

2013 年 6 月 12 日

## 耐津波工学委員会 成果報告書 4章の骨子案

担当幹事:成宮

## 【2,3,4 章の整理】

## A) 2,3 章との関係

- 2 章では原子力安全の総論としての機能を記載する。「2.2 求められる性能基準」では、安全の目的から展開した総括的な性能を記載する。3 章で東日本大震災における原子力発電所の挙動を踏まえた事故シナリオが展開されていて、安全に影響する事柄の整理が含まれている。
- 4 章では、3 章の事故シナリオをベースにして性能の展開を行い、性能とその維持・検査について、施設・設備に分けて記載することになっている。確保すべき安全機能と事故時に喪失する可能性のある安全機能を検討するには、津波の「影響」に対しての「性能」を考える必要がある。
- すなわち、次のような流れとなる。
  - 2 章『原子力安全とは何か』『安全機能』
  - 3 章『東日本大震災における原子力発電所の挙動』『津波を起因として想定される事故シナリオ』『津波に起因して事故の発生・進展に大きな影響を与える事項』
  - 4 章『プラントシステムとしての安全を達成する施設・設備の性能とその設計と維持の手段』

## B) 4 章の内容の見直し

- 4.1 では、3 章の事故シナリオと安全に影響を与える事項をベースにして、原子力施設の状態と安全機能を展開する。「4.2 耐津波要求性能」として、設計範囲とそれを超える範囲に分けて、影響を考察して機能要求を展開する。ここで「設計津波事象」の概念を導入する。
- 「4.3 性能を確保維持するための施策」として、設計津波に対する設計対応と維持確認について書く。ただ、5 章以降の記載が進展した段階でフィードバックをかけて、章間の関連性を強固にする。

## 【骨子案】

## 4 原子力施設の地震・津波安全に関する性能

## 4.1 対象とする原子力施設の状態と安全機能

原子力安全の目的は「人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護すること」である。それぞれの原子力施設における津波来襲時に、この目的が守れない事態を想定しつつ、原子力施設の状態を分類する。核燃料を扱う状態により、2つの状態軸で分類できる。一つは施設のライフサイクルにおける状態。すなわち、①立地選定から燃料装荷まで、②運転中、③廃止措置中、である。さらに、もう一つの状態軸として、燃料の取り扱いの違いで、核反応中か、崩壊熱を発生する状態の核燃料が貯蔵されているか、放射性物質を扱う・保管しているか、に分けられる。整理すると表 4-1 のようになる。

表 4-1 原子力施設の状態の分類

		ライフサイクル	
A: 原子炉施設	①立地選定から燃料装荷直前まで(施設内に核燃料が存在しない)	②運転中 (2-a)出力運転中(燃料は炉内) (2-b)運転停止中(燃料は SFP)	③廃止措置中 (3-a)燃料撤去前 (3-b)燃料撤去後
	—	(2-c)放射性廃棄物が施設内別建屋に貯蔵	(3-c)施設外へ持ち出し
B: 加工施設、再処理施設	①核燃料受け入れ前(施設内に存在しない)	②核燃料受け入れ後(施設内に存在する)	③廃止後 (3-a)核燃料物質が存在するが処理はしていない (3-b)核燃料物質が存在しない
C: 埋設施設	①受け入れ前	②受け入れ後	—
D: 貯蔵施設	①受け入れ前	②受け入れ後	—

この分類に従い、状態を整理すると次のようになる。

- (1)A-2-a: 原子炉が核反応中の状態。
- (2)A-2-b, A-3-a, B-②, D-②: 崩壊熱を発生する核燃料が施設内に存在する。
- (3)A-2-c, C-②: 放射性廃棄物が施設内に存在する。
- (4)A-①, A-3-b, A-3-cB-①, C-①, D-①: 施設内に核燃料が存在しない。一般の施設と同じとして、本委員会の対象外とする。

