

玄海原子力発電所 3号炉及び4号炉

耐震設計の基本方針について

平成29年1月19日

九州電力株式会社

1. 耐震設計の基本方針
 - 1-1 基本方針
 - 1-2 耐震重要度分類
 - 1-3 設計用地震力
 - 1-4 地震による荷重と運転時、事故時荷重との組合せ
 - 1-5 許容限界
2. 耐震設計評価に係る主な確認事項
 - 2-1 今回の申請における耐震性評価の考え方
 - 2-2 具体的な施設の評価方針
 - 2-2-1 建物・構築物
 - 2-2-2 機器・配管系
 - 2-2-3 屋外重要土木構造物
 - 2-3 Sクラス施設への下位クラス施設の波及的影響
 - 2-3-1 波及的影響に係る検討フロー
 - 2-3-2 波及的影響に係る検討事象の整理
 - 2-3-3 波及的影響に係る設計情報による検討
 - 2-3-4 波及的影響に係る現場確認
 - 2-4 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せの評価方針
3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について

1. 耐震設計の基本方針

1-1 基本方針（1）

耐震設計は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」及びその解釈を踏まえ、以下の方針とする。

- (1) 設計基準対象施設は、地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失及びそれに起因する放射線による公衆への影響の程度に応じ、耐震重要度分類を、Sクラス、Bクラス、Cクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分に耐えられるように設計する。
- (2) Sクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く）は、基準地震動 S_s による地震力に対して、その安全機能が保持できるように設計するとともに、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は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範囲で耐えられる設計とする。
また、Sクラス施設は、下位クラスに属する施設の波及的影響により、安全機能を損なうことのないようにする。
- (3) 設計基準対象施設は、重要度に応じて定められる、静的地震力（地震層せん断力係数 C_i に基づく水平地震力）に対して耐えるようにする。また、Bクラス施設のうち、共振のおそれのある施設についてはその影響を検討する。
- (4) 弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s に係数を乗じて設定する。ここで、係数0.6は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえた値とし、弾性設計用地震動 S_d が「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂）」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルを下回らないよう配慮し、余裕を持たせた値としている。
- (5) 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、基準地震動 S_s による動的地震力に対して、要求される機能（津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能）を保持できるように設計する。

1-1 基本方針（2）

- (6) 常設耐震重要重大事故防止設備又は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 S_s 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ように設計する。
また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が、Bクラス及びCクラスの施設、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、可搬型重大事故等対処設備、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備のいずれにも属さない常設の重大事故等対処施設の波及的影響によって、重大事故等に対処するために必要な機能が損なわないように設計する。
- (7) 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は、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に十分に耐えることができるように設計する。
- (8) 地震による荷重は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時、事故時の荷重と適切に組み合わせて評価する。
- (9) 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。なお、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用し、影響が考えられる施設、設備については許容限界の範囲内に留まることを確認する。
- (10) 評価に当たっては、既工認で実績のある評価手法・許容限界を用いることを基本とする。また、試験等で妥当性が確認されている評価手法・許容限界についてもその妥当性、適用性を確認したうえで用いることとする。

(1)については1-2、(8)については1-4、(10)については1-5で説明する。

(2) (3) (4) (5) (6) (7) (9)については1-3、1-4、1-5の中で説明する。

1-2 耐震重要度分類

設計基準対象施設は下表のとおり、その重要度によりSクラス、Bクラス、Cクラスに分類する。

| 耐震重要度分類 | 該当する設備 |
|---------|---|
| Sクラス | <ul style="list-style-type: none"> (a) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 (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に、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施設であり、前項以外の施設 (h) 津波防護機能を有する施設及び浸水防止機能を有する設備 (i) 敷地における津波監視機能を有する施設 |
| Bクラス | <ul style="list-style-type: none"> (a) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 (b) 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分に小さいものは除く。） (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、Sクラスに属さない施設 |
| Cクラス | 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 |

1-3 設計用地震力 (1)

各施設の耐震重要度に応じて定める地震力は以下のとおりとする。なお、動的地震力を算定する地震応答解析においては、建物・構築物の剛性及び地盤物性の不確かさを考慮する。

次ページ以降に、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトル及び加速度時刻歴波形を示す。

| | 重要度分類 | 静的地震力 (注1) | | 動的地震力 (注1) (注2) | |
|----------------------------|--|---------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 |
| 建物・構築物 (注3) | S | $3.0C_i$ (注4) | 0.240 | S_s, S_d | S_s, S_d |
| | B | $1.5C_i$ (注4) | — | $S_d \times 1/2$ (注5) | $S_d \times 1/2$ (注5) |
| | C | $1.0C_i$ (注4) | — | — | — |
| 機器・配管系 | S | $3.6C_i$ (注4) | 0.288 | S_s, S_d | S_s, S_d |
| | B | $1.8C_i$ (注4) | — | $S_d \times 1/2$ (注5) | $S_d \times 1/2$ (注5) |
| | C | $1.2C_i$ (注4) | — | — | — |
| 土木構造物 | C | $1.0C_i$ (注4) | — | S_s (注6) | S_s (注6) |
| 津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備 | S | — | — | S_s | S_s |
| 波及的影響 | — | — | — | S_s | S_s |
| 重大事故等対処施設 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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については、代替する機能を持つ設備がSクラスの場合は基準地震動S_sによる地震力、代替する機能を持つ設備がB、Cクラスの場合は各クラスに適用される地震力 ・ 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については、基準地震動S_sによる地震力 | | | | |

(注1) 機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

(注2) S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

なお、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

(注3) 建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、施設の耐震設計上の重要度分類に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数に乗じる施設の耐震設計上の重要度分類に応じた係数はS、B、Cクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は耐震設計上の重要度分類にかかわらず1.0とする。

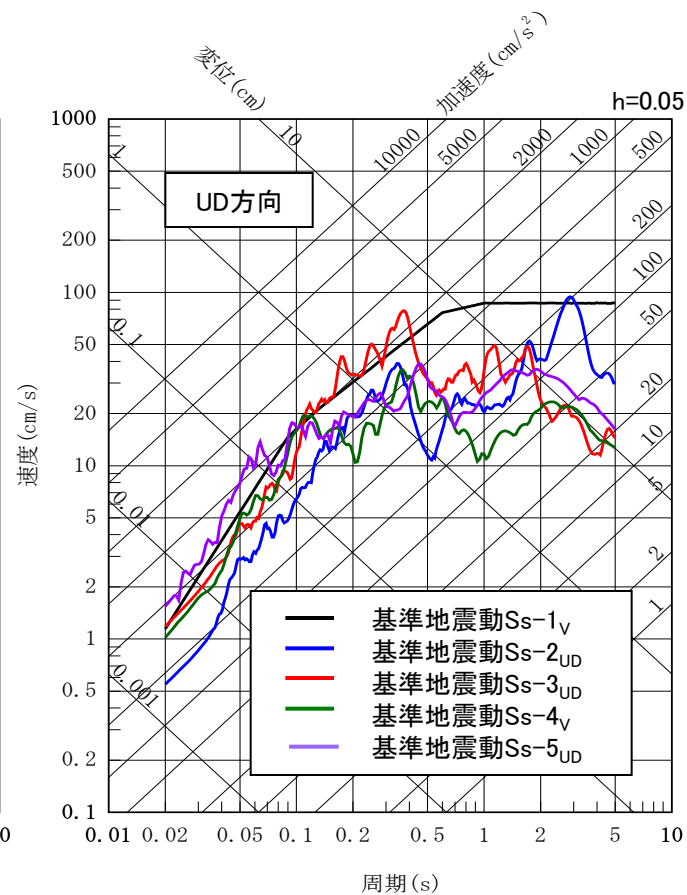
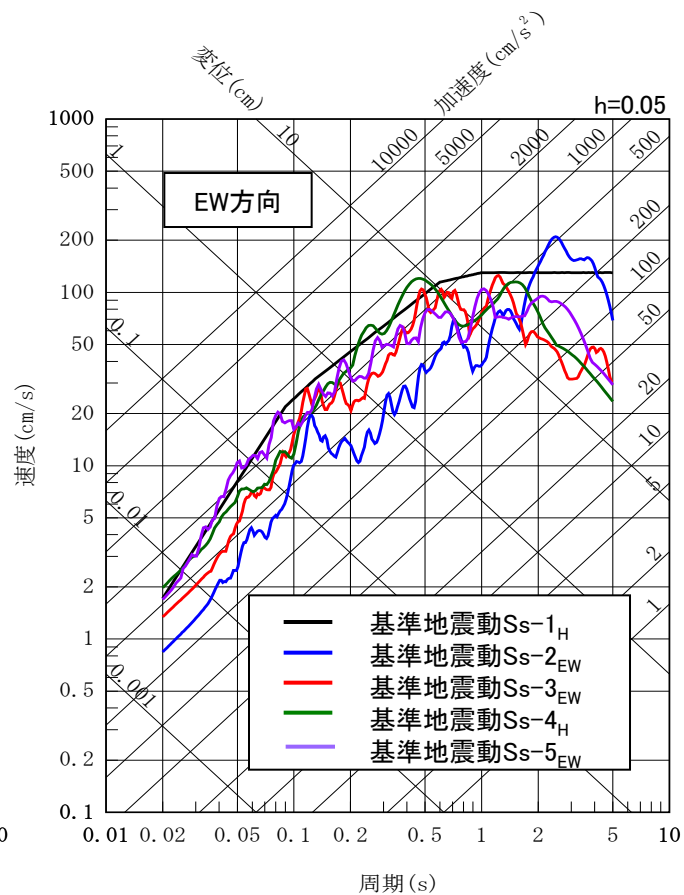
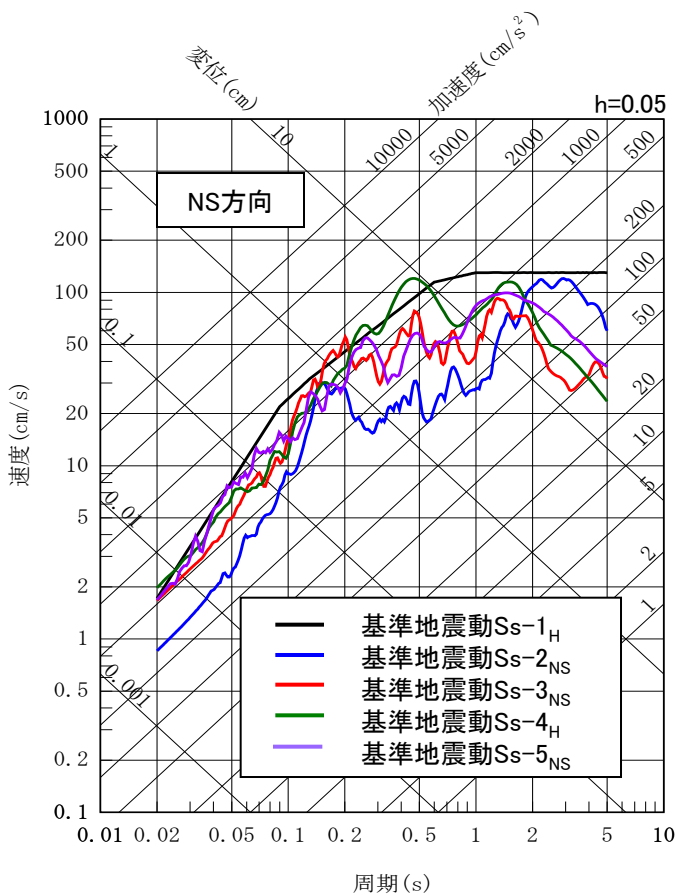
(注4) C_i : 標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$C_i = R_i \times A_i \times C_0$ 。 R_i : 振動特性係数 A_i : C_i の分布係数 C_0 : 標準せん断力係数 0.2

