

# 泊発電所3号機 耐震設計に係る基本方針について

平成26年 1月14日  
北海道電力株式会社

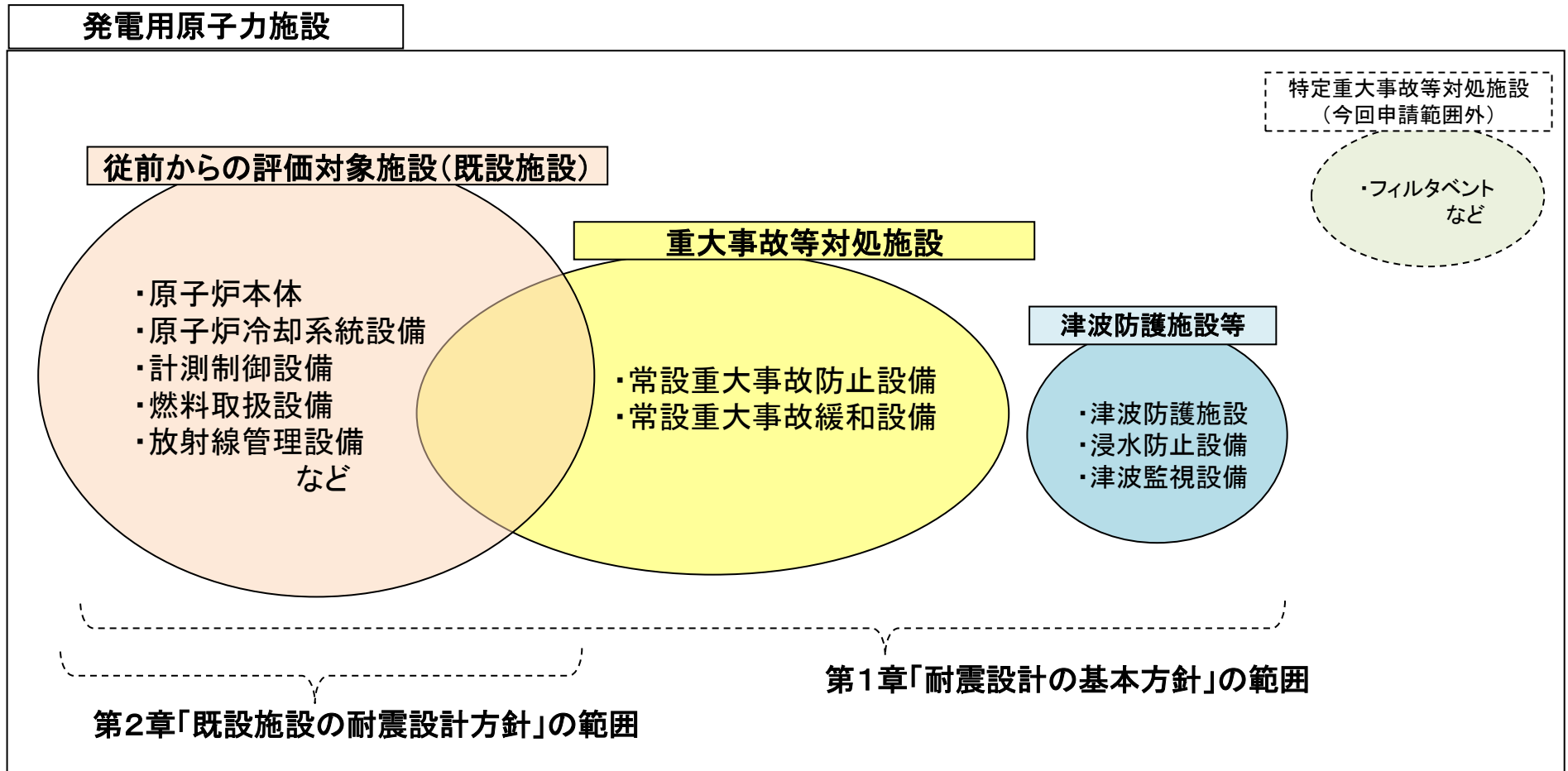
# はじめに

- ◆ 今回の新たな規制により下記の規則が制定された。
  - ・ 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
  - ・ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則
  
- ◆ 今回の規制において、新たな要求や記載の充実が図られたものとして、以下のような事項がある。
  - ・ 津波防護施設，浸水防止設備，津波監視設備をSクラス設備として定義
  - ・ 重大事故等対処施設に対する耐震性の要求
  - ・ 水平2方向と鉛直地震力の適切な組合せ
  - ・ 耐震重要施設に対する下位クラスの波及的影響の防止
  
- ◆ 泊発電所3号機においては、今回新たに設置する施設及び新たな対象施設を含む既設施設に対して、重要度に応じた地震力による設計を行う方針としている。
  
- ◆ 本資料では、これら対象施設に対する耐震設計の基本方針を示すとともに、水平2方向と鉛直地震力の適切な組合せなど、充実が図られた事項に対する対応の考え方を示す。

# はじめに

## 【本資料の構成】

本資料においては、新たに対象となった設備を含む施設全体の耐震設計方針を第1章、また、既設施設に対する評価方針を含め適用する耐震設計方針を第2章に示す。



# 目次

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 荷重の組合せ
  1. 5 許容限界
  
2. 既設施設の耐震設計方針
  2. 1 既設施設の耐震評価方針(網羅性, 代表性)
  2. 2 各施設の具体的な耐震評価
    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. 2. 4 B, Cクラス施設の耐震評価方針
  
3. 今後の確認事項について
  3. 1 既設施設の耐震評価における建設工認との相違について
  3. 2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について
  3. 3 3次元応答性状及び水平2方向の地震力による影響に関する検討について

# 1. 耐震設計の基本方針

## 1.1 基本方針（1／2）

原子炉施設の耐震設計は、設置許可基準及び技術基準に適合するよう以下の項目に従って行う。

- (1) 設計基準対象施設は、地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度(以下、「耐震重要度」という。)に応じて、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれの耐震重要度に応じた地震力に十分耐えられるよう設計する。
- (2) 建物・構築物は、耐震重要度に応じた設計荷重に対して十分な支持性能を持つ地盤に設置する。
- (3) Sクラスの施設(津波防護施設、浸水防止設備、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設計とするとともに、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も耐えるようにする。
- (4) 津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、それぞれの施設等に要求される機能が保持できるようにする。
- (5) Sクラスの施設に対し、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。また、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、水平方向2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて作用するものとする。

## 1.1 基本方針（2 / 2）

- (6) Bクラス、Cクラスの施設は、重要度に応じ定められる静的地震力に対して耐えられる設計とする。  
なお、Bクラスの施設のうち共振するおそれのあるものについては、その影響について検討を行う。
- (7) 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。
- (8) 重大事故等対処施設については、以下の項目に従って耐震設計を行う。
- ・ 常設耐震重要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、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれないようにする。
  - ・ 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については、代替する機能を持つ設計基準事故対処設備に適用される地震力に十分耐えるようにする。
  - ・ 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ないようにする。

## 1.2 耐震重要度分類 ～設計基準対象施設～

設計基準対象施設の耐震設計上の重要度を次のように分類する。

	該当する設備
Sクラス	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系</li> <li>b. 使用済燃料を貯蔵するための施設</li> <li>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</li> <li>d. 原子炉停止後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>h. 津波防護機能を有する施設(以下,「津波防護施設」という。)及び浸水防止機能を有する設備(以下,「浸水防止設備」という。)</li> <li>i. 敷地における津波監視機能を有する施設(以下,「津波監視設備」という。)</li> </ul>
Bクラス	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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, その破損による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。</li> <li>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</li> <li>d. 使用済燃料を冷却するための施設</li> <li>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</li> </ul>
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



## 1.2 耐震重要度分類 ～重大事故等対処施設～

重大事故等対処施設を以下のとおり分類する。

	該当する設備
常設重大事故防止設備	重大事故等対処設備のうち、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合であって、設計基準事故対処設備の安全機能又は、使用済燃料ピットの冷却機能若しくは注水機能が喪失した場合において、その喪失した機能(重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能に限る)を代替することにより重大事故の発生を防止する機能を有する設備であって常設のもの
常設重大事故緩和設備	重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの

