、個別の敷地及び施設の要件及び組合せを十分勘案しつつ、その妥当性の判断がなされるべきである。】

ここで上記(2)及び(3)の「十分な安全余裕」については、基本設計の安全審査段階では、あくまでも「設計方針の妥当性」をチェックすれば十分であるとの考え方により、「耐震重要度分類に応じて、枢要な施設は敷地ごとに適切に算定される大きさの(設計用)地震動による地震力に耐えることは当然、さらにこれらの記述に沿った安全余裕を持たせることを設計の基本方針とする」旨の設計方針を審査すればよく、「安全余裕」の程度・大きさについては、その後の詳細設計や工事計画の段階における後段規制の際に確認・評価されるべきものとする。

## VII. 耐震設計上の重要度分類

施設の耐震設計上の施設別重要度を、「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。)」における安全機能を有する構築物、系統及び機器についての安全機能の重要度に応じた分類を踏まえ、さらに、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を考慮し、次のように分類する。

(基本的には、「重要度分類審査指針」との整合を図り、さらに耐震設計上の配慮から必要であれば、それについて特記する。)

耐震クラスⅠ：(1) 重要度分類審査指針第2表中のクラスⅠの定義及び安全機能を有する施設

(2) (もし重要度分類審査指針第2表中のクラスⅡから引き上げてくるべきものがあれば追加的に記述する)

耐震クラスⅡ：(1) 重要度分類審査指針第2表中のクラスⅡの定義及び安全機能を有する施設(ただし、耐震クラスⅠ(2))

- に該当するものを除く。)
- (2) (もし重要度分類審査指針第2表中のクラス3から引き上げてくるべきものがあれば追加的に記述する)

耐震クラスⅢ：(1) 重要度分類審査指針第2表中のクラス3の定義及び安全機能を有する施設(ただし、耐震クラスⅡ(2)に該当するものを除く。)

VII. 基準地震動の策定←「設計用地震動」が現行指針の「耐震設計に用いる地震動」と解釈すると、指針改訂当時は「基準地震動」とは意味が異なっていた可能性があるため、現状では、「基準地震動」とした。

基準地震動は、敷地周辺の条件及び地震学的見地から考慮される、施設の寿命中に極めて稀に発生するかもしれない地震動として、次に定める考え方に基づき評価し、策定されなければならない。

(1) 基準地震動策定の基本方針

- ①基準地震動は、敷地周辺の地震のうち、敷地に大きな影響を及ぼすと予想される地震を設計用地震として複数を選定し、それらについて適切な手法を用いて設計用応答スペクトルを評価し、その比較により敷地に最も大きな影響を及ぼす地震動を評価した上で策定する。
- ②基準地震動は、水平方向及び上下方向について評価する。
- ③基準地震動は、解放基盤表面で設定された、応答スペクトルあるいは時刻歴波形として定義する。(「定義」については、JEAGの記載、保安院案の記載にあるが、本当に適切か否かは今後検討が必要)
- ④基準地震動は、最大振幅、周波数特性、継続時間及び振幅包絡形の経時的変化を適切に評価し、それを基に定める。←現行指針にできる限り合わせた

(2) 設計用地震の選定

- ①設計用地震は、以下の方針により選定する。←「設計用地震」は「選定」に統一した

(i) 敷地周辺の地震は、地震の発生機構に着目すると、プレート境界地震、スラブ内地震、内陸地殻内地震に大別され、これらの地震規模、震源位置等は、歴史地震資料、活断層調査を基にし、地震地体構造に関する知

見を参考として想定するものとする。←「敷地周辺の地震」は「想定」に統一した

- (ii) 設計用地震は、上記(i)で想定した敷地周辺の地震のうち、敷地に大きな影響を及ぼすと予想される地震を選定する。
- (iii) 内陸地殻内地震のうち、地表に痕跡を残さず、事前の地震活動調査及び地質調査等によっても「震源を予め特定できない地震」については、上記(i)とは別途に考慮し、(3)で設計用応答スペクトルとして設定する。

## ②歴史地震資料

- (i) 古文書等に基づく過去の被害地震を取りまとめた各種の歴史地震資料を、最新の地震考古学の知見と併せて活用する。
- (ii) 各種の歴史地震資料は、対象地域や時代によって地震規模及び発生場所についての記録の有無、詳細さに差があるので、敷地周辺がそれに該当する場合は周辺の地震について十分な調査を行う必要がある。