(注5) 地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

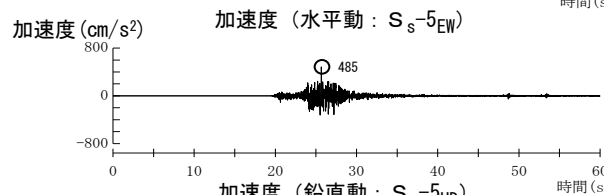
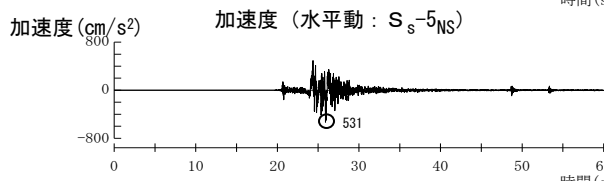
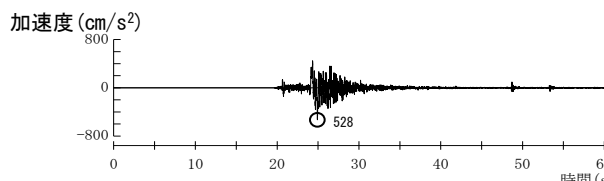
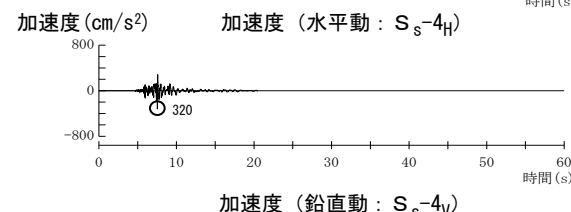
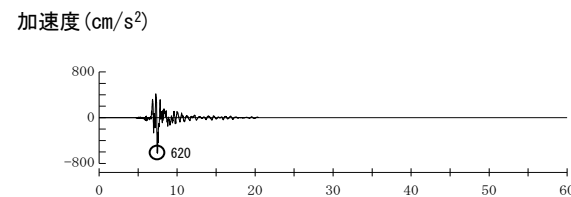
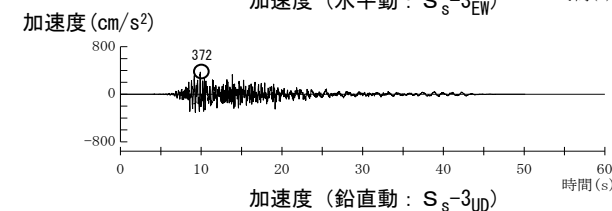
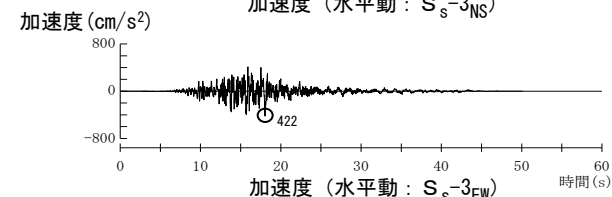
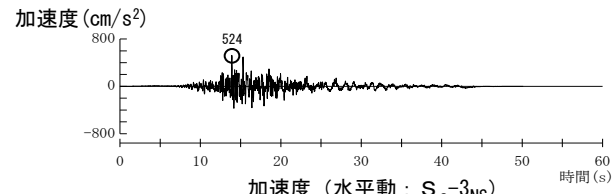
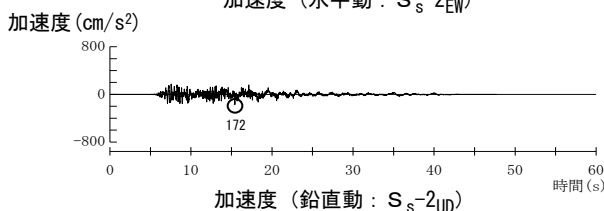
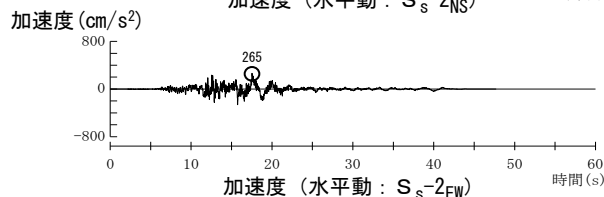
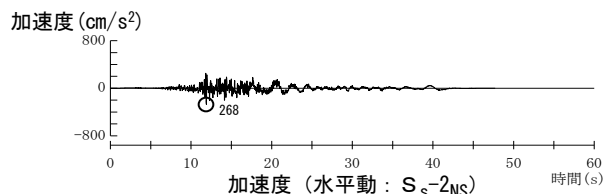
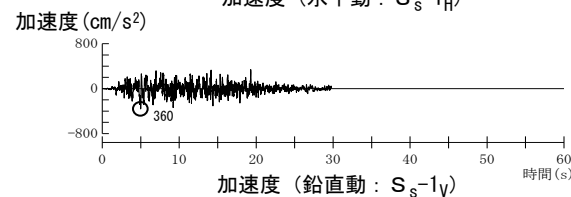
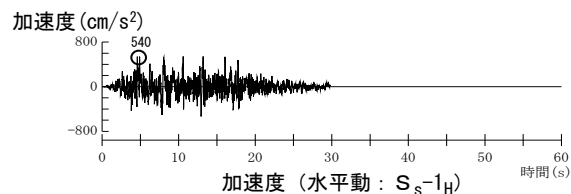
(注6) 屋外重要土木構造物のみに適用

● 基準地震動Ssの応答スペクトル



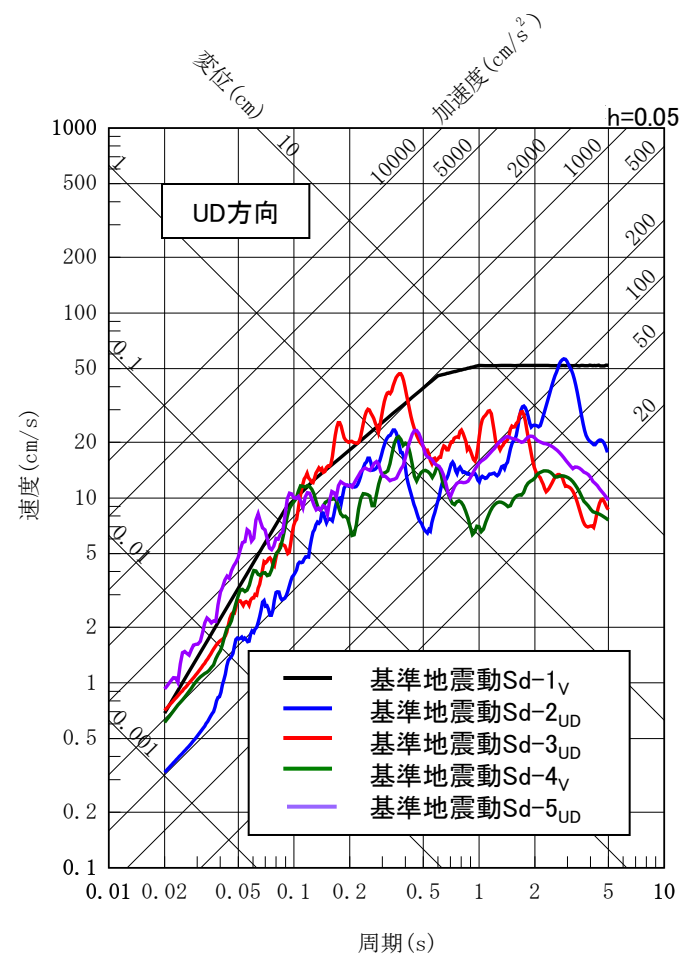
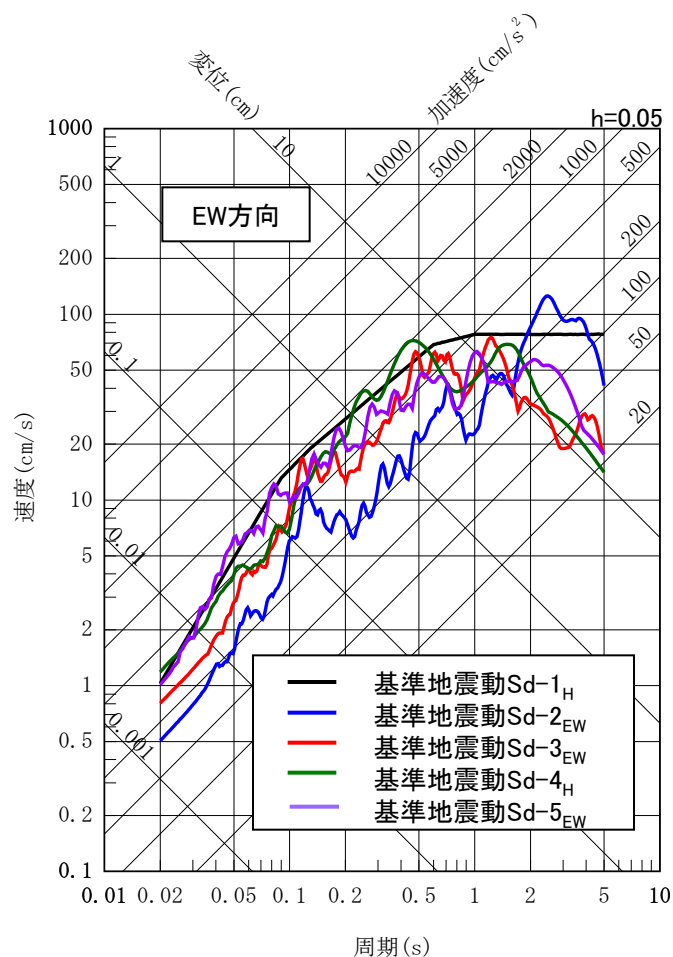
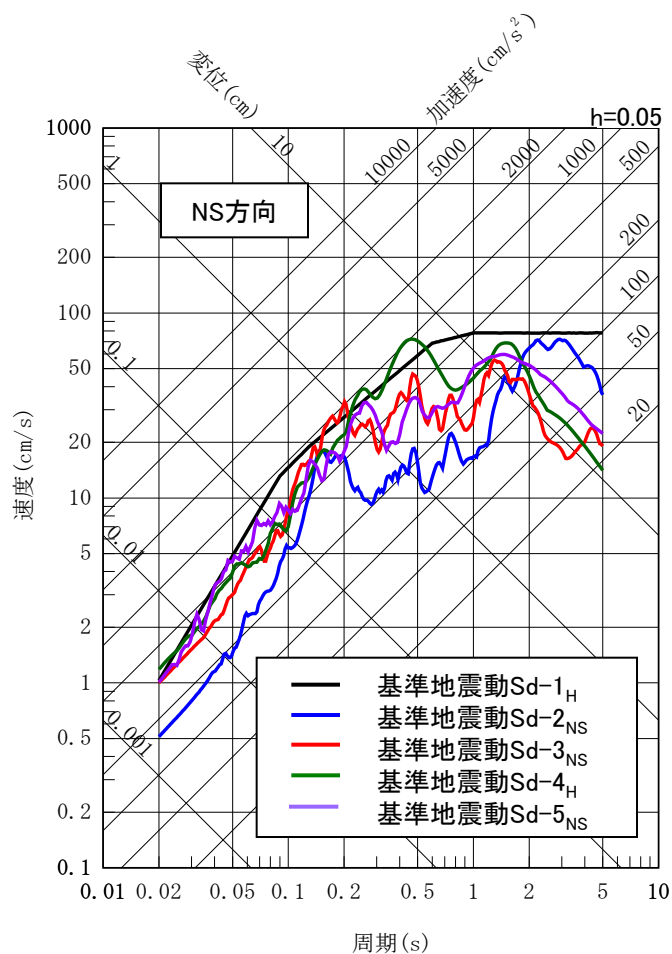
1-3 設計用地震力 (3)