# 1.3 設計用地震力

耐震設計の基本方針に基づき、各施設の耐震重要度に応じて定める地震力は、以下の通りとする。

	重要度分類	静的地震力		動的地震力*1,*2	
		水平	鉛直	水平	鉛直
建物・構築物	S	$3.0C_1^{*3}$	$1.0C_V^{*4}$	Ss, Sd	Ss, Sd
	B	$1.5C_1^{*3}$	—	$Sd \times 1/2^{*5}$	$Sd \times 1/2^{*5}$
	C	$1.0C_1^{*3}$	—	—	—
機器・配管系	S	$3.6C_1^{*3}$	$1.2C_V^{*4}$	Ss, Sd	Ss, Sd
	B	$1.8C_1^{*3}$	—	$Sd \times 1/2^{*5}$	$Sd \times 1/2^{*5}$
	C	$1.2C_1^{*3}$	—	—	—
土木構造物	—*6	$1.0C_1^{*3}$	—	Ss*7	Ss*7
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	—	—	Ss	Ss
波及的影響	—	—	—	Ss	Ss
重大事故等対処設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常設耐震重要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、基準地震動Ssによる地震力</li> <li>・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については、代替する機能を持つ設計基準事故対処設備に適用される地震力</li> <li>・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Ssによる地震力</li> </ul>				

- \*1…Ss: 基準地震動Ssにより定まる地震力
- \*2…Sd: 弾性設計用地震動Sdにより定まる地震力
- \*3… $C_1$ : 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。  
 $C_1 = Rt \cdot A_i \cdot C_0$  (Rt: 振動特性係数,  $A_i$ :  $C_1$ の分布係数,  $C_0$ : 標準せん断力係数0.2)
- \*4… $C_V$ : 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られる値
- \*5…共振の恐れのある施設について適用
- \*6…屋外重要土木構造物のうち非常用取水設備についてはCクラス
- \*7…屋外重要土木構造物にのみに適用

## 1.4 荷重の組合せ (1 / 2)

### a. 建物・構築物

- (a) 地震力と常時作用している荷重及び運転時(通常運転時, 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) 常時作用している荷重及び設計基準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。
- (c) B, Cクラスの建物・構築物については, 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又は弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたもの(Bクラスの共振影響検討に係わるもの)を組み合わせる。

### b. 機器・配管系

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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によって作用する荷重で, その作用が長時間続く原子炉冷却材喪失事故時の荷重がある場合には, その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とを組み合わせる。なお, 地震によって引き起こされるおそれがなく, かつ, その事象によって作用する荷重が短時間で終結する場合には地震力とは組み合わせない。
- (d) B, Cクラスの機器・配管系については, 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静的地震力又は弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたもの(Bクラスの共振影響検討に係わるもの)を組み合わせる。

## 1.4 荷重の組合せ (2 / 2)

### c. 土木構造物

(a) 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。

### 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・構築物については, 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基準地震動 $S_s$ による地震力を組み合わせる。

(b) 浸水防止設備及び津波監視設備については, 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等と基準地震動 $S_s$ による地震力を組み合わせる。

なお, 上記については, 地震と津波が同時に作用する可能性について検討, 必要に応じて基準地震動 $S_s$ による地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。

## 1.5 許容限界 (1 / 3)

### a. 建物・構築物(設計基準対象施設)

#### (a) Sクラスの建物・構築物

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。

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

建物・構築物が構造物全体として十分変形能力(終局耐力時の変形)の余裕を有し、終局耐力に対して安全余裕をもたせることとする。

なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又は歪が著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式、模型実験結果等に加え、必要に応じ当該部分の構造特性を考慮した模型による実験を実施し、その結果等に基づき適切に定めるものとする。

#### (b) Bクラス及びCクラスの建物・構築物

上記(a)イによる許容応力度を許容限界とする。

#### (c) 耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物

上記(a)ロの項を適用するほか、耐震クラスの異なる施設がそれを支持する建物・構築物の変形等に対して、その機能が損なわれないものとする。

#### (d) 建物・構築物の保有水平耐力

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適切な安全余裕を有していることを確認する

#### (e) Sクラスの建物・構築物の基礎地盤の支持性能

イ. 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により生じる建物・構築物の基礎地盤の接地圧に対する許容限界

JEAG4601等の安全上適切と認められる規格及び基準等による許容支持力を許容限界とする。

ロ. 基準地震動 $S_s$ により生じる建物・構築物の基礎地盤の接地圧に対する許容限界

JEAG4601等の安全上適切と認められる規格及び基準等に基づく限界値に対して妥当な余裕をもたせることとする。

#### (f) Bクラス及びCクラスの建物・構築物の基礎地盤の支持性能

上記(e)イによる許容支持力を許容限界とする。

## 1.5 許容限界 (2 / 3)

### b. 機器・配管系 (設計基準対象施設)

#### (a) Sクラスの機器・配管系

##### 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

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。ただし、原子炉冷却材喪失事故時の長時間作用する荷重との組み合わせに対しては、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、その量が少ないレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能に影響を及ぼすことがない限度に応力を制限する。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、基準地震動 $S_s$ に対する応答に対して、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。

#### (b) Bクラス及びCクラスの機器・配管系

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。

## 1.5 許容限界 (3 / 3)

### c. 土木構造物(設計基準対象施設)

#### (a)屋外重要土木構造物

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, 又は部材の終局耐力及び変形等に対して安全余裕をもたせることとする。

#### (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

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については, 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, 津波防護機能及び浸水防止機能が保持できることを確認する。

浸水防止設備及び津波監視設備については, 浸水防止機能及び津波監視機能が保持できることを確認する。

### e. 重大事故等対処施設

#### (a)常設重大事故防止設備

1.3項に定める地震力に対して, 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項に定める地震力に対して, 必要な機能が喪失しないことを確認する。

## 2. 既設施設の耐震設計方針



## 2. 1 既設施設の耐震評価方針 (網羅性, 代表性)

## 2.1 既設施設の耐震評価方針（網羅性，代表性）（1／2）

今回の申請した既設設備については，新規基準を踏まえた耐震設計方針に照らした適合性を確認している。これらの設備については，地震動の変更に伴う耐震性評価が主体となることから，以下の評価方針，記載方針とする。

### <評価方針>

#### (1)評価対象施設の網羅性

- 評価対象設備は，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則 別表第二」の対象施設のSクラス施設とする。また，耐震重要度分類の考え方に基づき，Sクラス設備の直接支持構造物及び間接支持構造物並びに波及的影響に関する施設についても整理を行い，網羅性を確認し評価を実施する。

#### (2)評価部位・評価項目の代表性

- 対象とした設備については，最新プラントである泊3号機の建設工認を参考に，施設の耐震性を評価する上で必要な部位及び評価項目について全て評価を行い，耐震性を有していることを確認する。