なお、表 4-1 の A-①は、もし設計段階で津波の対策を盛り込めるかどうかの視点が本委員会の検討で必要な場合には、①新設計新設炉(将来)、②既設計新設炉(申請中は敦賀3、4、建設中は大間、島根3、東通1)、を考慮することが必要である。

ここで、津波に対する施設の安全性を見ることで、それぞれの原子力施設が確保すべき機能を抽出する。まず、旧原子力安全・保安院が電力各社に指示した「発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価(いわゆるストレステスト) 一次評価」では、『設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合に、燃料の重大な損傷に至ることなく、どの程度の津波高さまで耐えられることができるかの評価』を行っている。停止、冷却、格納の3機能が確保されていることが求められる。同様に「核燃料サイクル施設の安全性に関する総合的評価」では、『安全機能の喪失が津波により発生するとして施設が過度の放射線被ばくを与える事象に至らないこと』を評価している。安全機能としては、次の4つが挙げられている。再処理施設では、“崩壊熱除去機能喪失”の冷却機能も対象になるが、加工施設においては、崩壊熱を発生する状態の核燃料物質を取り扱わないことから、“崩壊熱除去機能喪失”は対象としておらず、格納機能のみが対象という事になる。

- 全交流電源喪失
- 崩壊熱除去機能喪失
- 水素の滞留防止・供給停止機能喪失

- これらの重量

これらの安全機能は、表 4-1 から導出した(1)～(3)の状態において確保が必要になる。表 4-2 のように整理できる。

表 4-2 原子力施設の状態と安全機能

状態	必要な安全機能	津波来襲時の被害(例)
(1)A-2-a: 原子炉が核反応中の状態	停止、冷却、格納	崩壊熱除去のための冷却系が電源喪失で機能しない。
(2)A-2-b,A-3-a,B-②,D-②: 崩壊熱を発生する核燃料が施設内に存在する。	冷却、格納	SFP 冷却系に必要な補助冷却系の電源が喪失し、SFP の冷却ができない。
(3)A-2-c,C-②: 放射性廃棄物が施設内に存在する。	格納	放射性廃棄物を収めている施設内の建屋が津波で浸水、放射性廃棄物のドラム缶が流出。

なお、浜岡1, 2のように通常の手続きで廃止措置段階にあるものと、過酷事故により、炉心が大規模に損傷した福島第一1, 2, 3とは、(2)の状態には含まれるが、冷却機能および格納機能の状況が異なるため、福島第一1, 2, 3は対象とはするが、別にまとめる。

## 4.2 原子力発電所を構成するシステムと機器の対津波要求性能

### 4.2.1 影響

- 2章で明確にした原子力安全を、地震・津波の来襲時においても達成できるよう、深層防護の概念が成立していること。
- そのためには、SSC(構造物、システム、機器)が維持すべき「性能」、そして、地震・津波が与える「影響」をそれぞれ関連させて整理する。ベースとするのは3章で抽出した事故シナリオ。
- 「影響」は、次の想定。いずれも、設計で想定する範囲と、それを超える範囲に分かれる。
  - 1)浸水による影響(設備の没水, 被水)
  - 2)波の力による影響(津波波力, 流体力, 浮力)
  - 3)海底砂移動
  - 4)引き波による水位低下
  - 5)漂流物の発電所設備への衝突による影響

### 4.2.2 設計津波事象

- 設計想定津波を超える津波が来襲し、プラントに影響を及ぼす場合に、その対策の有効性を見る「設計基準事象」に相当する「設計津波事象」の概念を導入する。
- 内の事象の LOCA(冷却材喪失事故)は設計想定を超える事象として発生した場合に、緩和系が働き、原子炉を安全に収束させるための想定事象である。津波の場合にも、設計津波高さ・波力などに対して安全上重要な設備が機能を維持することを確認する事象を想定し

た方が、津波対策の機能確認の導入が合理的である。

- たとえば、防潮堤を超えて津波がサイト内に浸入することを想定する。これは設計津波高さに余裕を持って設計されるとすると、内的事象で言えば、使用状態に余裕をみて設計した配管が破断することに相当する。しかし、超えたからと言って即炉心損傷ではなく、建屋の耐水性、水密扉、開口部の密封などの対策が超えた津波による水圧に耐えているかを評価することで、「設計津波事象」により対策の妥当性を評価することになる。