● 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形

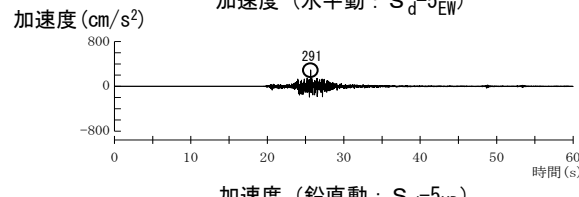
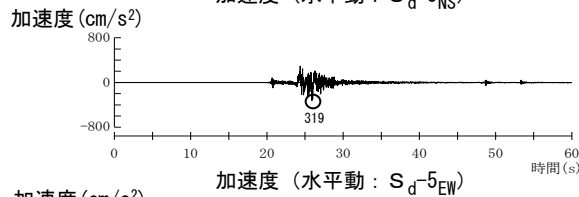
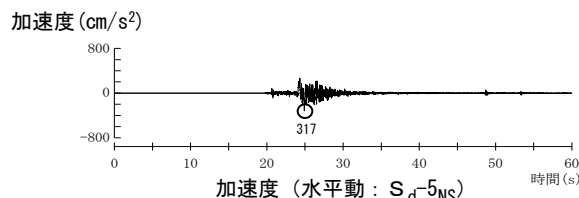
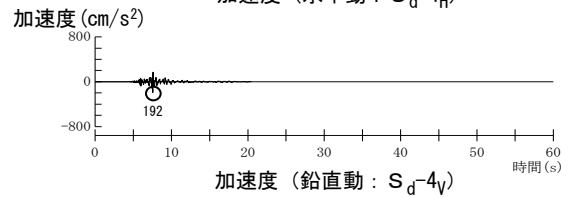
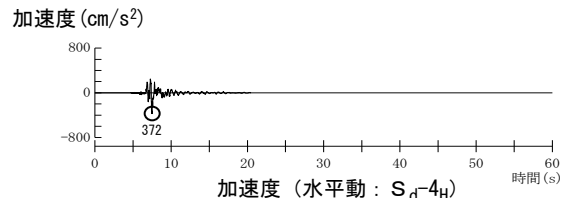
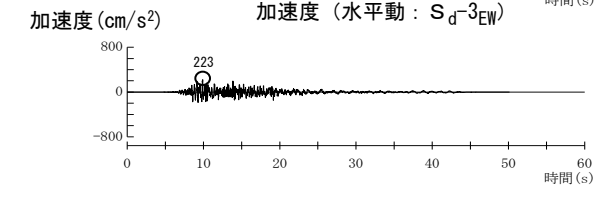
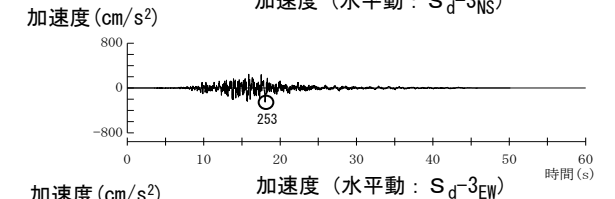
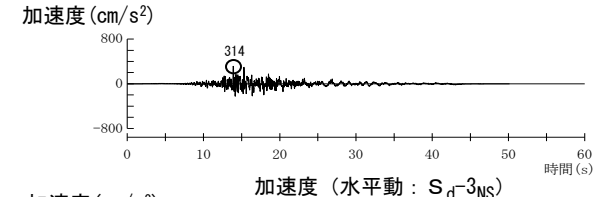
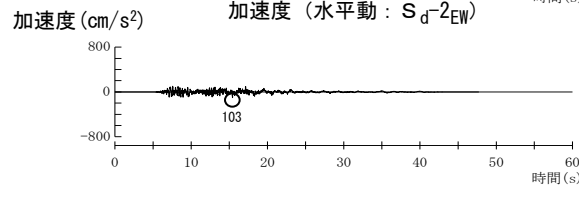
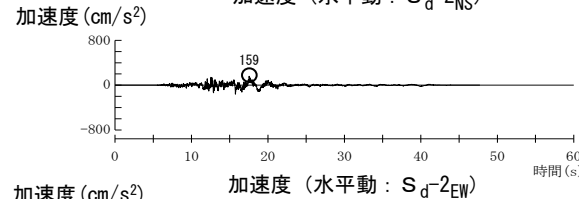
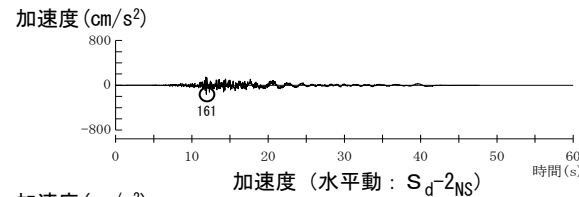
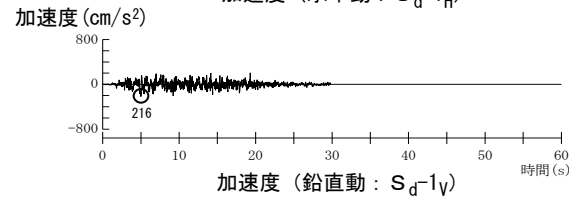
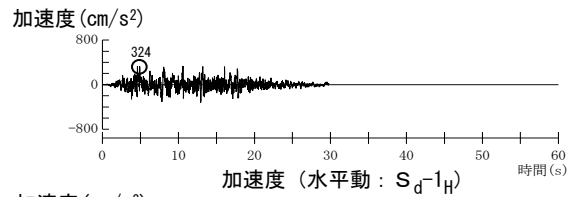


1-3 設計用地震力 (4)

● 弾性設計用地震動Sdの応答スペクトル



● 弾性設計用地震動Sdの加速度時刻歴波形



1-4 地震による荷重と運転時、事故時荷重との組合せ（1）

地震による荷重は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時の荷重、並びに設計上考慮すべき自然条件の荷重と適切に組み合わせて評価する。なお、この組合せの考え方はJEAG4601・補-1984に従う。

1. 設計基準対象施設

a. 建物・構築物

(a) Sクラス

1. 地震力と常時作用している荷重及び運転時（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）に施設に作用する荷重とを組み合わせる。
2. 常時作用している荷重及び事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動Sdによる地震力又は静的地震力を組み合わせる。

(b) B、Cクラス

常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系

(a) Sクラス

1. 通常運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
2. 運転時の異常な過渡変化時の状態及び事故時の状態のうち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と地震力とを組み合わせる。
3. 運転時の異常な過渡変化時の状態及び事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合長時間継続する事象による荷重はその事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ適切な地震力と組み合わせる。

(b) B、Cクラス

通常運転時の状態で施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重と動的地震力又は静的地震力を組み合わせる。

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物

地震力と常時作用している荷重及び運転時（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）に施設に作用する荷重とを組み合わせる。

(b) その他の土木構造物

常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と静的地震力を組み合わせる。

d. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

(a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物

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Ssによる地震力を組み合わせる。また、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動Ssによる地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。

(b) 浸水防止設備及び津波監視設備

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Ssによる地震力を組み合わせる。また、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動Ssによる地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。

なお、重大事故等対処施設を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

2. 重大事故等対処施設

a. 建物・構築物

- (a) 常設耐震重要重大事故防止設備又は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
 - イ. 常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
 - ロ. 常時作用している荷重、設計基準事故時の状態及び重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち、地震によって引き起こされるおそれがある事象によって作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
 - ハ. 常時作用している荷重、設計基準事故時の状態及び重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち地震によって引き起こされるおそれがない事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力（基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d による地震力）と組み合わせる。
- (b) 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
常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系

- (a) 常設耐震重要重大事故防止設備又は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
 - イ. 通常運転時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
 - ロ. 運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等の状態で作用する荷重のうち、地震によって引き起こされるおそれがある事象によって作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
 - ハ. 運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等の状態で作用する荷重のうち地震によって引き起こされるおそれがない事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力（基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d による地震力）と組み合わせる。
- (b) 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
通常運転時の状態又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重と動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

c. 土木構造物

設計基準対象施設の土木構造物の荷重の組合せを適用する。

1-5 許容限界（1）

各施設の地震力と他の荷重の組み合わせた状態に対する許容限界は以下のとおりJEAG4601・補-1984、発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版)及び発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(2003年版)などの規格基準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いている。

a. 建物・構築物

(a) Sクラス

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

1次冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ(原子炉格納容器バウンダリにおける長期的荷重との組合せを除く。)に対しては、下記(a)ロ.に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)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て妥当な安全余裕をもたせることとする。

(b) Bクラス及びCクラス

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。

b. 機器・配管系

(a) Sクラス

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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留まるものとする。

1次冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ(原子炉格納容器バウンダリ及び非常用炉心冷却設備等における長期的荷重との組合せを除く。)に対しては、下記(a)ロ.に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみ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ように応力荷重等を制限する値を許容限界とする。また、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とする。

(b) Bクラス及びCクラス

応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

(c) 燃料集合体

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の1次冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破損を生ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないことを確認する。

(前頁の続き)

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物

構造部材の曲げについては曲げ耐力、限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

(b) その他の土木構造物

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。

d. 津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備

(a) 津波防護施設及び浸水防止設備等が設置された建物・構築物

当該施設及び建物・構築物が構造全体として変形能力(終局耐力時の変形)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機能(津波防護機能及び浸水防止機能)を保持することとする。

(b) 浸水防止設備及び津波監視設備

その設備に要求される機能(浸水防止機能及び津波監視機能)を保持することとする。

e. 重大事故等対処施設

(a) 常設重大事故防止設備

1-3の地震力に対して必要な機能が喪失しないことを確認する。

(b) 常設重大事故緩和設備

1-3の地震力に対して必要な機能が喪失しないことを確認する。

2. 耐震設計評価に係る主な確認事項

2-1 今回の申請における耐震性評価の考え方

今回の申請における耐震評価方針は以下のとおりとする。

（評価方針）

- 評価対象は実用炉規則別表第二の対象施設のSクラスのDB施設及びSA施設とする。また、BクラスのDB施設のうち、共振のおそれのある施設も評価対象とする。
- 当社の品質管理のプロセスに従って、SクラスのDB施設及びSA施設の間接支持構造物や、波及的影響に関する施設についても、評価対象として追加し、網羅性を確認して評価を実施する。
- 既工認等の審査実績、規制基準における従前よりの変更点（鉛直方向に動的地震力を考慮など）を踏まえ、規制基準に基づき施設の耐震性を評価するうえで必要な評価部位、評価項目についてすべて評価を実施する。
- 評価手法、許容限界は「1. 耐震設計の基本方針」に従うこととし、最新の知見等を反映して新たに採用した過去の許認可等で実績のある評価手法、許容限界を適用することを基本とする。実績のないものを用いる場合はその妥当性、適用性を確認した上で用いることとする。
- 他の評価で安全側に包絡できることが明らかである場合は評価を省略することがあるが、その際には評価を省略することの妥当性を示す。

2-1 今回の申請における耐震性評価の考え方（2）

（1）評価対象施設の網羅性

評価対象施設について、規制基準の要求に照らし必要な施設が網羅されていることを以下により確認する。

- 実用炉規則別表第二の記載項目に基づき、対応するSクラスのDB施設及びSA施設並びにそれらの上位クラス施設へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設が評価対象となっていることを確認する。また、BクラスのDB施設のうち、共振のおそれのある施設が評価対象となっていることを確認する。
- 実用炉規則別表第二対象のSクラスのDB施設及びSA施設について、間接支持構造物、波及的影響に関する施設が評価対象となっているか確認する観点で、重要度分類表及びSA設備分類表による整理を行い、評価対象施設に漏れがないことを確認する。

（2）評価部位・評価項目の代表性

- DB施設の評価において、評価部位は既工認の実績に照らして網羅されていることを確認する。また、他の部位で代表可能なもの等について、評価を省略する場合は、その妥当性を説明する。
- 評価項目（応力分類等）が規格基準に照らし網羅されていることを確認する。また、他の評価項目（応力分類等）で代表可能なもの等について、評価を省略する場合は、その妥当性を説明する。
- 計算結果は、必要な評価部位についてすべて評価していることを確認する。

（3）評価手法に関する既工認との差異

今回の評価で用いた各施設の評価手法・評価条件・解析モデルについて、既工認との差異を整理し、その妥当性を説明する。

2-2 具体的な施設の評価方針

評価対象施設※1

| 実用炉規則別表第二に基づく申請施設 | 耐震重要度分類 | 重大事故等対処施設の設備分類 | 間接支持構造物 |
|-------------------|---------|------------------------------|---------------------|
| 原子炉格納容器 | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備 | ※3 |
| 格納容器再循環サンプ | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 | |
| アニュラス区画構造物 | S | 常設重大事故緩和設備 | 原子炉周辺建屋※4 |
| 使用済燃料ピット | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備 | |
| 燃料取替用水ピット※2 | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備 | |
| 復水ピット※2 | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備 | |
| 中央制御室遮へい | S | 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備 | 原子炉補助建屋 |
| 代替緊急時対策所 | C | 常設重大事故緩和設備 | 代替緊急時対策所(建屋) |
| 緊急時対策所(緊急時対策棟内) | C | 常設重大事故緩和設備 | 緊急時対策所(緊急時対策棟内)(建屋) |