#### (3)評価手法に関する建設工認との差異

- 対象設備の評価にあたっては，「1. 耐震設計の基本方針」に準じるが，最新知見等を反映し新たに採用した評価手法についてはその妥当性についても確認する。

#### (4)その他の留意事項

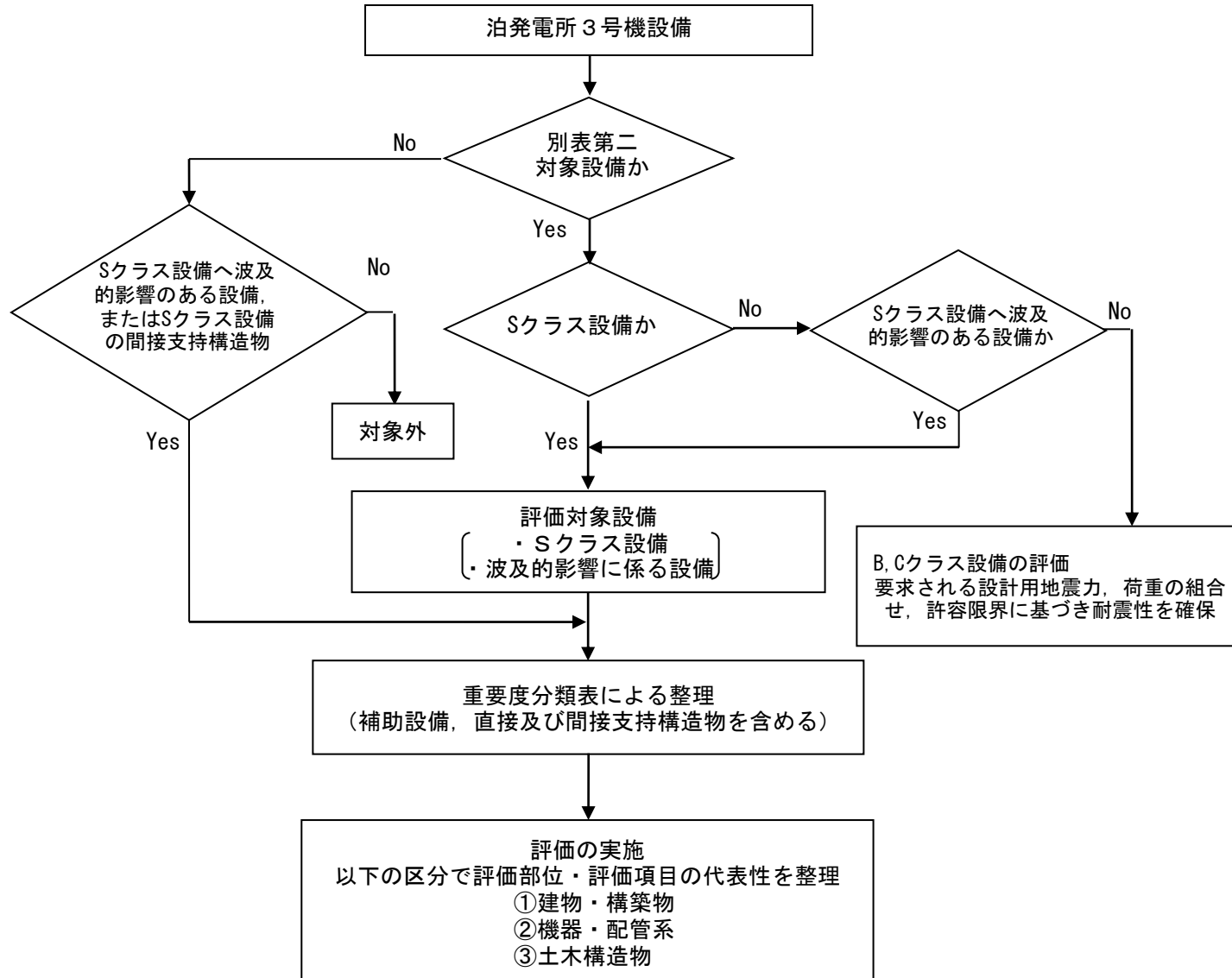
- 他の評価で安全側に包絡できる場合には，妥当性を確認した上で評価を代表することもある。

### <記載方針>

- 機器・配管系のSクラス設備評価結果は，各設備の全ての評価設備について評価した上で，最小裕度部位となった代表部位の値を一覧表で記載する。
- 別表第二の対象施設であり，波及的影響に係わらないB，Cクラス施設については，対象施設を明確にしたうえで設計方針を記載する。

## 2.1 既施設の耐震評価方針（網羅性，代表性）（2 / 2）

【評価対象施設の網羅性／評価部位・評価項目の代表性の検討フロー】



## 2. 2 各施設の具体的な耐震評価

## 2.2.1 建物・構築物 ～評価方針～

### ◆評価方針

建物・構築物の耐震評価は、基準地震動  $S_s$  に対して耐震設計上重要な施設の安全機能を保持する観点及び弾性設計用地震動  $S_d$  に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる観点から、それぞれ基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）によることとし、建物・構築物の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

#### a. 入力地震動

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  を用い、建物・構築物の設置レベル（解析モデルの基礎底面）に直接入力する。

#### b. 解析方法及び解析モデル

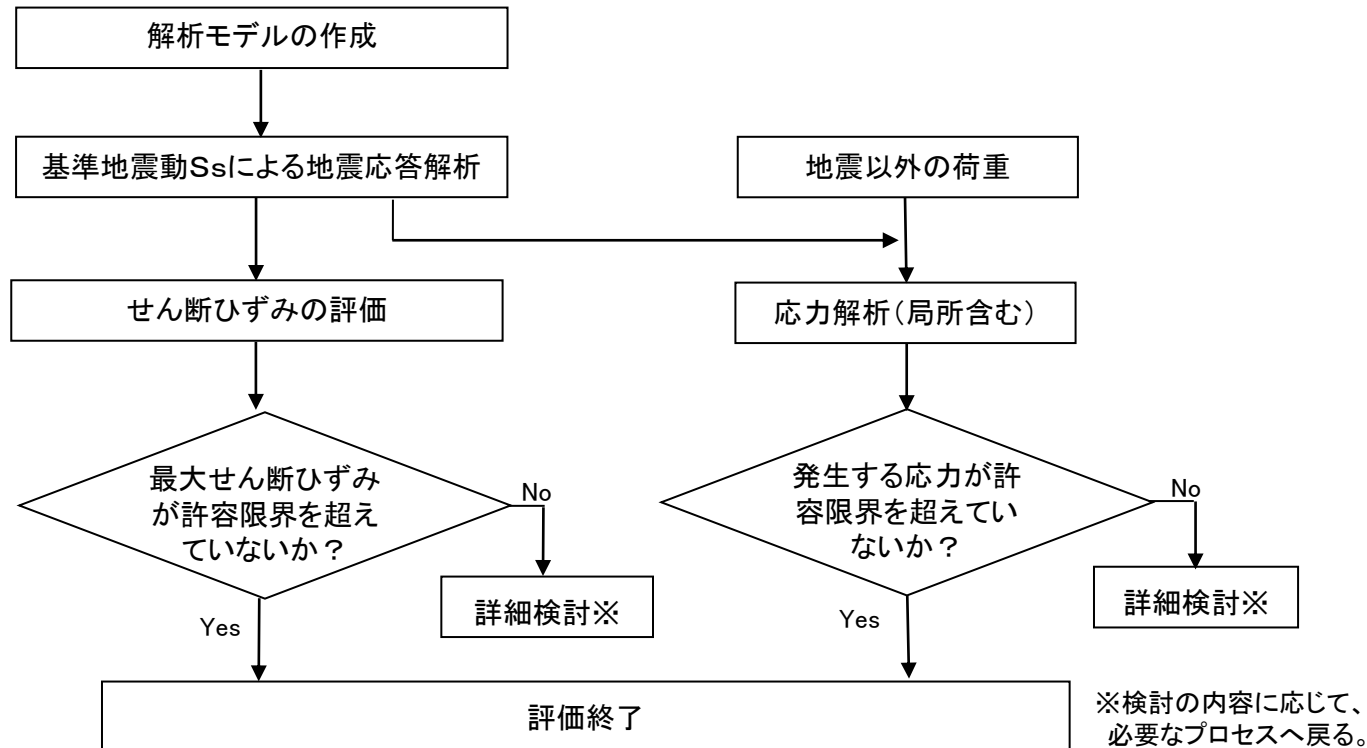
建物・構築物の地震応答解析は、時刻歴応答解析による。

- ・ 建物・構築物の地震応答解析に当たっては、その形状、構造特性等を十分考慮して剛性等を評価し、集中質点系に置換した解析モデルを設定する。  
なお、地盤と建物・構築物の相互作用は弾性波動論に基づく等価なばねでモデル化して考慮する。
- ・ 建物・構築物の地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮し、必要に応じて、建物・構築物の設計用地震力や機器・配管系の入力地震力に及ぼす影響を検討する。
- ・ 原子炉建屋については3次元FEMモデルを作成し、建物・構築物の3次元応答性状を確認する。