#### 4.2.3 建物・構築物に対する機能要求

建物・構築物は、設計で想定する津波が発生した場合に、以下に示す安全状態を維持しなければならない。

- (1)耐津波 St クラスの建物・構築物は、基準津波 Ts による影響に対して機能が維持されること。
- (2)耐津波 Si, Se クラスの建物・構築物は、基準津波 Ts による影響に対して、求められる浸水防止機能が維持されること。
- (3)耐津波 Bt クラスの建物・構築物は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響に対して機能が維持されること。
- (4)耐津波 Bi, Be クラスの建物・構築物は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響に対して、求められる浸水防止機能が維持されること。
- (5)間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき建物・構築物は、基準津波 Ts, 耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響によっても、上位のクラスの施設への波及的影響が生じないこと。

\*「津波による影響から障壁により隔離」を行う主要設備及び補助設備の津波防護施設(外部障壁), 津波防護設備(複合障壁)は、防護する設備と同一の耐津波クラスとし、津波防護施設については Se, Be, 津波防護設備については Si, Bi と表記する。

#### 4.2.3 機器・配管系に対する機能要求

設計で想定する津波が発生した場合に、一般公衆及び従事者等に過度の放射線被ばくのリスクを与えないように、以下に示す安全状態を維持しなければならない。

- (1)原子炉冷却材圧力バウンダリの機能が維持されること。
- (2)原子炉を停止させ、かつ、安全停止状態が維持されること。
- (3)原子炉停止後、炉心からの崩壊熱を除去する機能が維持されること。
- (4)原子炉格納容器の機能が維持されること。
- (5)使用済燃料貯蔵施設の機能が維持されること。

#### 4.2.4 設計基準津波を超えた事態に対する機能要求

設計で想定する津波を超える津波が発生した場合にも、一般公衆及び従事者等に過度の放射線被ばくのリスクを与えないように、4.2.3 の5つの事項が維持される必要がある。その性能を、設計津波事象により確認する。

### 4.3 性能を確保維持するための施策

## 4.3.1 耐津波設計の基本的考え方

- プラントの耐津波性の設計の基本的考え方は、次のいずれかの施策あるいはその組み合わせにより、防護することを基本とする。
  - 津波による影響が到達しない標高に設置(避ける)
  - 津波による影響から障壁による隔離(防ぐ)
  - 津波による影響に対して機能維持できるように設計(耐える)
- 津波に随伴して発生する、漂流物の衝突、火災などによっても安全機能が重大な影響を受けることの無いよう設計する。
- 施設ごとの設計に加え、施設全体として耐津波性が均衡を欠くことの無いよう配慮。

## 4.3.2 耐津波重要度

- 耐津波設計を合理的に行うため、安全上の観点から耐津波 S クラス、耐津波 B クラスに分類する。

表 4.2 耐津波重要度と該当施設

耐津波 S クラス	(A)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、(B)これらの事態を防止するために必要なもの、並びに(C)これらの事故発生の際に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、その影響の大きいもの。 ただし、上記のうち(B)及び(C)については、津波来襲時に必要とされる施設を合理的に選定して重要度を分類することができる。	a.「原子炉冷却材圧力バウンダリ」を構成する配管・機器系 b. 使用済燃料を貯蔵するための施設 c. 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 d. 原子炉の停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 e. 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の施設 f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設 g. 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設備で上記f. 以外の施設
耐津波 B クラス	上記において影響が比較的小さいもの。	a. 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得る施設 b. 放射性物質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周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く c. 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、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設 d. 使用済燃料を冷却するための施設 e. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、耐津波 S クラスに属さない施設
耐津波 C クラス	上記に加えて、耐津波 S,B クラス以外で、耐津波 S, B クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性のあるすべてのもの	