## ③活断層調査

- (i) 活断層調査は、敷地周辺に存在し、5万年前以降に活動した可能性がある、もしくは地震の再来期間が5万年未満の可能性がある活断層について、敷地からの距離に応じて適切かつ十分に行う必要がある。
- (ii) 活断層群のセグメンテーションやグルーピングの仕方、リニアメントの判読方法は、現地における詳細な調査結果や専門家の知見を反映する。
- (iii) 活断層の長さや地震規模との関係を表す経験式は、様々なものが提案されており、これらとともに最新の知見を踏まえてその信頼性を十分確認の上、使用する。
- (iv) 海域の活断層は、陸域に比べて情報量が少ないので、十分な調査を行う。

## ④地震地体構造

地震規模、震源深さ、発震機構、地震の発生頻度等に注目するとき、一定の地域において地震の発生の仕方に共通の性質を持っているので、歴史地震資料、活断層調査を補うために地震地体構造に関する知見を参考とすることも必要である。

## (3) 設計用応答スペクトルの評価

(2)で設定した、設計用地震に対して、以下の方針で、敷地の解放基盤表面における設計用応答スペクトルを、水平方向及び上下方向について評価する。

### ①距離減衰式による地震動評価

基準地震動は、基本的に、設計用地震の地震規模と震源位置等から、震源特性を反映した距離減衰式を用いて応答スペクトルで評価する。

### ②断層モデルによる地震動評価

震源が近い場合は、震源過程の影響が大きいので、断層モデルを用いた地震動評価を行う。その際は、断層の破壊過程などの予測の検討や、周波数特性を考慮した適切な手法の選択に留意する必要がある。

### ③「震源を予め特定できない地震」による地震動

「予め震源を特定できない地震」については、過去の地表地震断層を伴わない地震の硬質地盤上での観測記録に基づいて、設計用応答スペクトルとして設定する。←電気協会の安全裕度確認地震動のスペクトル形状をイメージ

## (4) 基準地震動

基準地震動は、(3)により評価される設計用地震動のうち、敷地に与える影響が最も大きいものを考慮し策定する。

- ①基準地震動は、最大振幅、周波数特性、継続時間及び振幅包絡形の経時的変化が適切であると評価できるものでなければならない。
- ②基準地震動の策定に際しては、地震・地震動の不確実さを考慮して確率論的地震ハザード評価の結果も参考とする。

## IX. 耐震設計の基本方針

### (1) 方針

施設は、VII. の耐震設計上の重要度分類の区分に応じ、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。なお、下記各号において、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。

#### 【案の1】

- ① 耐震クラスⅠの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。
  - (i) 設計用基準地震動を超える地震動による地震力が作用しても、周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないよう安全裕度を持った設計であること。このことを判断するめやすは、そのような地震の発生時において、設計用基準地震動による地震力が作用した際には効果を期待した各施設の安全防护機能のうちいくつかは作動しないと仮想し、それに相当する放射性物質の放散を仮想したとしても、ある程度の障壁が維持されることにより、放射性物質の放散が抑制され、周辺の公衆に対し、著しい放射線災害を与えないこととする。このことを具体的に評価するに当たっては、大量の放

放射性物質を周辺環境に放散するような事故及び炉心の大規模な損傷事故の発生確率をどの程度適切に抑制させるべきかに関して、安全目標についての考え方も踏まえつつ、個別の敷地及び施設の要件及び組合せを十分勘案しつつ、その妥当性の判断がなされるべきである。

- (ii) 設計用基準地震動により算定される設計用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設計であること。このことを判断するめやすは、そのような地震の発生時において、各施設の所定の安全防護機能が保持され、周辺の公衆に放射線障害を与えないこととする。  
(or 周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないこととする。)
- (iii) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合でも通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

② 耐震クラスⅡの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。

- (i) 設計用基準地震動により算定される設計用地震力が作用して、施設が損傷しても、ある程度の閉じ込め機能が維持されることにより、放射性物質の放散が抑制される設計であること。このことを判断するめやすは、そのような地震の発生時において、損傷した施設からの想定される放射性物質の放出によっても、周辺の公衆に放射線障害を与えないこととする。(or 周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないこととする。)