## 2.2.1 建物・構築物 ～基準地震動 $S_s$ による評価～

### ◆基準地震動 $S_s$ による評価

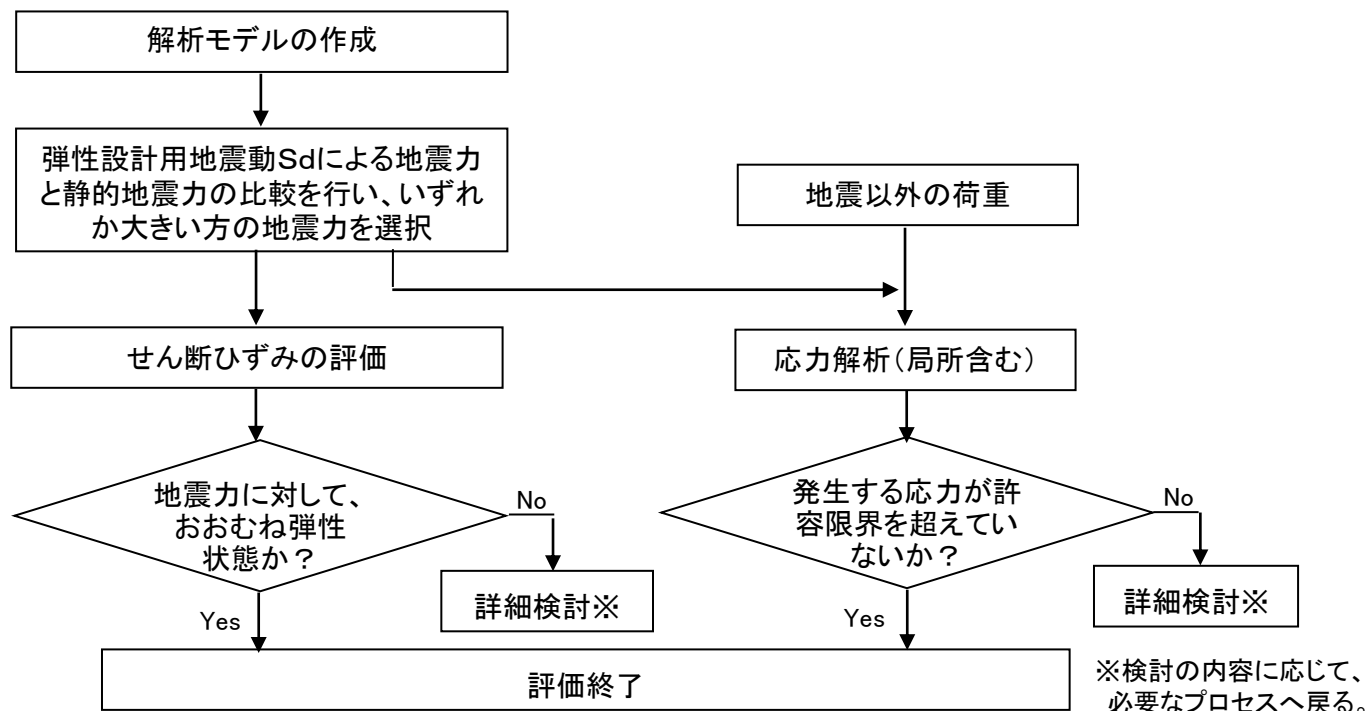
- 建物・構築物（間接支持構造物を含む）に関する評価は、基準地震動 $S_s$ による鉄筋コンクリート造耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えていないことを確認する。
- 地震力以外の荷重を考慮する必要がある場合は、基準地震動 $S_s$ による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせる応力解析を行い、その結果発生する応力が許容限界を超えていないことを確認する。



## 2.2.1 建物・構築物 ～弾性設計用地震動 S d ・静的地震力による評価～

### ◆弾性設計用地震動 S d ・静的地震力による評価

- 弾性設計用地震動 S d ・静的地震力による評価は、建物・構築物が、弾性設計用地震動 S d による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみが、おおむね弾性状態であることを確認する。
- 地震力以外の荷重を考慮する必要がある場合は、弾性設計用地震動 S d と静的地震力のいずれか大きいほうの地震力と地震力以外の荷重を組み合わせることで応力解析を行い、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。



## 2.2.1 建物・構築物 ～原子炉建屋の地震応答解析～

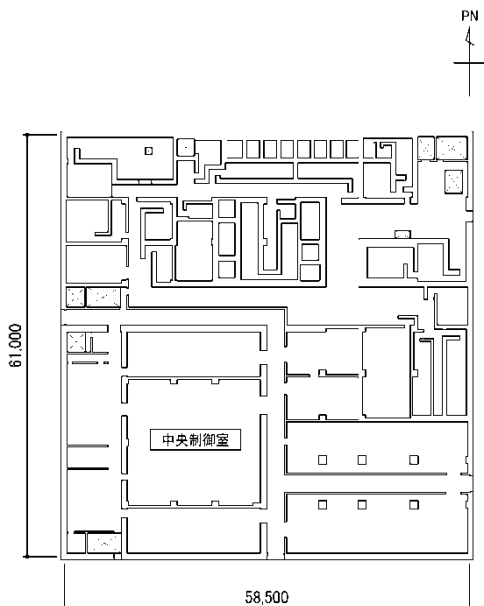
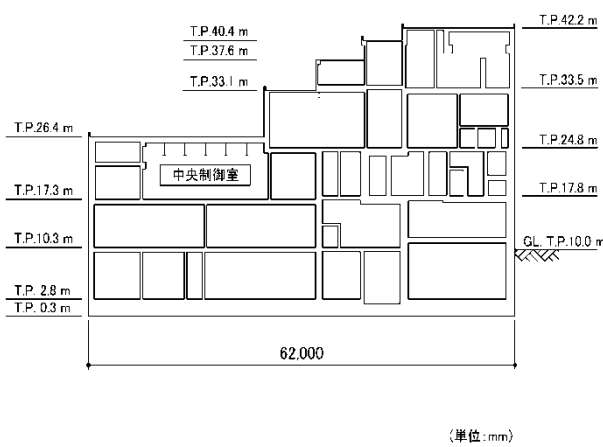
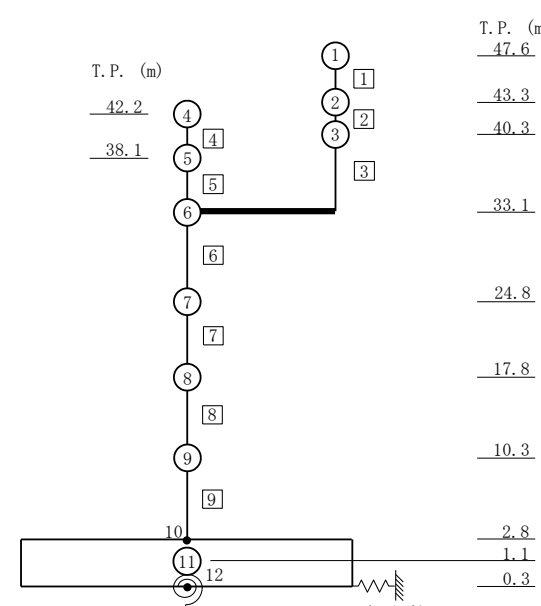
### ◆原子炉建屋の地震応答解析

構造	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート及び鉄骨造)		
基礎	厚さ9.3m(一部7.5m及び4.0m)		
平面形状	EW 58.2m×NS 79.1m		
構成建屋	原子炉格納施設(原子炉格納容器、外部遮へい建屋及び内部コンクリート) 周辺補機棟 燃料取扱棟		
概略図・解析モデル	<p>概略平面図</p> <p>(単位: mm)</p>	<p>概略断面図</p> <p>(単位: mm)</p>	<p>地震応答解析モデル</p> <p>●: 質点番号 ○: 節点 □: 鉛直部材番号 △: 水平部材番号</p>



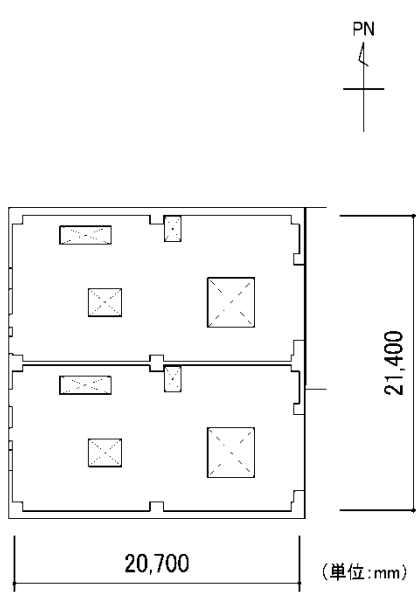
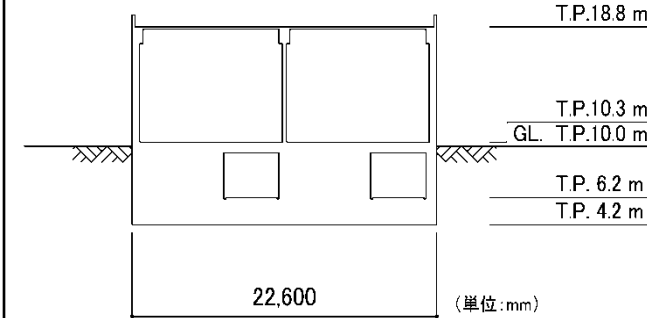
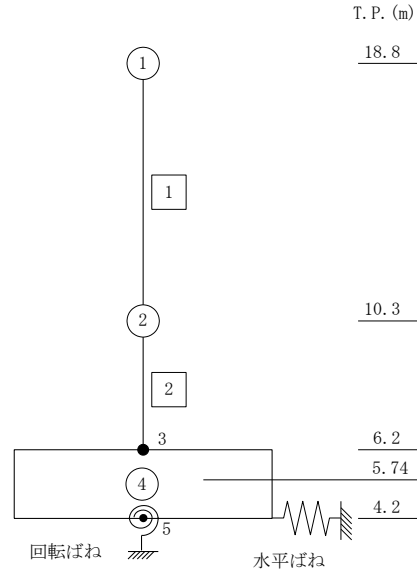
## 2.2.1 建物・構築物 ～原子炉補助建屋の地震応答解析～