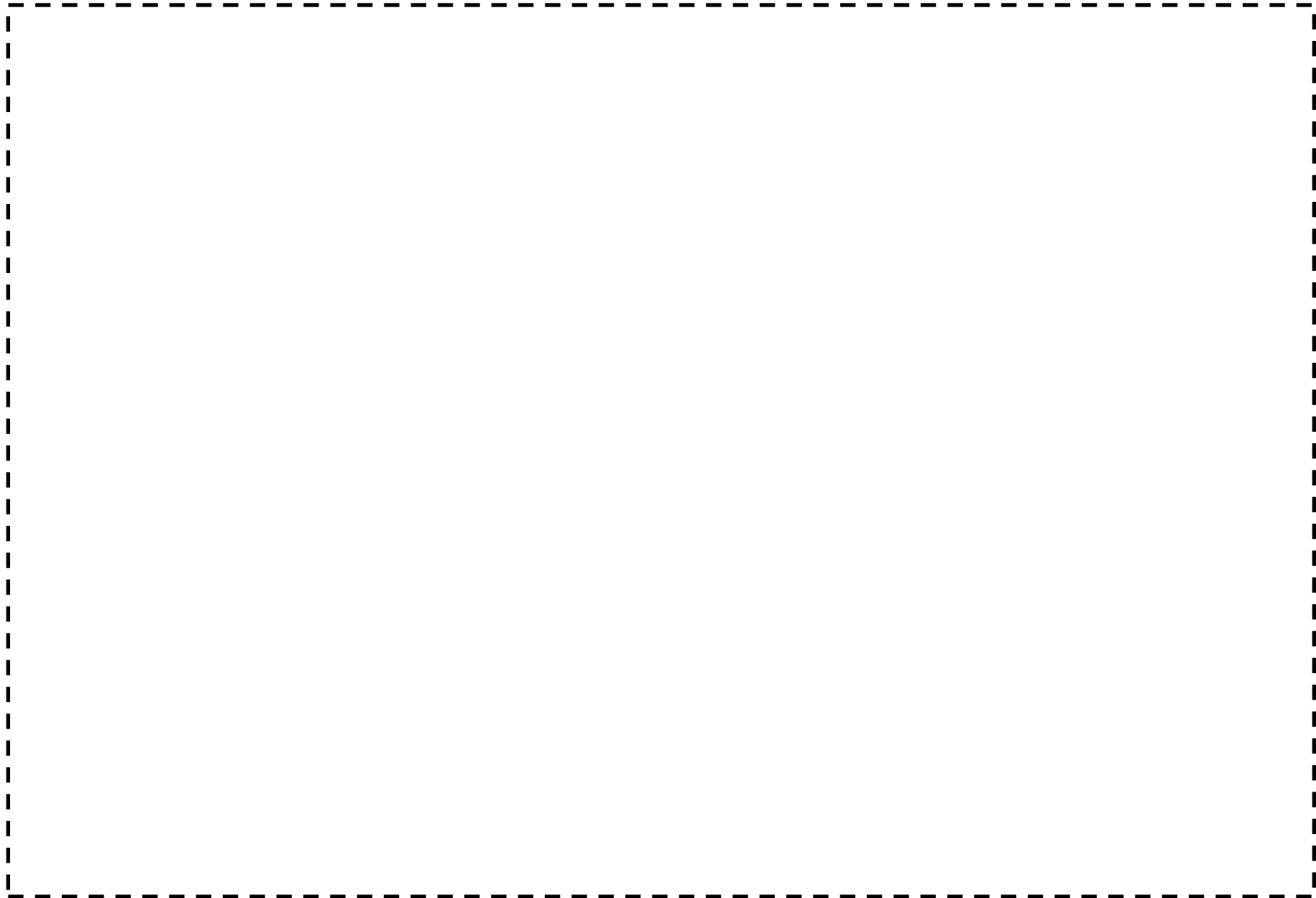
※1: 上記に加え、Sクラス設備である機器・配管系の間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設として、内部コンクリート、燃料取替用水タンク建屋、燃料油貯油そう基礎、燃料油貯蔵タンク基礎の評価を実施。常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設として、大容量空冷式発電機用燃料タンク基礎の評価を実施。また、設計基準対象施設であるディーゼル発電機の附属資機材であるタンクローリを竜巻から防護するための施設及び常設重大事故等対処設備である非常用電源設備の関連設備であるタンクローリに波及的影響を及ぼすおそれのある施設として、タンクローリ車庫及び第1重大事故等対処設備保管庫の評価を実施。

※2: 4号炉のみ

※3: 原子炉格納容器は、岩盤に直接支持。格納容器再循環サンプは、原子炉格納容器底部の一部。

※4: 4号炉使用済燃料ピット(原子炉周辺建屋内)は、ピットの底部が岩盤に直接支持

玄海3号炉及び4号炉建物・構築物の評価対象施設の配置を示す。



建物・構築物は、以下の評価方針に基づき耐震性評価を実施する。

●地震応答解析による評価

建物・構築物は、原則として、構造物全体として変形能力を有しているとの観点から、主たる耐震要素である耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。評価は、各建屋の構造的な特徴を踏まえ、振動性状を適切に考慮した質点系モデルによる地震応答解析を基本とする。

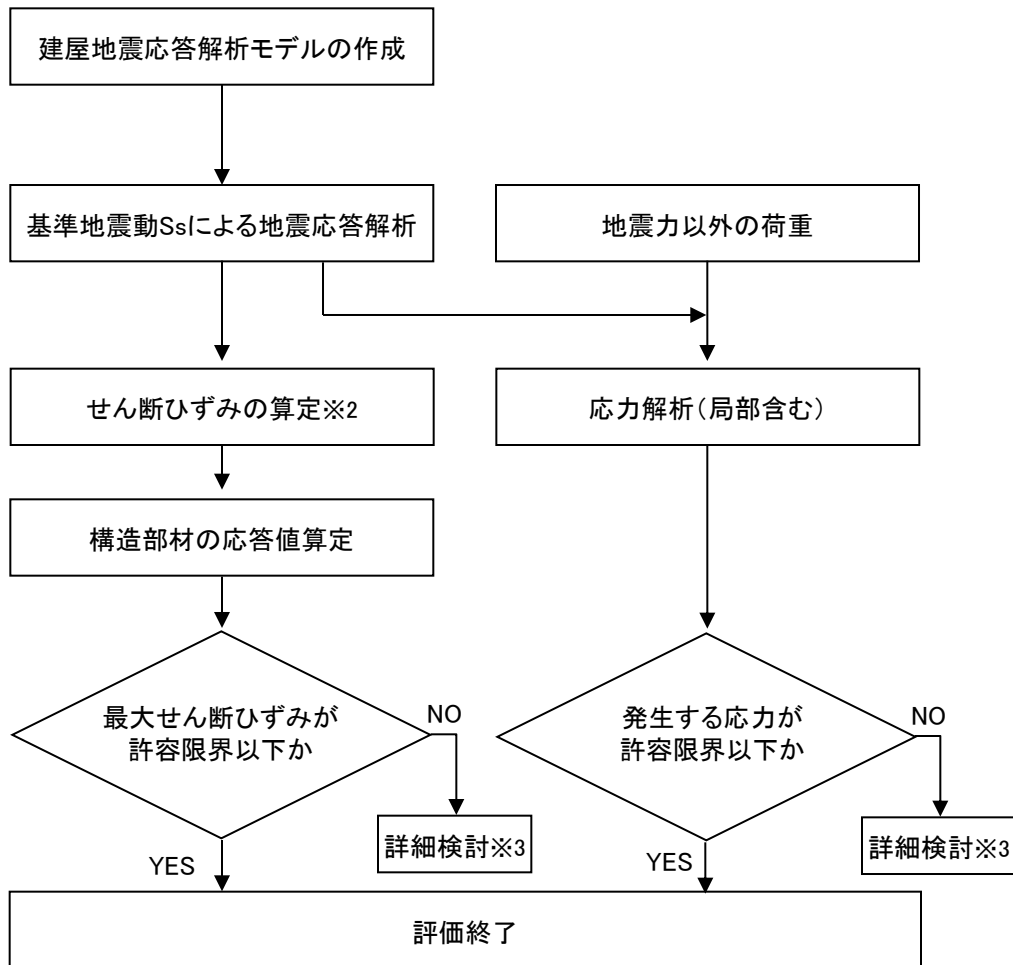
●応力解析による評価

構造物全体の挙動に加え、局部の応力評価が必要な部位については、有限要素解析による発生応力またはひずみを算定し、許容限界との比較を行う。局部の応力評価が必要な部位は、Sクラス施設の各部位及びSクラス施設の間接支持構造物の基礎並びに鉛直方向の地震力の影響を強く受けるおそれのある大スパン屋根(原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟、燃料取替用水タンク建屋)とする。また、3次元応答性状の影響、水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに対する影響を踏まえ、必要に応じて他の部位についても実施する。

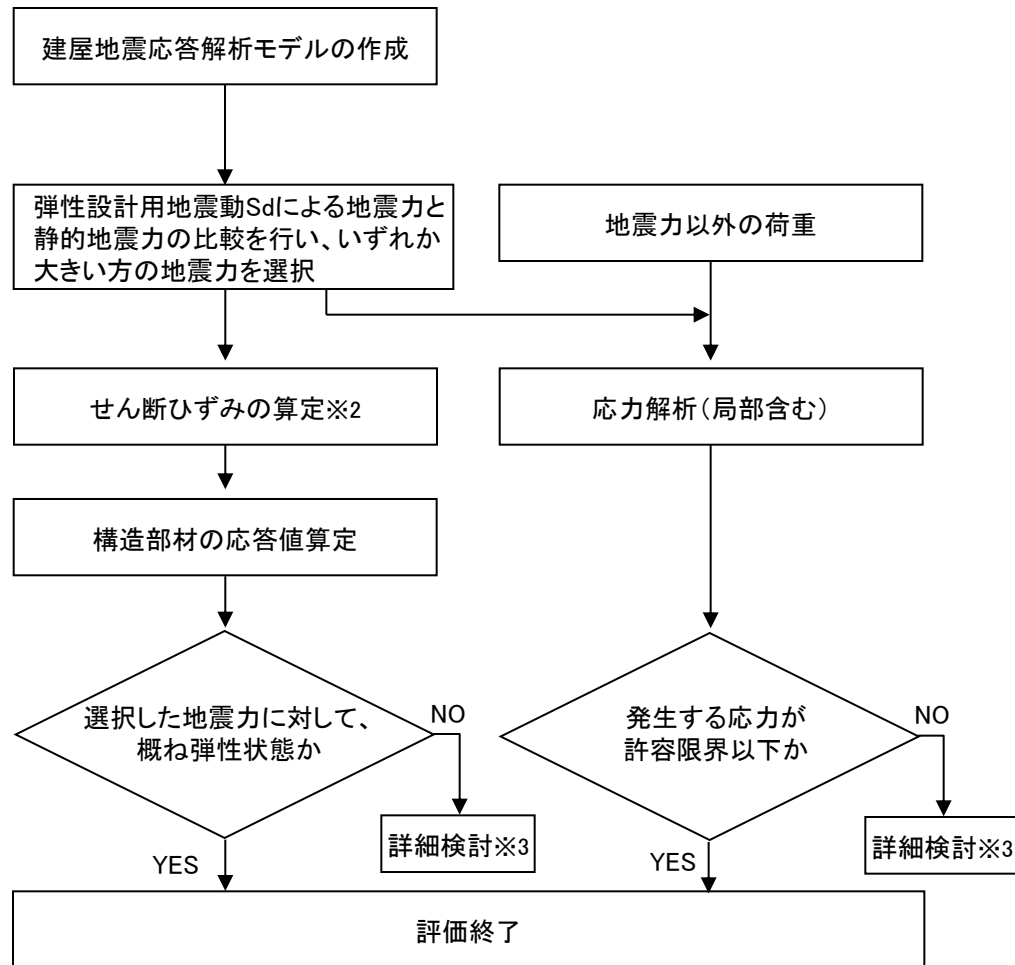
●地震応答解析による評価、動的地震力(建物・構築物及び機器・配管系)の設定においては、建屋及び地盤の物性のばらつきによる変動幅の影響、3次元応答性状の影響、水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに対する影響を考慮して適切に設定する。