(ii) 以下に示す静的地震力に耐える設計であること。

- (iii) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合でも通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

耐震クラスⅡについては、「静的地震力  $1.5C_i$  と「設計用地震力の  $\beta$  倍の地震力 ( $0 < \beta < 1$ )」の大きい方に耐える設計であること。」とすべきとの考え方もある。

③ 耐震クラスⅢの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。

(i) 以下に示す静的地震力に耐える設計であること。

- (ii) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合で



も通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

## 【案の2】

① 耐震クラスⅠの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。

(i) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合でも通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

(ii) 設計用基準地震動により算定される設計用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設計であること。

(iii) 設計用基準地震動よりも発生の可能性がさらに小さいと考えられる設計用基準地震動を超える地震動が発生することを考慮しても、周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないよう、十分な安全余裕を持つこと。このことを具体的に評価するに当たっては、大量の放射性物質を周辺環境に放散するような事故及び炉心の大規模な損傷事故の発生確率をどの程度適切に抑制させるべきかに関して、安全目標についての考え方も踏まえつつ、個別の敷地及び施設の要件及び組合せを十分勘案しつつ、その妥当性の判断がなされるべきである。

② 耐震クラスⅡの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。

(i) 以下に示す静的地震力に耐える設計であること。

(ii) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合でも通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

耐震クラスⅡについては、「静的地震力 $1.5C_i$ と「設計用地震力の $\beta$ 倍の地震力( $0 < \beta < 1$ )」の大きい方に耐える設計であること。」とすべきとの考え方もある。

③ 耐震クラスⅢの各施設は、次に掲げる地震力の大きさに応じた耐震性を有すること。

(i) 以下に示す静的地震力に耐える設計であること。

(ii) 施設の寿命期間中に一度ならず発生する地震動による地震力が作用しても、通常運転状態が維持され、又は、何らかの異常状態に陥った場合でも通常運転に復帰できる状態で事象が収束される設計であること。

## (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 動的地震力

動的地震力は、Ⅷ. に定める考え方により策定・評価された基準地震動を用いて、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合せたものとして算定されなければならない。

### ② 静的地震力

静的地震力の算定方法は以下による。

#### (i) 建物・構築物

水平地震力は、施設の耐震設計上の重要度分類に応じて、建築基準法施行令第88条から定まる最小地震力に下記に掲げる割り増し係数を乗じたものを用いることとする。耐震クラスⅢについては、一般施設と同等とする。

耐震クラスⅠ            3.0

耐震クラスⅡ           1.5

また、静的地震力の算定に際しては、建物・構築物の振動特性や、支持地盤などの地盤条件に応じた地盤と建屋の相互作用を適切に考慮するものとする。(層せん断力係数 $C_1$ を算定する際に上記の内容が考慮されることを踏まえると、 $C_1$ を省略してよいか?)

耐震クラスⅠ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。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。(鉛直の震度0.3については、解説もしくはJEAGに記載か? 上下地震力の適用は耐震クラスⅠまでで良いか?)

#### (ii) 機器・配管系

各クラスの地震力は、上記(i)による地震力に、応答の不確定性を考慮して適切に割り増した地震力を算定する。(20%割り増しは、解説もしくはJEAGに記載か?)

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。

## (3) 地震応答解析

### ①解析手法

地震応答解析を行うに際しては、以下について留意すること。

- (i) 応答解析法の選定については、解析法の適用範囲、適用制限に留意し、周辺の地盤構造と動特性、構造物の構造特性、建物の埋め込み状況に応じて、適切な解析法を用いること。
- (ii) 応答解析には、基礎の浮上りの影響を考慮すること。

### ②解析モデル及び解析条件

解析モデル、解析条件の設定に際しては、以下について留意すること。

- (i) 解析モデルは、基本的に簡易モデルを用いることが可能であるが、その際、局所的な応答に顕著な傾向がみられる場合においては、より詳細な解析モデルを用いた解析を実施すること。なお、簡易モデルを用いる場合には、有限要素法等を用いた詳細な応答解析等との比較検証により、応答の信頼性、妥当性を検討することが望ましい。
- (ii) 設計用基準地震動の設定位置が、建物・構築物の基礎下端（解析モデルへの地震動の入力位置）より深い場合については、局所的な地盤条件及び地盤の応答解析モデルの形態、解析手法の適用条件等について十分考慮し、適切な入力地震動による評価を行うものとする。