### ◆原子炉補助建屋の地震応答解析

構造	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）																																													
基礎	厚さ2.5m																																													
平面形状	EW 59.5m × NS 62.0m																																													
概略図・ 解析モデル	概略平面図	概略断面図	地震応答解析モデル																																											
	 <p>(単位: mm)</p>	 <p>(単位: mm)</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>階高 (m)</th> <th>質点番号</th> <th>節点番号</th> <th>鉛直部材番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>47.6</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>43.3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>40.3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>33.1</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>24.8</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>17.8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>10.3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>2.8</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1.1</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>○: 質点番号 ●: 節点 □: 鉛直部材番号</p>	階高 (m)	質点番号	節点番号	鉛直部材番号	47.6	1	1	1	43.3	2	2	2	40.3	3	3	3	33.1	6	6	6	24.8	7	7	7	17.8	8	8	8	10.3	9	9	9	2.8	11	11	11	1.1	12	12	12	0.3		
階高 (m)	質点番号	節点番号	鉛直部材番号																																											
47.6	1	1	1																																											
43.3	2	2	2																																											
40.3	3	3	3																																											
33.1	6	6	6																																											
24.8	7	7	7																																											
17.8	8	8	8																																											
10.3	9	9	9																																											
2.8	11	11	11																																											
1.1	12	12	12																																											
0.3																																														

## 2.2.1 建物・構築物 ～ディーゼル発電機建屋の地震応答解析～

### ◆ ディーゼル発電機建屋の地震応答解析

構造	鉄筋コンクリート造		
基礎	厚さ 2.0m		
平面形状	EW 21.5m × NS 22.6m		
概略図面・解析モデル	<p>概略平面図</p> 	<p>概略断面図</p> 	<p>地震応答解析モデル</p>  <p>○ : 質点番号 ● : 節点 □ : 部材番号</p>

## 2.2.1 建物・構築物 ～局部の応力評価～

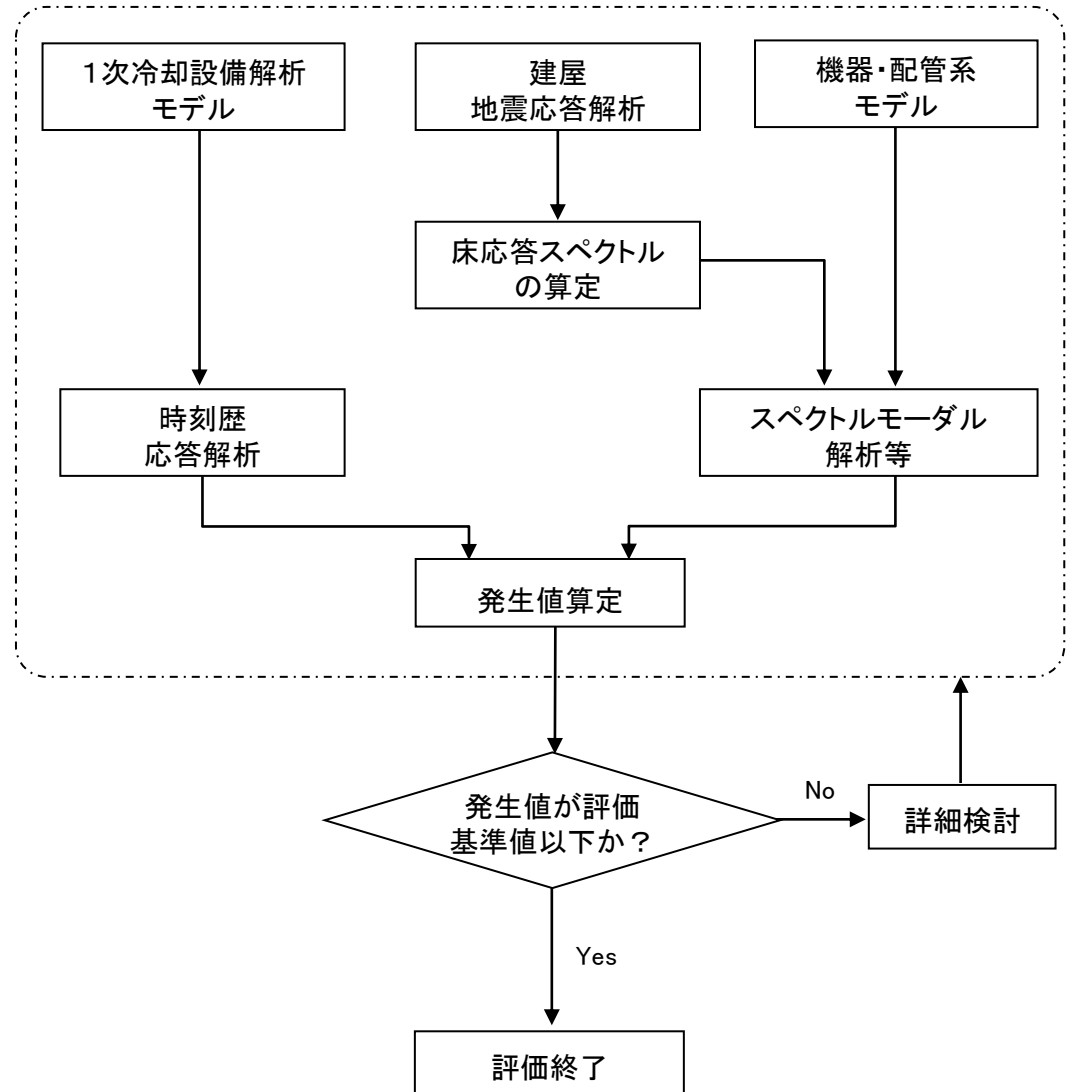
### ◆局部の応力評価

	使用済燃料ピット	燃料取替用水ピット	補助給水ピット
平面図			
モデル図			

## 2.2.2 機器・配管系 ～基準地震動 $S_s$ による評価(構造強度)～

### ◆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る詳細評価を行い、発生値を算定し、評価基準値と比較する。なお、地震応答解析にあたっては、地盤物性・建屋剛性等の不確かさを適切に配慮する。
  - スペクトルモーダル解析法
  - 時刻歴応答解析法
  - 定式化された評価式を用いた解析法(床置き機器等)
- 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。