## 4.3.3 耐津波設計方針

## (1) 津波に対する防護の基本方針

## ① 基準津波の遡上の防止

耐津波 S クラス施設を基準津波 Ts による遡上波が到達しない標高に設置するか、又は津波防護施設(耐津波 Se クラス)により、耐津波 S クラス施設を設置する敷地に基準津波 Ts による遡上波を直接到達、流入させないことを基本とする。

## ②浸水範囲の限定

取水・放水施設や地下部等, あらゆる経路からの浸水を考慮し, 津波防護設備(耐津波 Si クラス)を設置することにより耐津波 S クラスの施設を設置する敷地における浸水範囲を限定する。また, 浸水範囲並びにその周辺であって浸水の拡大を想定すべき範囲(浸水想定範囲)の中に耐津波 S クラスの施設がある場合には, 津波防護設備(耐津波 Si クラス)により防水区画化し浸水を抑制する。ただし, 十分な構造強度により津波による影響に対して機能維持が期待される場合には, 耐津波 St クラスに分類し, 防水区画の設定を要しない。

なお, 浸水想定範囲に長期間の冠水が想定される場合は排水設備を設置する。

## ③浸水防護重点化範囲の設定

耐津波 S クラスの施設を内包する建屋又は建屋内の区画(機器室等)を浸水防護重点化範囲とし, その境界における浸水想定経路(扉, 開口部, 貫通口等), 及び当該施設が地下構造を有する場合には周辺地下部からの浸水想定経路を特定した上で, 津波防護設備(耐津波 Si クラス)を設けることにより浸水を防止する。

## ④多重化・多様化の考慮

上記①, ②による敷地内への浸水防止対策及び③による浸水防護重点化範囲内への浸水防止対策の信頼性を総合的に勘案した上で, 必要に応じて耐津波 S クラスの施設の機能を維持するための設計の多重化・多様化を図る。

## ⑤耐津波 B クラス施設の防護方針

耐津波 B クラス施設は, その設計に用いる津波を別に設定し, 津波防護施設(耐津波 Be クラス)及び津波防護設備(耐津波 Bi クラス)により当該の津波による影響を抑制することにより必要な機能が維持できるよう設計するか, 又は当該の津波による影響が直接作用したとしても必要な機能が維持できるよう設計する。

## (2) 引き波, 砂移動, 洗掘に対する設計方針

## ①引き波に対する設計方針

取水施設及び海水冷却設備は, 基準津波 Ts の引き波時の水位下降を適切に想定し, 原子炉の冷却に支障を与えないように設計する。

## ②砂移動に対する設計方針

取水施設及び海水冷却設備は, 基準津波 Ts による砂の移動を適切に想定し, 原子炉の冷却に支障を与えないように設計する。

## ③洗掘に対する設計方針

原子炉施設は, 津波により生じる可能性のある建物・構築物, 機器・配管系の周辺における洗掘を適切に想定し, それらの支持機能に支障を与えないよう設計する。

## (3) 津波随件事象に対する設計方針

## ①漂流物に対する設計方針

原子炉施設は, 確認用津波により原子力発電所に来襲するか, 又は原子力発電所において生じる可能性のある漂流物を適切に想定して, その衝突等による波及的影響が及ばないよう設計する。

②津波随伴火災に対する設計方針

原子炉施設は、津波による外部からの可燃性流体の漂着、発火、可燃性物質を内包する施設、設備等の破損、発火及び電気設備の被水による発火等を適切に想定し、これらによる火災の影響を受けないよう設計する。

4.3.4 運転管理

耐津波設計に関わる施設のうち、津波防護機能または浸水防止機能が運用に依存する施設・設備に関しては、津波来襲時にその機能が十分発揮できる状態に保持されるよう、適切な措置を講じる。また、浸水想定範囲内の恒設設備以外のもの(工事用資機材、車両等)について、津波来襲時に耐津波重要度が上位の施設に波及的影響を及ぼすことがないよう、適切な措置を講じる。

以上