## X. 荷重の組合せと許容限界

耐震安全性の設計方針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の組合せ及び許容限界についての基本的考え方は以下のとおりとする。

### (1) 地震荷重と他の荷重の組合せ

- 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とを組合せ、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こと。
- 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こと。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じ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経時的変化を考慮した確率をめやすとして判断すること。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ものとする。

### (2) 許容限界

- ① 各耐震クラスの施設が、対応する設計用地震力に対して十分な耐震性を有す

ることを評価するため、施設が有する安全機能が適切な信頼度で維持できる許容限界（応力・ひずみ・変形量又は動的機能維持加速度・荷重・変位等）を定め、それが属するクラス毎の設計用地震力と他の荷重を組合せた場合に生じる応力・変形等がその範囲内にあることを確認すること。

- ②耐震クラスⅠの施設の安全機能については、設計用地震・地震動の想定法、設計用地震力の算定法、応力等の算定法等の精度や信頼性を考慮の上、当該施設の有する機能維持限界に着目した合理的な制限状態を設定する。
- ③耐震クラスⅡの施設は、安全上適切と認められる規格及び基準によるか、もしくはそれと同等の安全性を有した制限状態を設定する。
- ④耐震クラスⅢの施設は、一般施設の耐震の判断基準に従うものとする。
- ⑤支持機能、重要な安全機能への二次的影響、支持地盤や周辺斜面の安定性等に関する特別な安全機能については、当該安全機能の性質を考慮し、目的に応じた合理的な制限状態（大変形の発生、破断、支持機能維持など）を用いることとする。

#### X 1. その他

地震随件事象等について、以下を考慮する。

- (1) 構造物を支持する地盤は、当該施設に適用される地震力に対して、地盤の支持機能が損なわれないこと。
- (2) 敷地の地盤条件等に応じて、地震時の周辺斜面の崩壊を検討し、それが施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないこと。
- (3) 過去において発生した津波や、将来発生する可能性がある地震による津波を想定しても、それが施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないこと。

### 3.3 判断基準の表現等の整合性

(体系化の報告書から)

原子炉等規制法で原子炉、加工、貯蔵、再処理、廃棄物等に対する許可等の基準として、「災害の防止上支障のないものであること」を要求している。ここでは、指針類におけるその具体的判断の基準に関する表現の整合性等を検討した。

指針類に規定されている立地及び安全評価の判断基準に使われている現状の用語を評価対象事象との対応を含めてまとめて表3-1に示す。

表3-1 原子力施設の立地及び安全評価の判断基準に関する用語

施設	判断基準	著しい放射線災害を与えない 5 mSv	放射線障害を与えない 200 mSv	過度の放射線被ばくを及ぼさない	著しい放射線被ばく のリスクを与えない 5 mSv
発電用軽水型原子炉施設	立地： 仮想事故 (集団線量)		立地： 重大事故		設計基準事象： 事故
その他の原子炉	試験研究炉、高速増殖炉、新型転換炉等は発電用軽水型原子炉施設の規定と同様である。 熱出力 10MW 未満の試験研究炉は発電炉の規定が参考とされる。				
核燃料施設 (基本指針)				立地： 最大想定事故	
再処理施設			立地評価事故		設計基準事象 (但し、異常な過度 変化を除く)
ウラン加工施設				立地： 最大想定事故	
特定ウラン加工施設				立地： 最大想定事故	
MOX 加工施設				立地： 最大想定事故	
海外再処理返還廃棄物貯蔵施設					異常時条件 注2)
廃棄物埋設施設				異常事象 注1)	
廃棄物管理施設	廃棄物を取り扱う施設により適用できる指針が定められている。				

- 注1) 発電用軽水型原子炉施設の安全設計審査指針に定義されている異常状態の定義とは異なる。  
本文の安全評価の項目において「過度の被ばくを及ぼさないこと」と記載し、その判断基準として「著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと」と解説している。
- 注2) 表現に「リスク」の文言はなく、「著しい放射線被ばくを与えない」としている。