## 2.2.2 機器・配管系 ～基準地震動 $S_s$ による評価(動的機能維持)～

### ◆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により実施する。

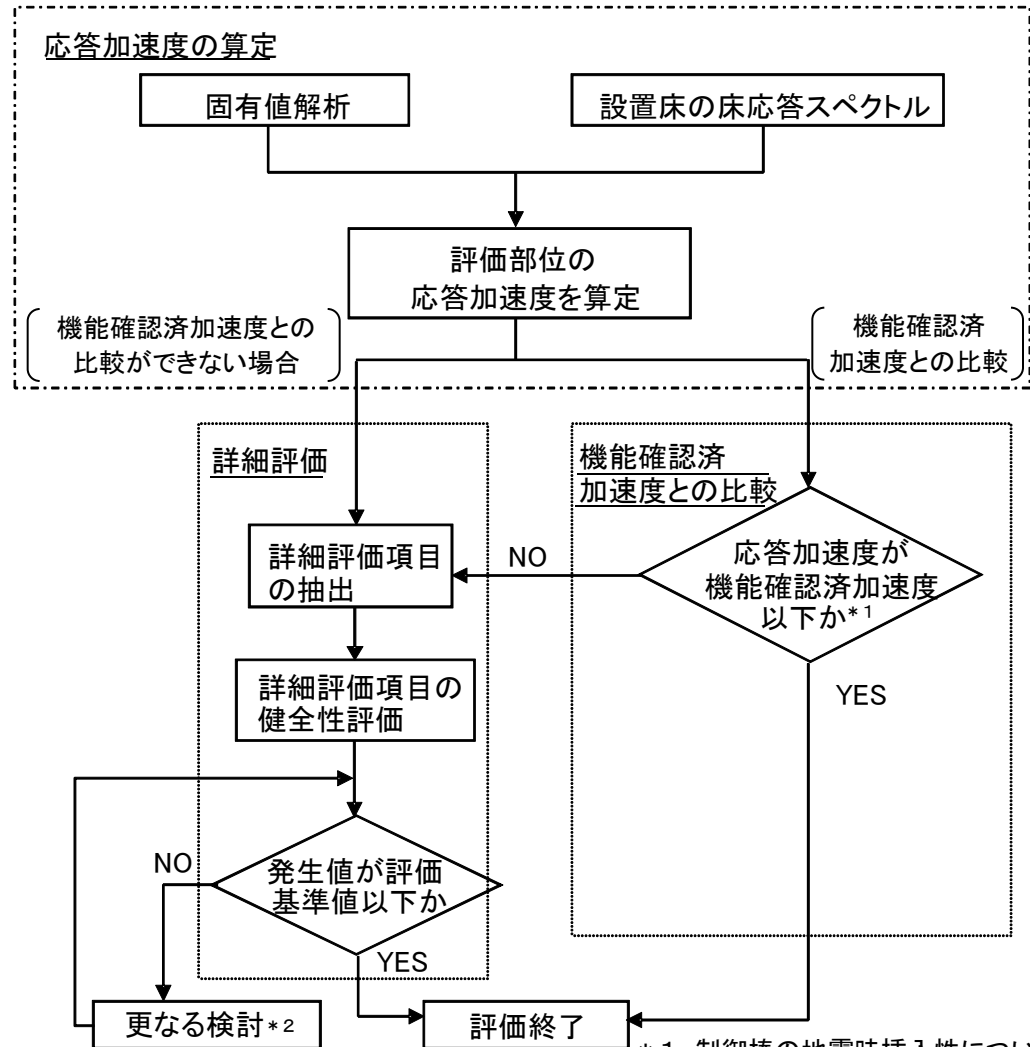
#### a. 機能確認済加速度との比較

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、機種毎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が規定時間以内であることを確認する。

#### b. 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上で評価が必要となる項目を抽出し、対象部位毎の構造強度評価又は動的機能維持評価を行い、発生値が評価基準値を満足していることを確認する。



\*1 制御棒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。  
\*2 解析、試験等による検討。

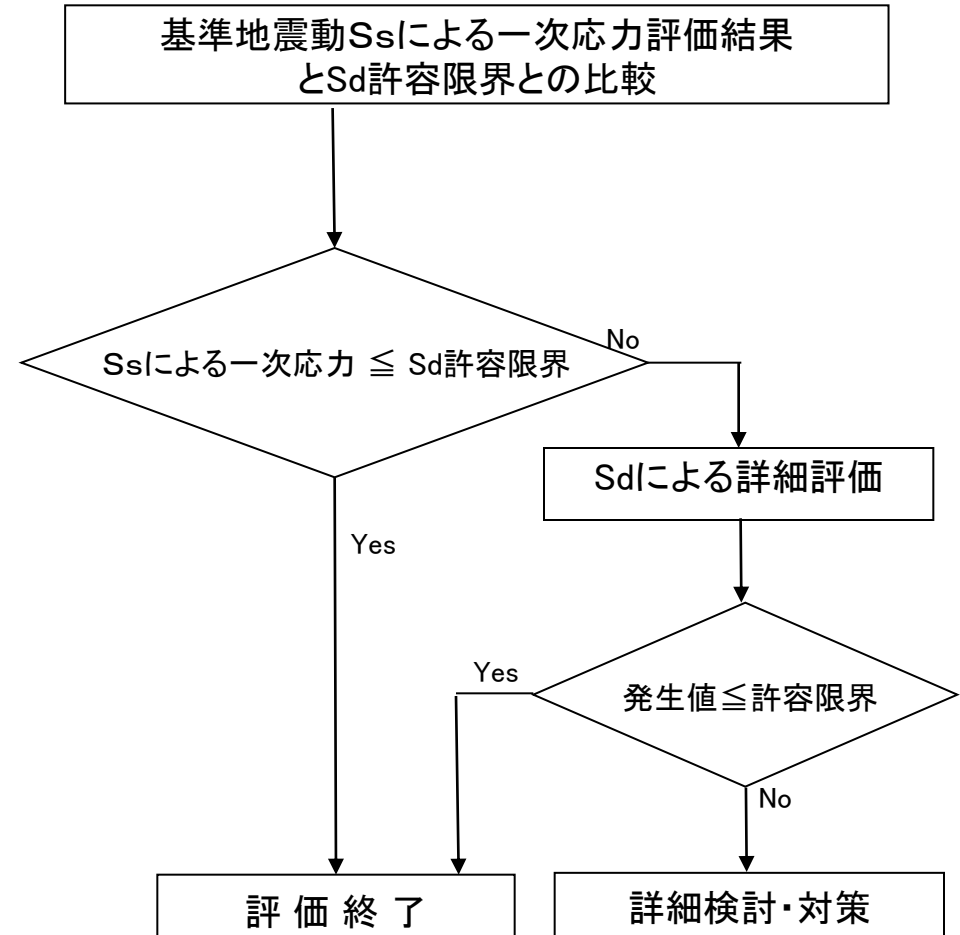
## 2.2.2 機器・配管系 ～弾性設計用地震動S<sub>d</sub>・静的地震力による評価～

### ◆弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による評価

- 弾性設計用地震動S<sub>d</sub>の評価については、構造強度評価により許容限界(おおむね弾性域)を満足することが求められている。
- 基準地震動S<sub>s</sub>による発生値がS<sub>d</sub>の許容限界以下となれば、S<sub>d</sub>の発生値は許容限界以下となることから、今回の評価では、まずS<sub>s</sub>による一次応力評価結果がS<sub>d</sub>の許容限界以下であることを確認する。
- S<sub>s</sub>による一次応力評価結果がS<sub>d</sub>許容限界を超えた場合には、S<sub>d</sub>による評価を実施する。
- 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)で代表可能なこと等、妥当性の確認されたものは評価を省略している。
- なお、事故時荷重と地震荷重を組み合わせた評価が必要な機器については、別途S<sub>d</sub>による詳細評価を行う。