2-2-1 建物・構築物 ～具体的な評価手順～

・基準地震動Ssによる評価フロー※1



・弾性設計用地震動Sd・静的地震力による評価フロー※1



※1 保有水平耐力が必要保有水平耐力以上であることも確認する

※2 せん断ひずみに加え、接地圧も評価し、接地圧が定める許容限界以下であることも確認する

※3 検討の内容に応じて必要なプロセスに戻る

2-2-1 建物・構築物 ～構造概要～

代表的な建物・構築物について、3号炉原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋を例に構造概要を以下に示す。



| | 3号炉 原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋 | 3号炉 原子炉補助建屋 |
|-------|--|--|
| 構造概要 | 原子炉格納容器(PCCV): プレストレスコンクリート造 原子炉周辺建屋(REB): 鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造) | 鉄筋コンクリート造 |
| 基礎 | 厚さ: [] (直接岩盤上に設置) | 厚さ: [] (直接岩盤上に設置) |
| 平面形状 | PCCV: 内径 [] REB: 東西方向 [] 南北方向 [] | 東西方向 [] 南北方向 [] |
| 高さ | PCCV: 基礎版底面から [] REB: 基礎版底面から [] | 基礎版底面から [] |
| 図面 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px dashed black; width: 45%; height: 150px;"></div> <div style="border: 1px dashed black; width: 45%; height: 150px;"></div> </div> <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> 平面図 断面図 </p> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px dashed black; width: 45%; height: 150px;"></div> <div style="border: 1px dashed black; width: 45%; height: 150px;"></div> </div> <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> 平面図 断面図 </p> |
| 建屋の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・ PCCV及びREBは、同一基礎版上に設置される。 ・ PCCV内部には、内部コンクリート(IC)を設ける。ICは剛な鉄筋コンクリート造である。 ・ REBは、原子炉周辺棟、燃料取扱棟及び中間補機棟から構成され、燃料取扱棟に使用済燃料ピットを有している。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉補助建屋は、REBに隣接して配置された建物で、中央制御室が [] レベルに設置されている。 ・ 中央制御室の平面形状は、東西方向 [] 南北方向 [] 階高 [] であり、 [] の大スパン鉄骨トラスで架構を構成する。 |

地震応答解析モデルは、建屋構造概要を踏まえ、以下の方針に基づき構築する。

●モデル化の基本方針

- ・構造物の振動性状を適切に表現できる質点系モデルとする。
- ・床等につながっている構造物は、床の剛性を適切に考慮して連結する。
- ・床、壁の剛性が高く、耐震壁がバランスよく配置された建屋については、床を剛体としてモデル化する。
- ・屋根の段差等の振動性状への影響を考慮する。
- ・構造形式、入力レベルを考慮して適切な減衰を設定する。

代表的な建物・構築物について、3号炉原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋を例に地震応答解析モデルを以下に示す。

| 建屋名称 | 3号炉 原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋 | 3号炉 原子炉補助建屋 |
|--------|---|---|
| 解析モデル※ | <p>地盤との相互作用を考慮した剛基礎を共有する 並列多質点系の曲げせん断棒モデル</p>  <p>地盤との相互作用はスウェイロッキングモデルによる</p> | <p>地盤との相互作用を考慮した一軸多質点系の曲げせん断棒モデル</p>  <p>地盤との相互作用はスウェイロッキングモデルによる</p> |

※水平方向を代表として記載

2-2-1 建物・構築物 ～建物・構築物のモデル化(局所の応力評価)～

応力解析による評価は、評価対象部位を3次元FEMによりモデル化して実施する。

代表的な建物・構築物について、3号炉の各部位を例に応力解析モデルを下記に示す。4号炉の各部位は形状が異なるが、3号炉と同様の手法にてモデル化し、評価を行う。

| 評価部位 | 3号炉 原子炉格納容器 | | 3号炉 アニュラス区画構造物 (壁、床) |
|------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | シェル部、底部 | 機器搬入口部、エアロック部 | |
| モデル図 | | | |
| 評価部位 | 3号炉 使用済燃料ピット (壁、底版) | 3号炉 原子炉周辺建屋のうち 燃料取扱棟の屋根 | 3号炉 原子炉補助建屋の基礎 |
| モデル図 | | | |

機器・配管系のうちSクラス設備については、基準地震動 S_s に対し、構造強度評価により強度的に問題がないことを確認するとともに、地震時に動的機能が求められる設備について動的機能が維持できることを確認する。

a. 構造強度評価

- 構造強度に関する評価は、以下に示す解析法により発生値を算定し、許容限界と比較する。
なお、地震応答解析に当たっては、地盤物性・建屋剛性等のばらつきを適切に配慮する。
 - (1) スペクトルモーダル解析法
 - (2) 時刻歴応答解析法
 - (3) 定式化された評価式を用いた解析法（床置機器等）
- 機器・配管系の地震応答解析モデルは、その振動特性に応じて、代表的な振動モードが表現でき、応力評価等に用いる地震荷重等を算定できるものを使用する。また、解析モデルは既往評価で用いられたもののほか、有限要素法など実績がある手法によるモデルを使用する。モデル化に当たって使用する物性値等については、既往評価で用いられたもののほか、施設運用上の管理値や実測値等を考慮して設定する場合もあるがこの場合には妥当性を確認したうえで使用する。

b. 動的機能維持評価

動的機能維持に関する評価は、以下に示す機能確認済加速度との比較等により実施する。

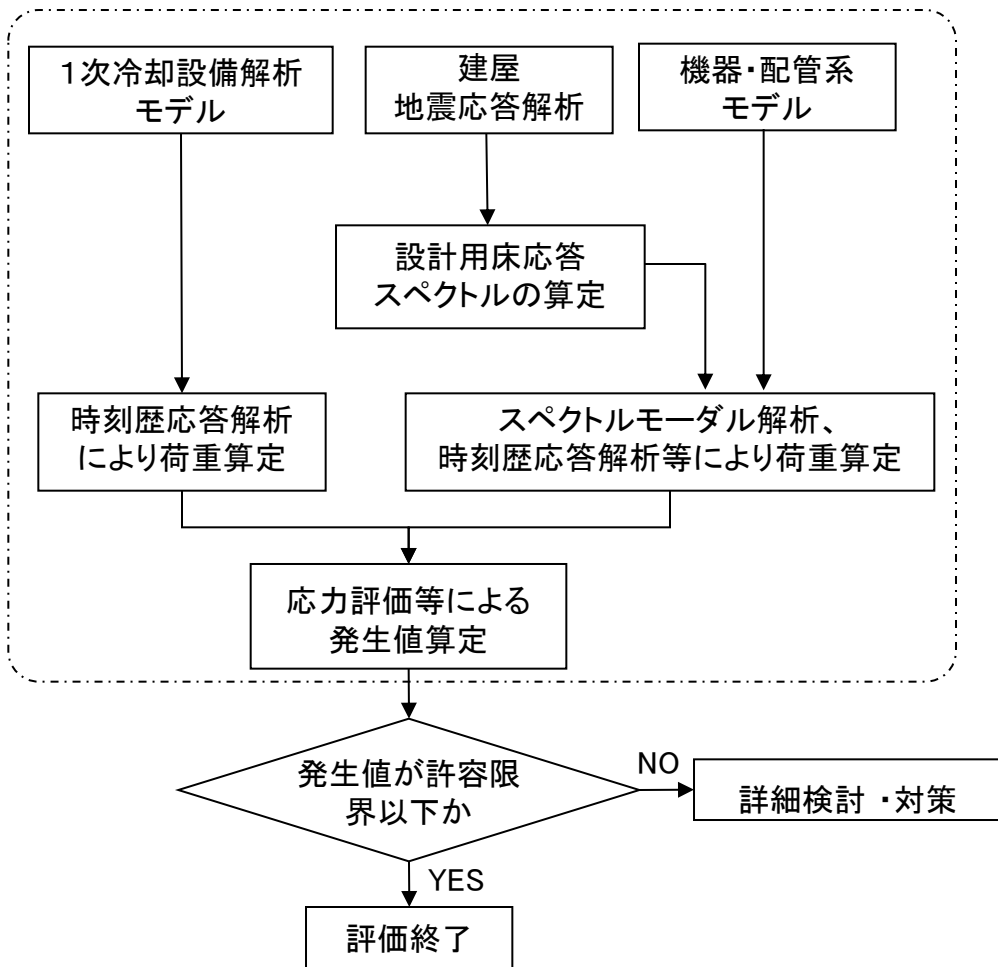
(1) 機能確認済加速度との比較

基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横形ポンプ及びポンプ駆動用タービン等、機種ごとに試験あるいは解析により動的機能維持が確認された加速度である。制御棒クラスタの地震時挿入性については、基準地震動 S_s による地震外力を考慮した挿入時間により評価する。

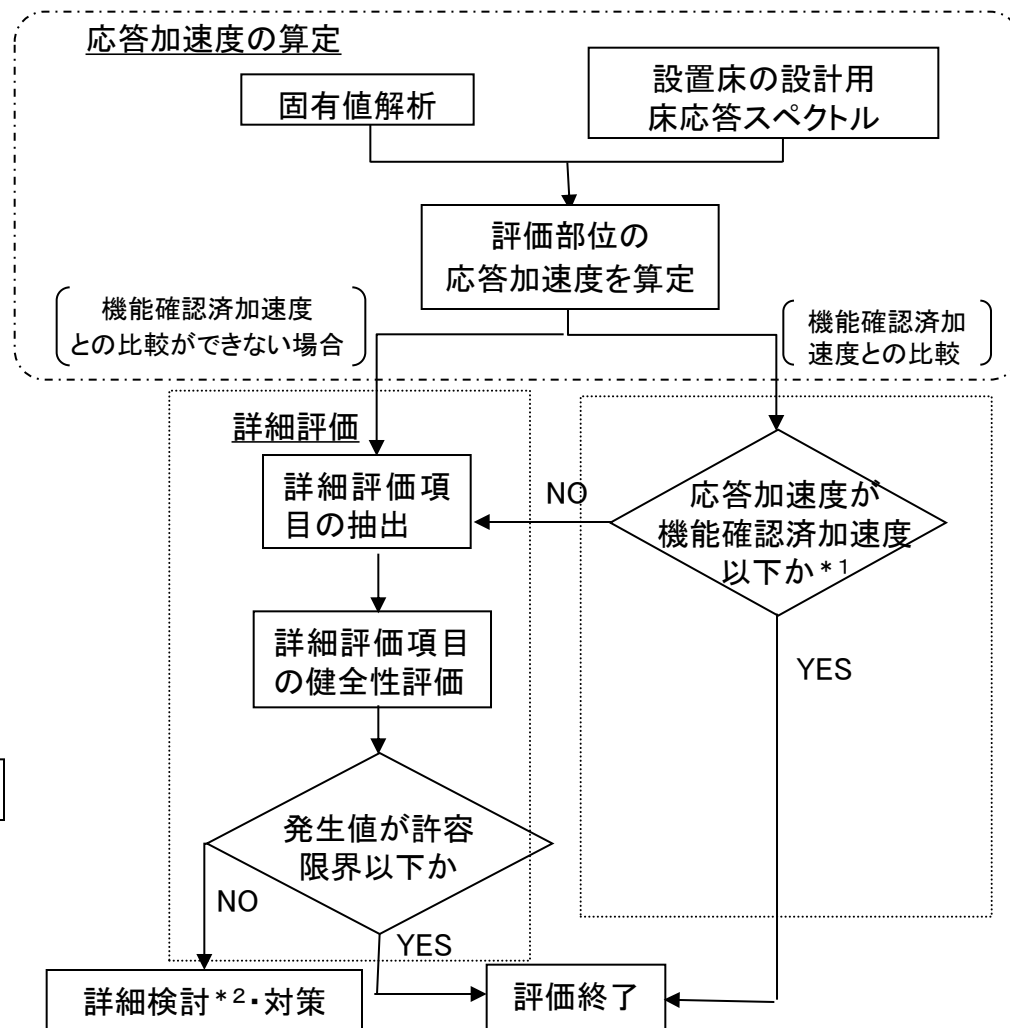
(2) 詳細評価

機能確認済加速度の設定されていない機器、基準地震動 S_s による応答加速度が機能確認済加速度を上回る機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」等を参考に動的機能維持を確認するうえで評価が必要となる項目を抽出し、対象部位ごとの構造強度評価又は動的機能維持評価を行い、発生値が許容限界を満足していることを確認する。