#### 安全論究一 4 外的事象

原子力施設外で発生する異常事象が施設の安全性に如何に影響を及ぼすかという問題について私見を述べ各位のご意見を頂きたいと思ひます。

日本の現行立地審査指針の 1.1 原則的立地条件(1)に「大きな事故の誘因となるような事象が過去においてなかったことはもちろんであるが、将来においてもあるとは考えられないこと。また、災害を拡大するような事象も少ないこと。」

IAEA-NUSS に「外的事象による放射線学的リスクは内的原因による事故状態によって起こる放射線学的リスクを超えるものであってはならない」と述べられています。

立地指針 1.1 のこの条件は制定当時には現在問題視されている外的事象の問題を意識している訳ではないと思ひますが、NUSS の基準と共に当然尊重しなければならない条件でしょう。すなわち一言でいえば、「内的起因事象による安全評価の対象となるいわゆる事故発生確率に比べ、外的起因事象による当該事故発生確率は数桁小さいものでなければならない」。ということです。

冷却材配管破断を仮定して「重大な炉心損傷事象(SCD)」を想定する安全評価が、内的事象の問題としては典型的な例です。これに対して、地震の影響が施設にどのような効果を与えるかを問題とすることが、外的事象の典型的な例です。どの施設でも、外部電源喪失(いわゆる停電)は、どの施設でも停電に対しては非常用電源を備えることが常識であります。WASH-1400 で PSA(確率論的安全評価)が推進された時以来、外部電源喪失は内的事象の一つとして扱われています。この理由の一つは、停電発生例が内的事象の起因事象発生率より、特に外国では、かなり高い率であるので、非常用電源の設置を当然のこととして、外部電源はないものと仮定して安全対策と評価を行い、必然的に電源は非常用電源の信頼性に依存することになっているからだと思ひます。例えば設計審査指針に云う「事故」の安全評価はこの趣旨で評価されています。しかし PSA が進むにつれ、非常用電源と外部電源との組み合わせ、すなわち全交流電源の信頼性が解析上重要となりました。外部電源はサイトによっては数系統あり信頼性も異なっておりますので、外的事象の性格をもつものであり、外的事象として扱う方が妥当だと思ひます。

外的事象は、電源の他、地震・竜巻・台風・洪水等の自然現象と、航空機落下・火災・ガス爆発・テロ等の人為事象が想定されます。何れにしても、設計対応事象より大きな外的事象の発生が、原子炉施設の安全性に影響を与える場合があると考えることは、外的事象は事象によっては施設の複数ないしは全ての機器・配管等に損傷を及ぼす「共通起因事象」となることが必然的に想定されるからです。

ここでは外的起因事象の中で地震についてだけ考えます。日本では地震対策とその影響をどう評価するかが外的事象問題として一番の問題です。アメリカでは竜巻(Tornado)で、300miles/h の風で吹き上げられた車がぶつかっても施設に異常を与えないことというのが設計基準であると聞いています。これを竜巻の限界とと考えていますが、日本の限界地震の