### ◆静的地震力による評価

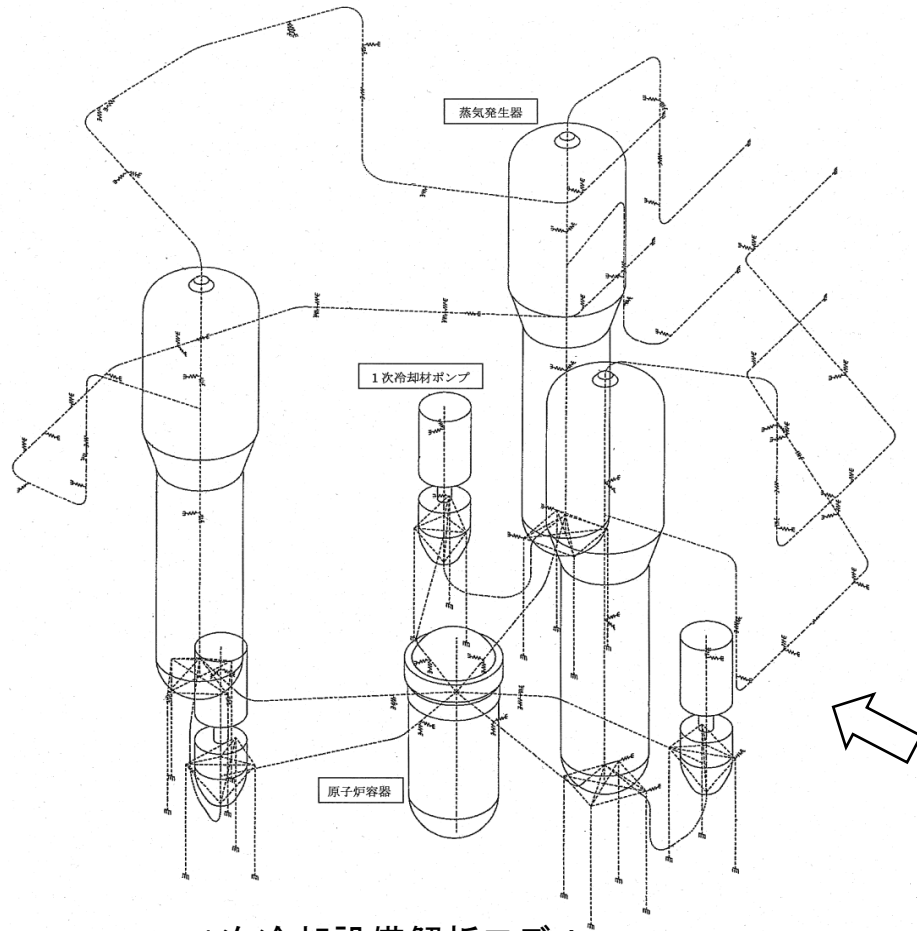
- 静的地震力は建設工認から変更がないことから、評価を行うことは不要である。



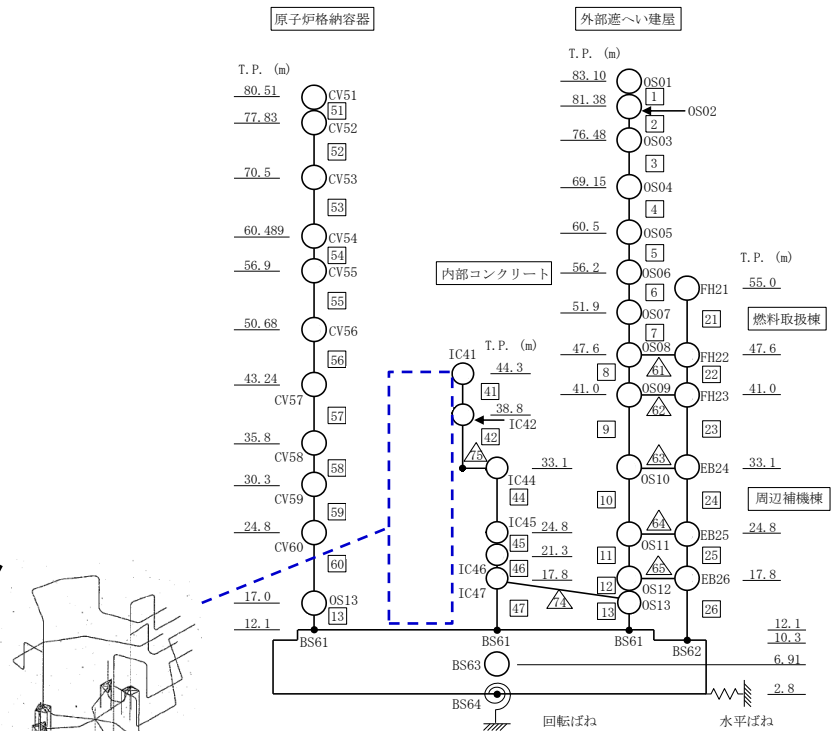
## 2.2.2 機器・配管系 ～地震応答解析(1次冷却設備の例)～

### ◆地震応答解析に用いた解析モデル(1次冷却設備の例)

- 今回の評価で用いた1次冷却設備の解析モデルを下図に示す。



1次冷却設備解析モデル



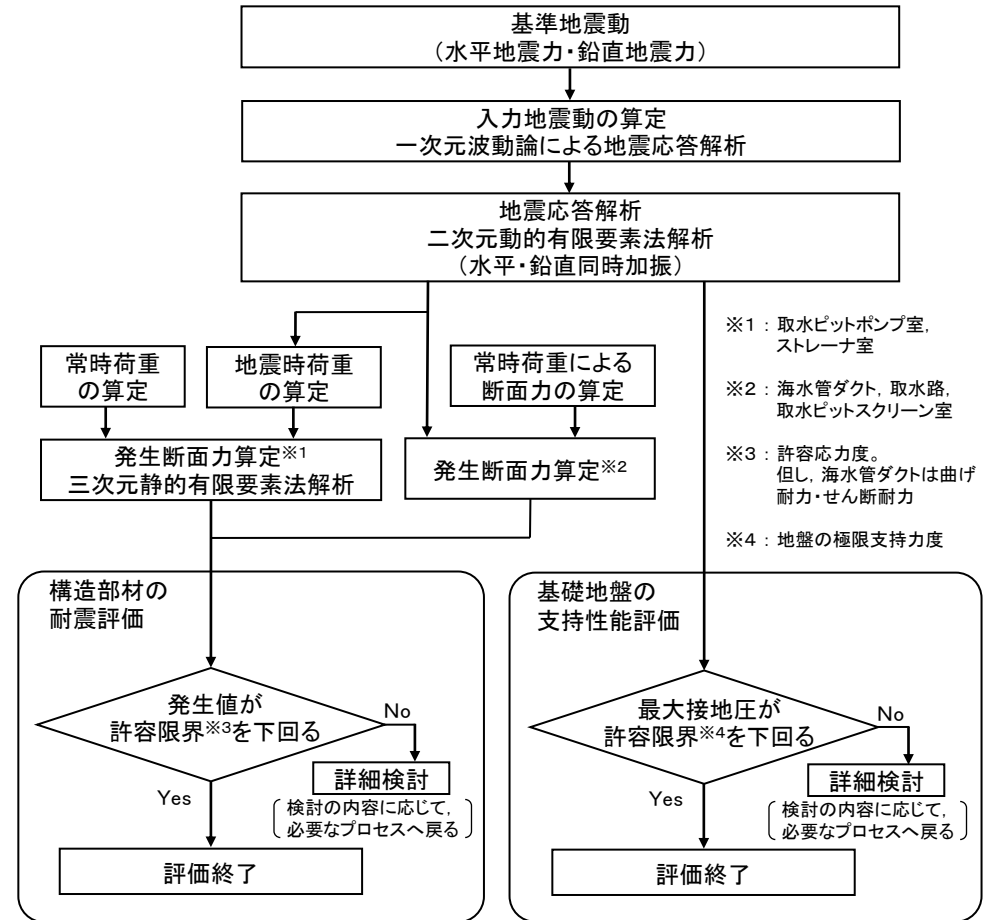
建屋-1次冷却設備連成モデル(水平方向)

## 2.2.3 屋外重要土木構造物 ～評価方針～

### ◆評価方針

#### a. 基準地震動 $S_s$ による評価

- 屋外重要土木構造物の耐震評価は、基準地震動 $S_s$ を用いた地震応答解析を実施のうえ、常時荷重(又は常時断面力)及び地震応答解析により求めた地震時荷重(又は地震時増分断面力)をもとに発生断面力を算定し、許容応力度法又は限界状態設計法に基づき、構造物の発生値が許容限界を下回ることを確認する。
- 基礎地盤の支持性能については、基準地震動 $S_s$ により生じる基礎地盤の最大接地圧が許容限界を下回ることを確認する。
- 屋外重要土木構造物の耐震評価手順を右図に示す。



#### b. 静的地震力による評価

- 土木構造物として求められる建物・構築物のCクラスに適用される静的地震力による作用荷重が、基準地震動 $S_s$ による作用荷重よりも小さいことを確認することにより、静的地震力に対する耐震評価が基準地震力 $S_s$ に対する耐震評価で包含されることを確認する。



## 2.2.3 屋外重要土木構造物 ～評価概要～

### ◆評価概要

#### a. 地震応答解析

- 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二次元動的有限要素法解析(等価線形解析)を用いる。なお、地震応答解析では、水平地震動と鉛直地震動の同時加振とする。
- 地震応答解析モデルは、構造物を平面ひずみ要素又は梁要素でモデル化する。地盤は平面ひずみ要素でモデル化し、埋戻土については、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮する。海水管ダクトの解析にあたっては、部材の剛性を一様に低減させることにより、構造物の非線形性を考慮する。
- 地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を用いて一次元波動論による地震応答解析を行い、地震応答解析モデル入力位置で評価したものをを用いる。

#### b. 許容限界

- 許容応力度法に基づく評価では、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」(土木学会, 2002)による許容応力度を許容限界とする。
- 限界状態設計法に基づく評価では、曲げ系破壊に対しては、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」(土木学会, 2002)による曲げ耐力、せん断系破壊に対しては、「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」(土木学会, 2005)によるせん断耐力を許容限界とする。
- 基礎地盤の支持性能については、地盤の極限支持力度を許容限界とする。