構造強度評価の手順



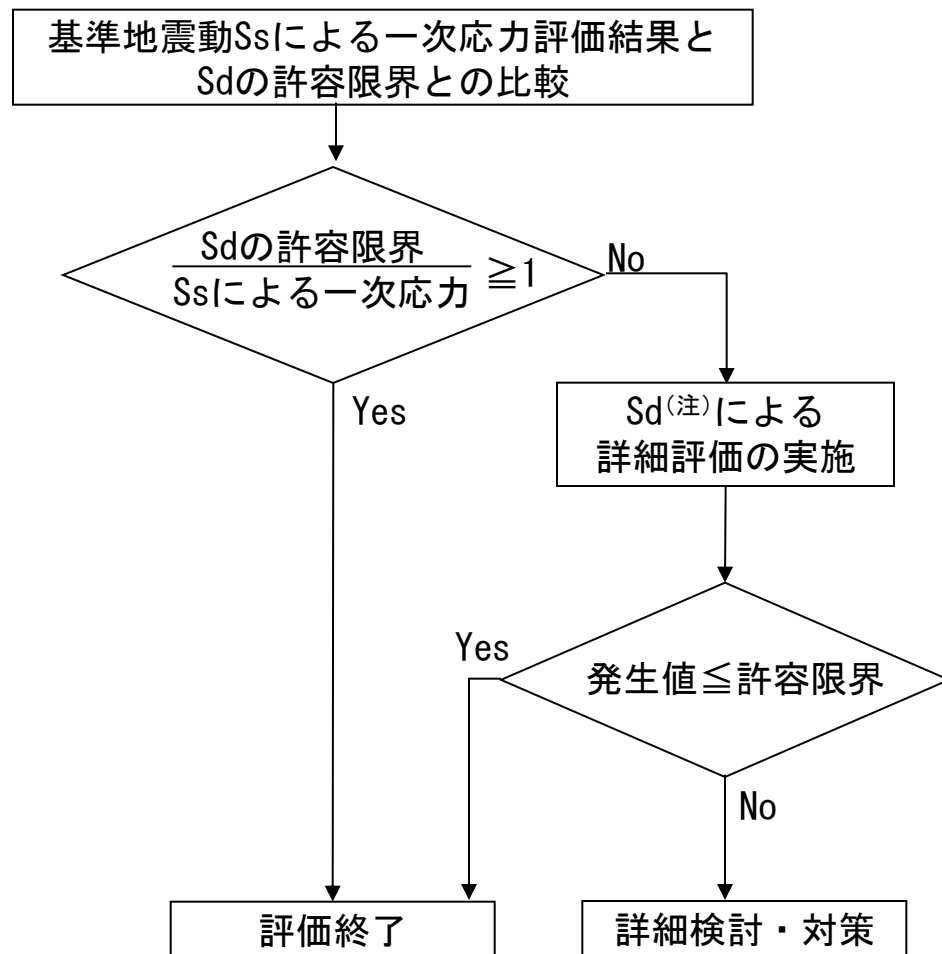
動的機能維持評価の手順



*1 制御棒クラスタの地震時挿入性については、基準地震動 S_s による地震外力を考慮した挿入時間により評価する。

*2 解析、試験等による検討。

- 弾性設計用地震動Sd及び静的地震力による評価については、構造強度評価によりSdの許容限界(おおむね弾性域)を満足することが求められている。
- 弾性設計用地震動Sdは基準地震動Ssの係数倍にて定義されており、Ssによる地震力は静的震度3.6Ciよりも大きいことを確認していることから、Ssの発生値がSdの許容限界以下となれば、Sd及び3.6Ciの発生値はSdの許容限界以下となる。
- 今回の評価では、まずSsによる一次応力評価結果がSdの許容限界以下となるかどうかを確認する。この際、各設備の応答加速度(荷重)が $S_s \geq S_d$ となることも確認する。
- Ssによる一次応力評価結果がSdの許容限界を超えた設備についてはSd及び3.6Ciによる一次応力の詳細評価を実施する。
- 一次応力以外の応力分類による評価については、他の評価項目(応力分類等)で代表可能等、妥当性が確認されたものは評価を省略している。



(注) 静的地震力3.6Ciについても考慮する。

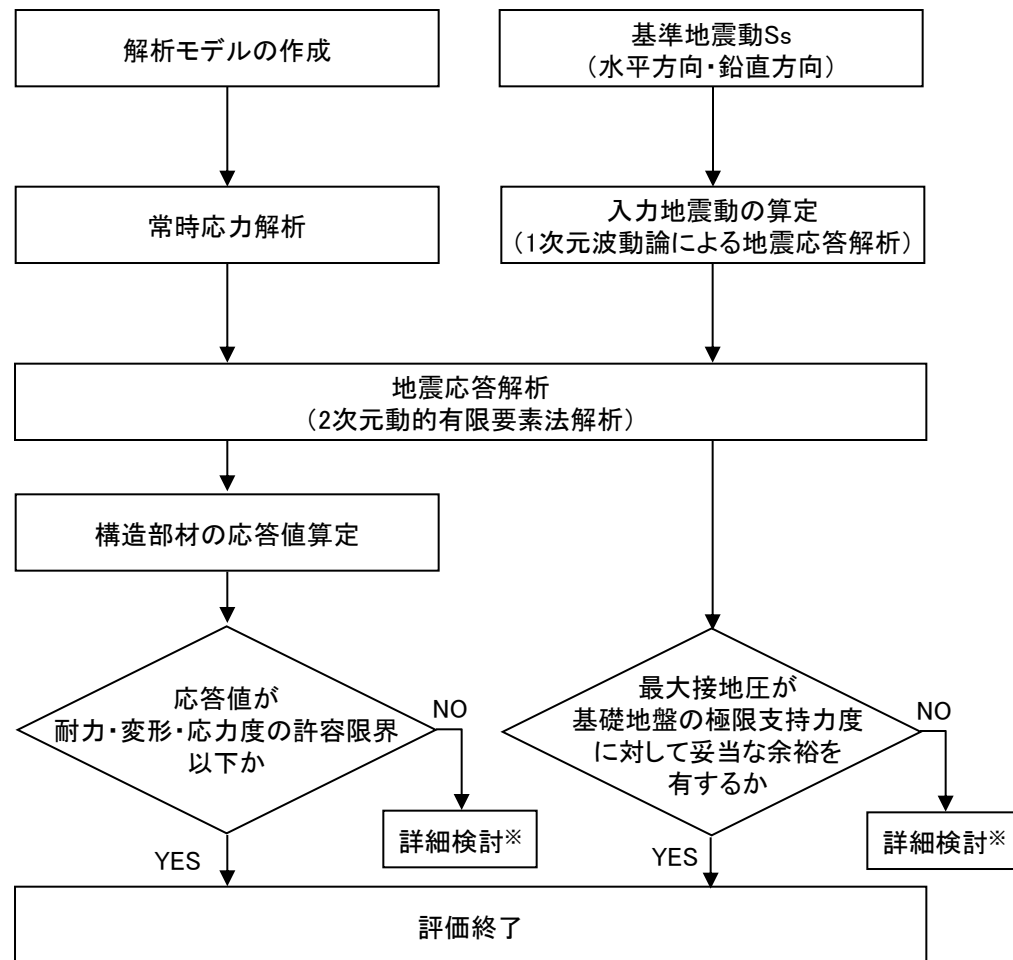
**弾性設計用地震動Sd 及び静的地震力
による評価の流れ**

○ 評価方針

- ・ 屋外重要土木構造物は、耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能及び非常時における海水の通水機能が求められている。
- ・ 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価では、構造物が崩壊しないこと及び間接支持する機器・配管系に影響がないことを目標性能とし、基準地震動 S_s による地震応答解析を行い、構造部材の応答値が許容限界以下であること及び基礎地盤が十分な支持性能を有することを確認する。
- ・ 機器・配管系の設備を間接支持する構造物については、機器・配管の設計に用いる床応答スペクトルが適切な評価となるよう、機器・配管系の設置位置を踏まえ、評価対象断面を選定する。

○ 屋外重要土木構造物の評価フロー

屋外重要土木構造物の評価については右記のフローに基づき行う。



※ 検討の内容に応じて必要なプロセスに戻る

地震応答解析手法

- ・地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかにて行う。地震応答解析では水平地震動と鉛直地震動の同時入力を基本とする。

許容限界

- ・構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して適切な安全余裕を持たせることとし、せん断については、せん断耐力に対して適切な安全余裕を持たせることを基本設計とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで安全余裕を考慮する場合もある。なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえて設定する。
- ・評価にあたっては、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002年制定)」、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル((社)土木学会, 2005年制定)」、「鋼構造設計規準—許容応力度法—((社)日本建築学会, 2005年9月制定)」等に基づき行う。

耐震安全性評価

- ・取水ピット、海水管ダクト、海水管ダクト竪坑及び海水戻り管竪坑については、Sクラス設備、常設耐震重要重大事故対処設備又は常設重大事故緩和設備を間接支持する機能を、取水口、取水管路及び取水ピットについては、通水機能を維持する必要がある。
- ・評価については、解析結果による発生値が許容限界を超えないことを確認する。

2-3 Sクラス施設への下位クラス施設の 波及的影響

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。この波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果の妥当性を示すとともに、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用すること。

なお、上記の「耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわない」とは、少なくとも次に示す事項について、耐震重要施設の安全機能への影響が無いことを確認すること。

- ・ 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- ・ 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
- ・ 建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
- ・ 建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

以上の規則の解釈を踏まえた波及的影響への設計配慮の基本方針を次頁以降に示す。

波及的影響に係る設計方針

- 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設（以下「下位クラス施設」という。）の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。
- 具体的には下位クラス施設は原則、耐震重要施設に対して離隔をとり配置する、若しくは耐震重要施設の設計に用いる地震力に対して構造強度を保つなどして耐震重要施設の安全機能を損なわない設計とする。また、波及的影響においては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設、設備を選定し評価する。
- 波及的影響評価に当たっては、以下(1)～(4)をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討等を行い、耐震重要施設の安全機能への影響がないことを確認する。
- なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、以下(1)～(4)以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

(1) 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響

a. 不等沈下

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して不等沈下により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

b. 相対変位

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による下位クラス施設と耐震重要施設の相対変位により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(2) 耐震重要施設と下位クラス施設との接続部における相互影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(3) 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