考えと比較できます。

原子力施設の耐震設計とその PSA (確率論的安全評価) の問題が、特に阪神淡路島震災を契機に日本でも盛んに議論されてきたようです。

地震を PSA で検討すると、“大地震時の SCD の発生確率には外部電源喪失が一番寄与する”と云う研究があります。このことと安全上想定する配管破断に起因する SCD とは PSA 解析上の大きな違いがあります。同列には比較出来ないと思われます。潜在的事故の PSA における配管破断の想定は、破断は「ランダム損傷」と仮定し、その際実際には考えられないのですが“管軸に直角に両端瞬時破断で冷却材は両側から反対側からの流出の影響を受けることがない状態で流出する”と考えます。ランダム損傷による「ギロチン破断」と通称される状態であります(その破損確率は例えば  $1E-4$ /年)。その際の LOCA (冷却材喪失事象) では、外部電源の信頼を全く無視し、非常用電源によって安全対策が完結されるように設計されています。最近の PSA では、LOCA の起因事象の例として施設内の全交流電源喪失を想定する場合がありますので、それに対しては外部電源と非常用電源の両者とその連携が確率論的に評価されています(前述)。外部電源で問題となるのは発電所からの送・受電に関わる高圧ないしは超高圧系統の問題ですから、それについては統計的に得られる電源喪失(停電)率がベースになります。電源系統の耐震設計の基準についての知識は私にはありませんが、原子力発電所で考える限界地震のような地震力を仮定して設計・建設がなされているとは思われません。原子力施設の耐震設計基準の地震動に対して施設外の電源系統が耐えられるとは考えられないので、外部電源は無いと云う前提で、非常用電源の信頼性を基に施設の安全対策が考慮されているのです。従って、非常用電源例えばディーゼル発電機に考慮されている設計用地震動を超える異常な地震動を与えれば、発電機とその他機器・配管は当然のこと破損されますので、施設の安全性は即座に喪失されることは明らかであります。なお、設計用地震動を超える地震動に対する設計余裕の評価如何で、機器配管の破損の様相は異なりますが、ここでは論じません。耐震設計用地震動を数倍上回る地震動を仮定すれば、そも際外部電源は当然喪失されますので「超大地震による SCD には外部電源喪失が一番寄与する」従って「外的事象のリスクは内的事象のリスクより大である」という地震の PSA 結果が得られることは、以上の簡単な説明で理解できます。外部電源喪失が問題なのではなく、「耐震設計用地震動を大幅に超える地震動を仮定することが問題」となるのです。ここで「地震動」の代わりに「設計荷重」と置き換えれば、一般に工学的問題として明らかです。こう考えますと、一部研究者のというような考えは、どこか考え方が不適切なのではないかと思うのです。しかも後述するように原子力施設では、安全上重要な施設・機器・配管に対しては、これ以上の大きな地震は考えられないという「限界地震」が設計に考慮されています。

米国で 300MPH の竜巻に対して安全設計してあるものについて、それを大幅に超える例えば 500MPH の竜巻を確率論的に仮定するとすればどうなりましようか。そういう想定はしないということを私は米国 NRC スタッフから確認したことがあります。当然のことです。

日本では大部分の地域において、歴史地震については千数百年以上の記録があり、活断層についても詳細な調査・研究が行われています。その結果、“地震は地域毎に、ある有限の広がり(震源域)のなかで最大数千年位までの間に蓄積されたエネルギーが、固有の再

来期間をもって放出されるものである。従って、本来原子力発電所の立地に不向きなような特定の地域を除けば、地域に発生する地震の規模にはある上限がある”と考えられています。私はこれを耐震専門家の合意と理解しています。設計用限界地震はその上限を満たすものであると考えられています。日本を幾つかの地域に分けてその地域特有の限界地震が研究者によって示されています。限界地震の規模は地域の地震地体構造等から想定されるものでありますので、原子力発電所サイトの選択方針から考えれば、サイト周辺の限界地震は上述の値を下回る値であります。サイトに対してマグニチュード  $M=7.5-8.5$  に達するものまでが原子力発電所用限界地震に想定されています。

原子力発電所は、特に地震活動度が高い地帯等を除き、活動度の高い活断層から十分に離隔されたサイトが選ばれて建設されます。1995年の阪神淡路島大地震は  $M=7.2$  といわれます。一般住宅のみでなく道路・橋梁・鉄道・高架高速道などの建造物が大きな被害を受けました。これら道路・橋梁等は活断層の近傍や活断層と交差して建設される必要がありますが、当該活断層によって発生する地震に耐えるような耐震設計をしているとは限りませんので、それを超える大地震には耐えられず崩壊するということになります。以前多摩川の堤防が洪水で破損して周辺住宅街が浸水し大被害が発生したことがあります。その際“河川の洪水は200～300年に一回は発生するかも知れない大洪水に対して設計されていますが、その時の洪水はそれを上回るものであった”という説明がされたことがあります。限界地震を設計に考える原子力発電所とは基本的に設計方針が違うものと理解します。

地震のPSAを行う一部の専門家は、地震発生確率  $P$  と地盤加速度  $A$  との間に確率関数で表される関係を仮定します。これを「地震ハザードカーブ」といいます。米国では、Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)カーブと Electric Power Research Institute (EPRI)カーブの二つを‘米国の東海岸側のサイトに対して’として提案されています。西海岸側についてはカーブは未だ示されていないようです。日本でも同様な性格の地震ハザードカーブが提案されています。

ここにカーブの図を示すことは省略します。確率  $1E-3$ /年に対して、LLNLカーブは加速度  $0.4g$ 、EPRIカーブは加速度  $0.1g$ 、日本カーブは加速度  $0.2g$  です。確率  $1E-4$ /年に対して、LLNLカーブは加速度  $0.8g$ 、EPRIと日本案のカーブは何れも  $0.3g$  です。確率  $1E-5$ /年に対してLLNLカーブは加速度約  $1.3g$  を超え、EPRIカーブは  $0.52g$ 、日本カーブは  $0.43g$  です。加速度約  $0.8g$  に対する確率がEPRIカーブで  $1E-6$ /年、日本案は  $1E-7$ /年となっています(加速度数値は図面から判断したおおよその値を示します)。こういう数値を通して富士山の右半分の裾野のように広い形で書かれています。ここに確率とは再来期間年数の逆数に相当すると考えられます。何れにしてもこれら三つのハザードカーブのデータにどのような科学的根拠があるかは疑問です。日本の耐震設計は現在は解放基盤表面で速度カインで与えられていますが、以前は加速度表示でありました。それはサイトによって違うのは当然であります。例として上げれば、設計用最強地震  $S1$  の加速度は  $300 \sim 400Gal$ 、設計用限界地震  $S2$  に対し  $450 \sim 500Gal$  とするのが典型的な数値でしょう。

現行の耐震設計審査指針によれば、耐震設計上検討を要する活断層は、第四紀に活動した断層をいいます。断層の平均変位速度  $mm$ /年であれば、変位速度が  $1mm$ /年以上がA級、 $1 \sim 0.1mm$ /年がB級、 $0.1mm$ /年以下がC級断層とされます。A級で1万年前以降活



動した活動度の高い断層は設計用最強地震(S1)として考慮されますが、A級活断層並びに5万年前以降に活動したB級とC級断層で活動度の高い活断層は、設計用限界地震(S2)の策定の際に考慮される、とされています。なお再来期間5万年以上の地震の生起確率は $1E-7$ オーダーであろうといわれますので、限界地震を上回る地震は現実の問題として発生しないと工学的に判断することが妥当であると考えられます。

すなわち「限界地震以上の加速度の地震は存在しないと判断」するということであって、ハザードカーブでいえば加速度がある一定値以上ではカーブは存在しないということです。カットオフレベルとも少し意味合いが違います。以上の設計地震の考え方からいえば、例示されているハザードカーブのような確率と加速度との間に、広範囲に亘って解析しやすいような確率曲線で表示をすることは、適切とは思われません。

米国では開発当初の耐震設計基準加速度は $0.1g$ でありましたが、ABWRを開発するにあたって、加速度を $0.3g$ とすることとなったため、過去の $0.1g$ 設計の原子炉施設に対して耐震設計のPSA評価をすることが要請され、その評価のためにハザードカーブが提案されました、ということを知ったことがあります。ヨーロッパ標準炉EPRは加速度 $0.2g$ と聞いています。

IAEA-NUSSで立地基準と耐震設計基準を策定するに際して、日本の専門家が基準策定に大変な寄与をしました。耐震設計基準は日本の基準を参考としてS1とS2地震に相当する考え方が提言されましたが、完全には受け入れられませんでした。NUSSでは“Maximum Potential Earthquake”に対して安全設計するという概念は記述されていますが、地盤加速度のピーク値は $0.1g$ を上回ることでされています。日本の耐震設計とは大変に違います。こういう背景にある米国等の耐震設計に対してPSAをするという目的で、ハザードカーブが提案されたと理解するべきでしょう。それにしてもカーブの裾野の広いことは理解出来ません。

結論としてまとめますと、日本のS1、S2地震を数倍上回る地震動を仮定して外的事象のPSA評価をすることは、誤解を招く結果になるので、賛成出来ません。

耐震設計の妥当性の評価を確率論的に行うとすれば、地質内の地震動伝播解析の不確かさ、施設設計における建築構造体内の地震動伝達応答解析の不確かさ、機器・配管の耐震設計余裕度の検討等について、詳細検討するため確率論的手法を適用することが適当と思います。

(原案協だより1999-10掲載)