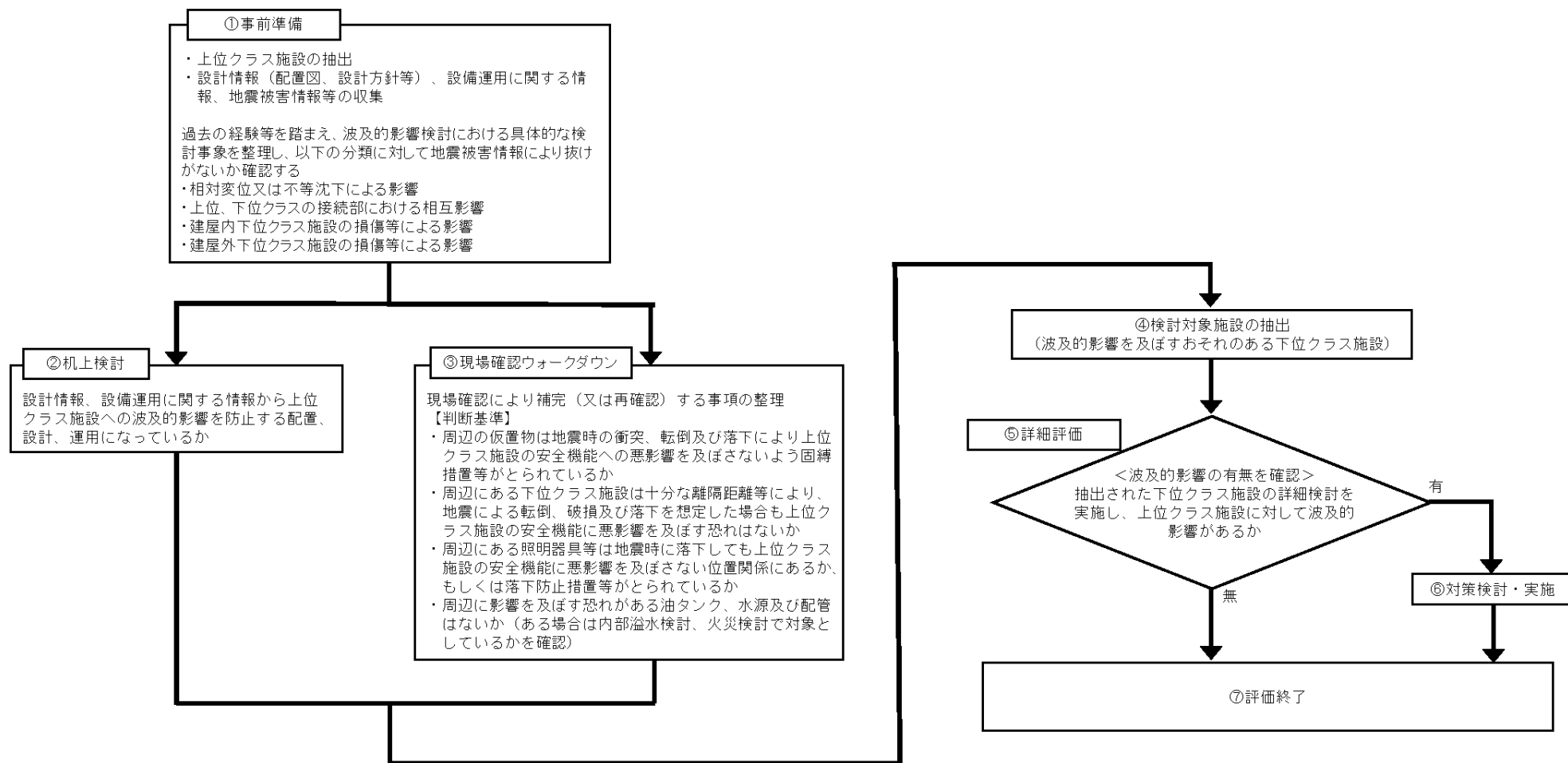
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋内の下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(4) 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

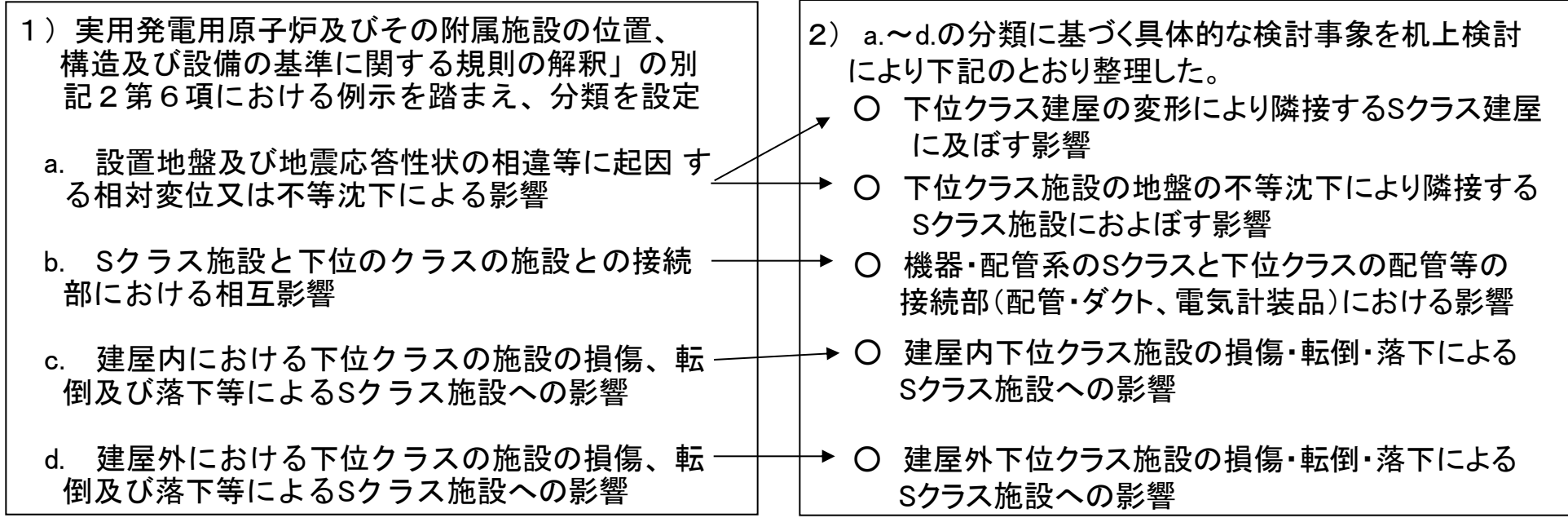
- ・耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
- ・耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設周辺の斜面が崩壊しないことを確認する。

(波及的影響評価の検討内容)

新規基準の要求を踏まえ、考慮すべき検討事象の整理を行い、各々の検討事象に対して波及的影響のおそれがないかを机上検討(施設の設計情報等)及び、現場確認(ウォークダウン)により確認する。



規則の解釈の例示に基づき具体的な検討事象を整理し、地震被害情報により抜けがないか確認する。



3) 他に考慮すべき事項が抜け落ちているものがないかを確認する観点で、地震による原子力発電所被害情報により、具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないことを確認する。

(対象とした情報)

- ・ 宮城沖地震(女川発電所:平成17年8月)
- ・ 能登半島地震(志賀発電所:平成19年3月)
- ・ 新潟県中越沖地震
(柏崎刈羽原子力発電所:平成19年7月)
- ・ 駿河湾地震
(浜岡原子力発電所:平成21年8月)
- ・ 東北地方太平洋沖地震
(女川、東海第二発電所※平成23年3月)

※NUCIA最終報告となっているものを対象とした。

被害の発生に至る要因を分類

- ① 地盤の不等沈下による破損
- ② 建屋間等の相対変位による破損
- ③ 地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等
- ④ 周辺斜面の崩落
- ⑤ 使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水
- ⑥ その他(揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わない
①~⑥以外の要因等)

→以上の分類を踏まえて2)の検討事象に漏れがないことを確認する

具体的な検討事象ごとに設計情報等を確認するとともに、現場確認すべき事項の整理を実施

(検討例: 下位クラス施設の転倒・落下によるSクラス施設への影響)

【検討対象設備】

全耐震Sクラス施設 例: 余熱除去冷却器、海水ポンプ、使用済燃料ピット等

設計情報等の確認

設計時の方針として「低位に分類された関連施設又は近傍施設の破損、変位、変形などによって、高位の施設に波及的事故が起きないように考慮する。」としており、下位クラスの施設は、Sクラス施設から離隔をとって配置するほか、落下防止対策等を講じている。

また、資材等を仮置保管する場合は、以下のとおり配慮する運用としている。

- ー配管や設備との距離を確保し、干渉する位置には置かないことを原則とする。
- ーやむを得ず置く場合は、固縛等の固定により荷崩れ、移動を防止する。固定の際には、地震に対する強度を確認するか、若しくはSクラス施設への養生を適切に実施することで地震による波及的影響を防止する。



現場で確認すべき事項の整理

- ・ 仮置物の保管が適切になされているか。
- ・ 周辺にある下位クラス施設等は、地震による破損・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているか。

机上検討で検討した現場確認により補完すべき事項に基づき、現場確認における具体的な確認事項と判断基準を以下のとおり整理し、現場確認を実施する。

現場確認における具体的な確認事項と判断基準

- 1) 周辺に仮置物がある場合、固縛措置等によりSクラス施設に影響を与える恐れはないか。
【判断基準】 周辺の仮置物は地震時の衝突・転倒・落下によりSクラス施設の安全機能への悪影響を及ぼさないよう固縛措置等がとられているか。
- 2) B、Cクラス施設との離隔距離は十分か。
【判断基準】 周辺にある下位クラス施設は十分な離隔距離等により、地震による破損・落下を想定した場合もSクラス施設の安全機能に悪影響を及ぼす恐れはないか。
- 3) 周辺に照明器具、作業用ホイスト・レール、グレーチング、手すりがある場合、Sクラス施設に影響を与える恐れがないか。
【判断基準】 周辺にある照明器具等は地震時に落下してもSクラス施設の安全機能に悪影響を及ぼさない位置関係にあるか、若しくは落下防止措置等がとられているか。
- 4) 周辺に各種水源がある場合、位置・構造から溢水影響の恐れはないか。周辺に油タンクがある場合、位置・構造から火災による影響はないか。
【判断基準】 周辺に影響を及ぼす恐れがある油タンク、水源及び配管はないか。
(ある場合は内部溢水検討、火災検討で対象としているかを確認)

2-4 水平2方向及び鉛直方向の 地震力の組合せの評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の方針を以下に示す。

- 施設の耐震設計では、基本的に設備の構造から地震力の方向に対して弱軸、強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。
- 評価対象は耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は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、並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設とする。耐震Bクラスの施設については、共振のおそれのあるものを評価対象とする。
- 評価にあたっては、施設の構造特性(設備の形状、支持構造物の拘束方向等)から水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける部位を建屋3次元FEM解析等により抽出し、その部位について水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。
- 耐震性への影響が確認された場合は、詳細な構造強度評価等の手法を用いた検討を行い、必要により設計上の対応策(補強工事等)を講じる。

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（1）

玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設の耐震設計について、以下に示す。

（1）原子炉格納容器（PCCV）

玄海3号炉及び4号炉の原子炉格納容器は、プレストレストコンクリート製であるが、その評価手法については建設工認で実績があり、今回の耐震評価については、建設工認における耐震手法を基本とした発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(2003年版)(CCV規格)に基づき実施する。

● 構造概要

- ・ PCCVは、シェル部のプレストレストコンクリート部分、底部の鉄筋コンクリート部分並びにコンクリートに内張されているライナプレートで構成される。
- ・ PCCVのうち、シェル部のプレストレストコンクリート部分については、コンクリート壁内部に配置したテンドン(PC鋼線の束)を締め付け、あらかじめコンクリートに圧縮応力を与えることにより、内圧に対する耐圧性を有するよう設計している。



図1 PCCVの構造概要



図2 PCCVのテンドン配置概要

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（2）

（1）原子炉格納容器（PCCV）

●耐震評価の概要

| | | |
|-------------|--------|---|
| 地震応答解析による評価 | 評価内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・地震応答解析に基づき算定した耐震壁のせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認 ・地震応答解析に基づき算定した接地圧が許容限界を超えないことを確認 ・保有水平耐力が許容限界を上回ることを確認 |
| | 解析モデル | <ul style="list-style-type: none"> ・PCCV、REB、IC及び蒸気発生器（SG）をモデル化 ・地盤との相互作用を考慮した剛基礎を共有する並列多質点系の曲げせん断棒モデル |
| | 解析手法 | <ul style="list-style-type: none"> ・非線形時刻歴応答解析 |
| | 減衰定数 | <ul style="list-style-type: none"> ・PCCV:3%、REB及びIC:5%、SG:3%（鉛直モデルについては1%） |
| | 許容限界 | <ul style="list-style-type: none"> ・耐震壁のせん断ひずみ:概ね弾性（弾性設計用地震動Sd及び静的地震力）、2.0×10^{-3}（基準地震動Ss） ・基礎地盤:短期支持力度（弾性設計用地震動Sd及び静的地震力）、極限支持力度（基準地震動Ss） ・保有水平耐力:必要保有水平耐力 |
| 応力解析による評価 | 評価内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・応力解析を実施し、部材に生じる応力またはひずみが許容限界を超えないことを確認※1 |
| | 評価対象部位 | <ul style="list-style-type: none"> ・シェル部（機器搬入口部、エアロック部、小開口部、クレーンブラケット定着部、テンドン含む）、底部、テンドン定着部 |
| | 解析モデル | <ul style="list-style-type: none"> ・3次元FEMモデル |
| | 解析手法 | <ul style="list-style-type: none"> ・弾性静的応力解析 |
| | 荷重 | <ul style="list-style-type: none"> ・CCV規格に基づく荷重組合せを考慮 ・重大事故等対処施設としての評価において、重大事故が発生した場合に長時間継続する事象による荷重と弾性設計用地震動による地震力の組合せを考慮 |
| | 許容限界 | <ul style="list-style-type: none"> ・CCV規格に基づく許容限界※2 |

※1:PCCVのライナ部については、コンクリート部の3次元FEMモデルより算出される強制ひずみ量を用いて、CCV規格に基づき評価を実施する。

※2:重大事故が発生した場合に長時間継続する事象による荷重と弾性設計用地震動による地震力の組合せに対する評価における許容限界は、CCV規格の荷重状態Ⅳの許容値とする。

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（3）

(1) 原子炉格納容器(PCCV)

● 荷重組合せ及び許容限界

・ 設計基準対象施設としての評価

CCV規格に基づき、基本的な考え方は以下の通りとする。

| 荷重の組合せ | 許容限界 |
|--------------------------|--------------------|
| $D+L+F+P_1+K_d$ (注1) | CCV規格における荷重状態Ⅲの許容値 |
| $D+L+F+P_1+K_s$ | CCV規格における荷重状態Ⅳの許容値 |
| $D+L+F+P_2+K_d$ (注1)(注2) | CCV規格における荷重状態Ⅲの許容値 |
| $D+L+F+P_2+K_d$ | CCV規格における荷重状態Ⅳの許容値 |

・ 重大事故等対処施設としての評価

重大事故等対処施設については、重大事故発生後早期に原子炉格納容器の圧力を通常運転圧力程度まで低下させる仮設格納容器スプレイ再循環による圧力低減方策を導入した上で、頻度の概念を考慮した荷重組合せ及び許容限界を設定し、基本的な考え方は以下の通りとする。

| 荷重の組合せ | 許容限界 |
|--------------------------|--------------------|
| $D+L+F+P_1+K_s$ | CCV規格における荷重状態Ⅳの許容値 |
| $D+L+F+P_2+K_d$ (注1)(注2) | CCV規格における荷重状態Ⅲの許容値 |
| $D+L+F+P_3+K_d$ | CCV規格における荷重状態Ⅳの許容値 |

[記号の説明]

| | | | |
|-------|----------------------|-------|--------------------------------|
| D | : 死荷重 | P_1 | : 運転時圧力荷重 |
| L | : 活荷重 | P_2 | : 異常時圧力 |
| F | : プレストレス荷重 | P_3 | : 重大事故が発生した場合に長期的に作用する圧力荷重 |
| K_s | : 基準地震動 S_s による地震力 | K_d | : 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力 |

(注1): 温度以外の荷重による応力状態と温度を含む全荷重による応力状態を考慮する。

(注2): 異常時圧力及び異常時配管荷重の最大値と地震荷重が同時に作用しないものとする。


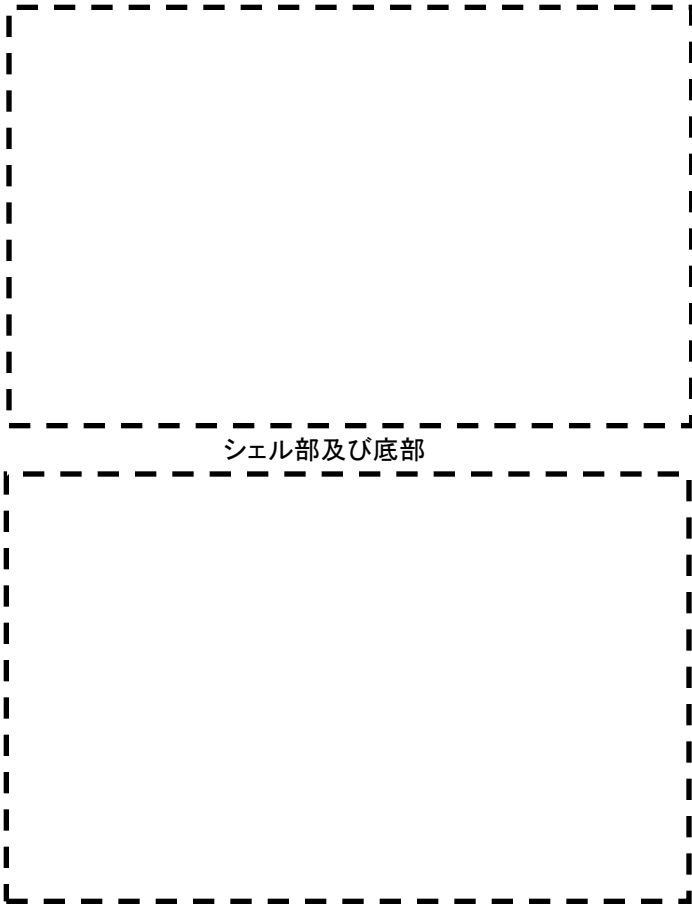
この組合せにおいて考慮する異常時荷重は、異常発生直後を除き、その後が生じている荷重とする。

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（4）

（1）原子炉格納容器（PCCV）

●地震応答解析モデル及び応力解析モデル

3号炉を代表として、地震応答解析モデル及び応力解析モデルを以下に示す。

| 地震応答解析モデル※ | 応力解析モデル |
|--|--|
|  <p data-bbox="209 1303 540 1332">※水平方向を代表として記載</p> |  <p data-bbox="1348 832 1556 861">シェル部及び底部</p> <p data-bbox="1276 1303 1628 1332">機器搬入口部及びエアロック部</p> |

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（5）

(2) 屋外重要土木構造物のうち取水口及び取水管路

玄海3号炉及び4号炉の取水口及び取水管路は、耐震Cクラス設備であるが、新規制基準において、屋外重要土木構造物(非常用取水設備)及び常設重大事故緩和設備に分類されることから、基準地震動 S_s による耐震評価を行う。

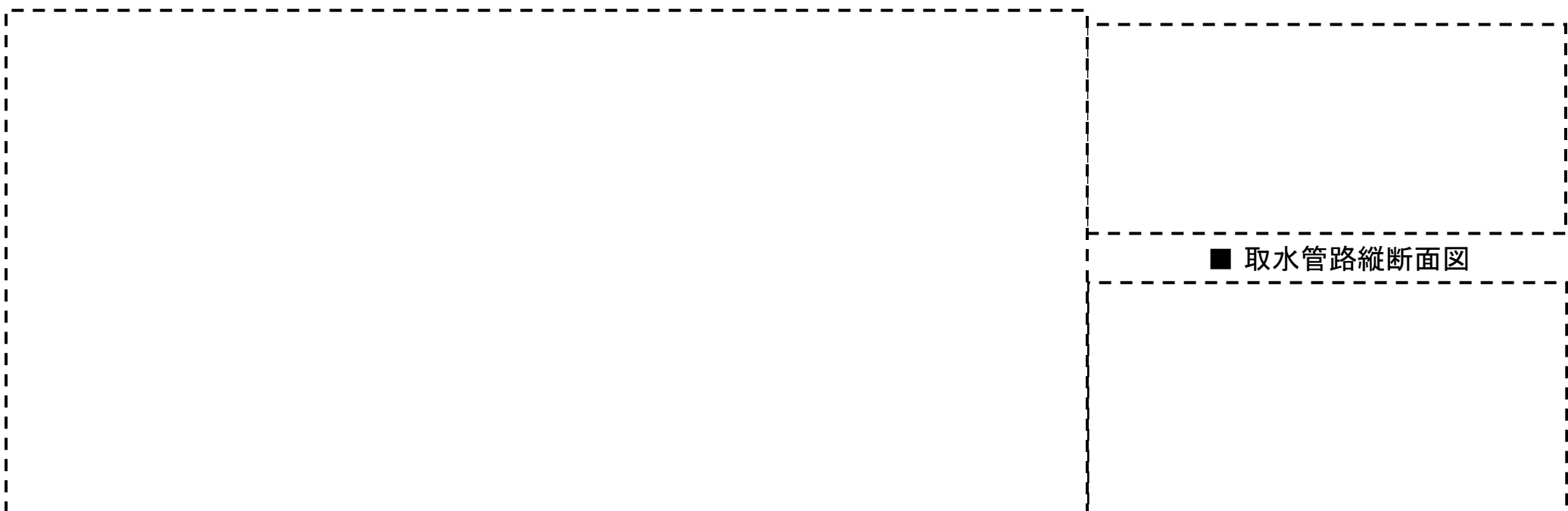
● 構造概要

(取水口)

- ・ 鋼製の取水塔で、EL. -23.5mの岩盤に設置され、EL. -16.0mまで砕石にて埋め戻されている。
- ・ 取水口はA～D取水口の4つで構成され、平面的な配置を除いて、すべて同様の構造をとる。

(取水管路)

- ・ 延長約130mの鋼製管路で、基礎岩盤を掘削し設置され、周辺を砕石で埋め戻されている。
- ・ 取水管路はA～D管の4つで構成され、平面形状を除いた仕様は同様である。



3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（6）

(2) 屋外重要土木構造物のうち取水口及び取水管路

●取水口及び取水管路の耐震評価の概要

- ・ 従前の屋外重要土木構造物の耐震評価では、屋外重要土木構造物が耐震上の弱軸、強軸が明確であることから、構造物の配置や荷重条件等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とし2次元断面での評価を実施している。
- ・ 一方、玄海3号炉及び4号炉の取水口が、取水塔形式の3次元的な構造であること及び取水管路が大口径かつ長尺の線状構造物（可撓管の設置スパンが長い構造物）であることから、従前の耐震評価のような特定の2次元断面のみでの評価は不適と判断。
- ・ また、従前の屋外重要土木構造物は、鉄筋コンクリート造であったのに対して、玄海3号炉及び4号炉の取水口、取水管路は鋼構造物である。
- ・ 以上のことから、玄海3号炉及び4号炉の取水口、取水管路の耐震評価では、次頁の表のとおり構造物の3次元的な構造の特徴や使用材料を踏まえた評価を行う。なお、取水管路の耐震評価に用いる規格・基準については、その妥当性及び適用性を十分検討したうえで、一般産業施設の埋設管路に用いられる規格・基準を適用する。

（取水ピット、海水管ダクト等は従前の耐震評価手法と同様。）

3. 玄海3号炉及び4号炉における特徴的な施設について（7）

●取水口及び取水管路の耐震評価の概要（前頁の続き）

| | 取水口 | 取水管路 |
|------------------|--|---|
| 要求性能 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 非常時における海水の通水機能を維持すること | <ul style="list-style-type: none"> ○ 非常時における海水の通水機能を維持すること |
| 評価方針 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震応答解析により得られる荷重を考慮した応力解析にて求まる構造部材の曲げ・せん断応力及び接地圧が、許容限界を越えないことを確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震応答解析により得られる荷重を考慮した応力解析にて求まる取水管路の曲げ及びせん断応力が、許容限界を越えないことを確認する。 ○ 取水管路が大口径かつ長尺の線状構造物であることを考慮し、管周方向応力と管軸方向応力を組み合わせて評価する。 |
| 主な 適用規格・基準 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 鋼構造設計規準—許容応力度法— (社)日本建築学会、2005年9月制定 ○ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987) (社)日本電気協会 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 鋼構造設計規準—許容応力度法— (社)日本建築学会、2005年9月制定 ○ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987) (社)日本電気協会 ○ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 日本港湾協会、平成19年 ○ 石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示 昭和48年9月28日通商産業省・運輸省 ・建設省・自治省告示第一号 他 |
| 地震応答解析 (減衰定数) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 周辺岩盤の基礎掘削形状を考慮した2次元有限要素法解析 (取水口1%、岩盤3%、埋戻土はひずみ依存特性を考慮する) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 周辺岩盤の基礎掘削形状を考慮した2次元有限要素法解析 (岩盤3%、埋戻土はひずみ依存性を考慮する) |
| 応力解析 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震応答解析から得られる加速度、土圧等を考慮した3次元骨組構造解析 | <p>【管周方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震応答解析(管直方向)から得られる地盤変位を考慮した応答変位法による応力解析等 <p>【管軸方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震応答解析(管直・管軸方向)から得られる地盤変位を考慮した応答変位法による応力解析 |
| 評価内容 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 構造部材の曲げ・せん断 ○ 基礎地盤の支持性能 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 構造部材の曲げ・せん断 |
| 許容限界 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 使用鋼材の短期許容応力度及び基礎地盤の極限支持力度 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 使用鋼管の短期許容応力度 |