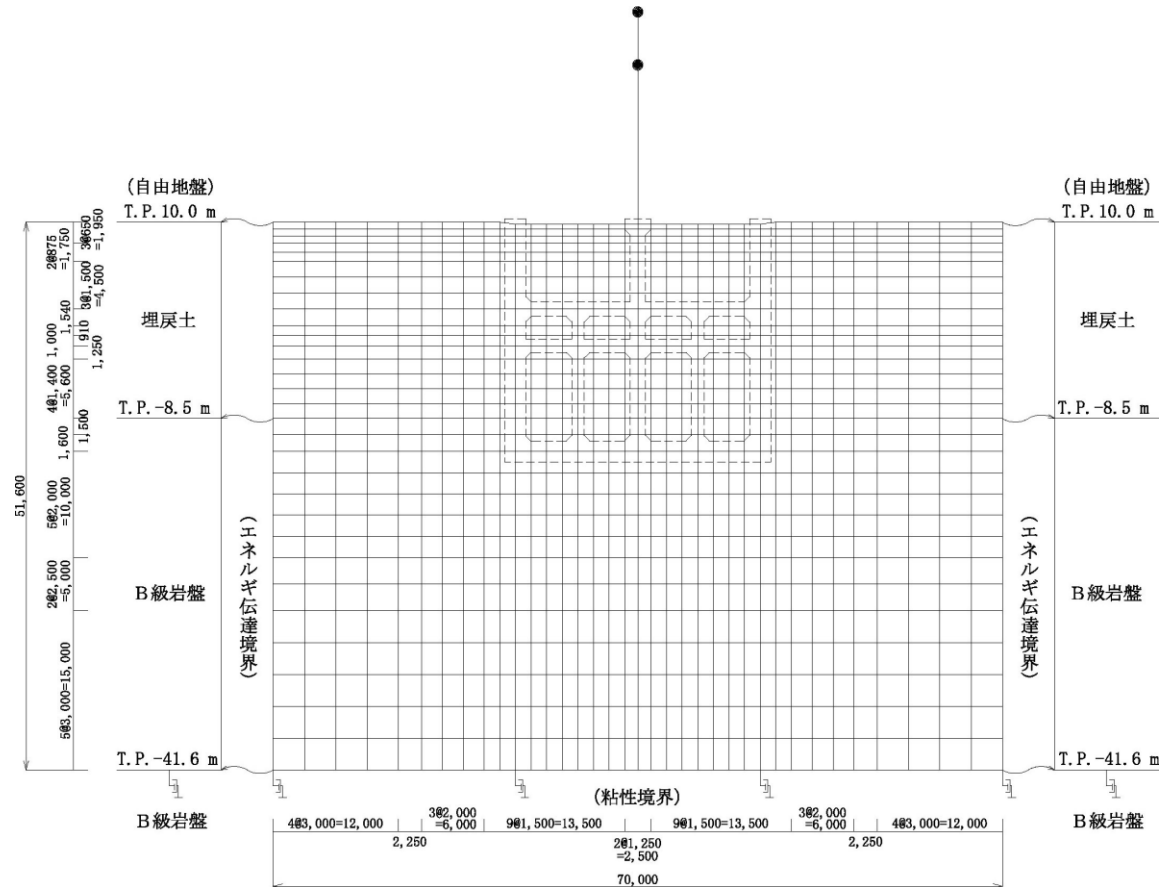
#### c. 評価断面

- 屋外重要土木構造物は、側壁・隔壁の配置等により、横断方向の構造耐力は縦断方向に比べて小さくなることから、耐震評価における評価断面の加振方向は、構造物の弱軸となる横断方向とする。
- 評価位置については、建設工認時の断面選定の考え方を踏まえ、構造物の耐震評価上の代表断面として、相対変位が大きくなる断面等を選定する。

## 2.2.3 屋外重要土木構造物 ～地震応答解析モデル～

### ◆地震応答解析に用いた解析モデル（取水ピットポンプ室の例）

- 取水ピットポンプ室の地震応答解析モデルを下図に示す。



取水ピットポンプ室 地震応答解析モデル

## 2.2.4 B, Cクラス施設の耐震評価方針

### ◆ B, Cクラス施設の耐震評価方針について

#### ・Bクラス施設

Bクラス施設に要求される設計用地震力, 荷重の組合せと許容限界等を考慮し, 耐震評価を実施する。  
なお、共振のおそれのある施設については, 弾性設計用地震動 $S_dI$ に2分の1を乗じたものを用いて, 水平及び鉛直方向についてその影響を検討する。

#### ・Cクラス施設

Cクラス施設に要求される設計用地震力, 荷重の組合せと許容限界等を考慮し, 耐震評価を実施する。

### 3. 今後の確認事項について

### 3. 今後の確認事項について

今回制定された規制基準等においては、従前の耐震設計審査指針から充実が図られている項目などがあり、その妥当性を確認する必要がある。代表的な項目は以下であり、今後ご確認いただくこととしている。

#### 3.1 既設施設の耐震評価における建設工認との相違について

- ・今回の既設施設の評価に関しては、評価手法、解析条件など、建設工認と異なるものを用いている場合は、評価の妥当性を確認する。

#### 3.2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について

- ・下位クラスの設備の波及的影響によって、Sクラス設備の安全機能に影響を及ぼすことがないことについて評価を実施する。

#### 3.3 3次元応答性状及び水平2方向の地震力による影響に関する検討について

- ・3次元応答性状の建屋及び機器・配管系への影響及び水平2方向の地震力による影響を受ける部位について確認するため、建屋の3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施する。

### 3.1 既設施設の耐震評価における建設工認との相違について

各施設の評価に用いた評価手法・評価条件・解析モデルについては、建設工認における評価手法等からの差異の有無を確認し、差異がある場合にはその内容を整理している。

建設工認と異なる手法等を用いているものについては、試験等による検討結果を反映したもの、設計評価手法として適用実績のあるものとして採用しているものである。これらについては、その手法等の妥当性、泊3号機への適用性について確認する。

#### 今回の評価で用いた各施設の評価手法・条件・解析モデルについての建設工認との主な差異

1. 評価モデル・評価手法を精緻化したもの
(1) 建屋－1次冷却材ループ－主蒸気/主給水管の連成モデル*1
(2) 原子炉格納容器－格納容器ポーラクレーンの連成モデル*2
(3) 蒸気発生器 伝熱管の地震応答解析モデル
(4) 原子炉補機冷却海水ポンプの地震応答解析モデル
(5) 海水管ダクトの解析モデルにおける構造物の非線形性の考慮, 限界状態設計法の適用
(6) 運転コンソール, 蓄電池の地震応答解析モデル
2. 最新知見として得られた減衰定数を採用したもの
(1) 蒸気発生器伝熱管, クレーン, 配管系の減衰定数

\*1・・・建設工認では、建屋－1次冷却ループを連成させて時刻歴により解析しており、今回の評価は主蒸気・主給水管も連成させて同様に時刻歴解析を実施。

\*2・・・建設工認では、原子炉格納容器リングガーダ上端部の応力算出の際、設置レベルの地震波を用いた格納容器ポーラクレーンの時刻歴応答解析を行いリングガーダに生じる荷重を算出。今回工認では、原子炉格納容器と一体で時刻歴応答解析を行い、リングガーダに生じる荷重を算出。また、建設工認では対象外としていたが、今回の評価では、同モデルにて格納容器ポーラクレーンのSクラスへの波及的影響評価も実施。

### 3.2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について

#### ◆【実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、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な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



#### ◆（波及的影響評価の基本方針）

下位クラスの設備の波及的影響によって、Sクラス設備の安全機能に影響を及ぼすことがないことについて、「設置許可基準規則の解釈 別記2」に記載の上記の4つの観点をもとに、図面及び設計図書等による机上検討の他、敷地全体を俯瞰した建屋内外の現場調査(プラントウォークダウン)を行い、抽出した下位クラス施設の評価を実施する。

### 3.2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について ～机上検討と現場調査～

#### ◆机上検討

- 泊発電所構内配置図，機器配置図，系統図等を用いて，Sクラス施設周辺に位置する，又は，Sクラス施設に接続されている下位クラス施設を抽出する。
- 抽出された下位クラス施設について，その設計情報，設計図面等から，波及的影響を及ぼす可能性のあるものをさらに抽出し，当該下位クラス施設がSクラス施設へ及ぼす影響について評価する。

#### ◆現場調査

- 机上にて評価した内容について，現場調査にて補完すべく，抽出された下位クラス施設の配置や設置状況を確認する。
- 設計図書等にて影響の有無を判別できない仮設設備，資機材等であって，波及的影響を及ぼす可能性のあるものについて，Sクラス施設周辺に不適切な状態で配置・保管されていないことを確認する。

机上検討及び現場調査を含め，別記2の4つの観点での波及的影響評価手順（フロー）を次葉以降に示す。



### 3.2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について ～波及的影響評価の評価手順～(1/2)

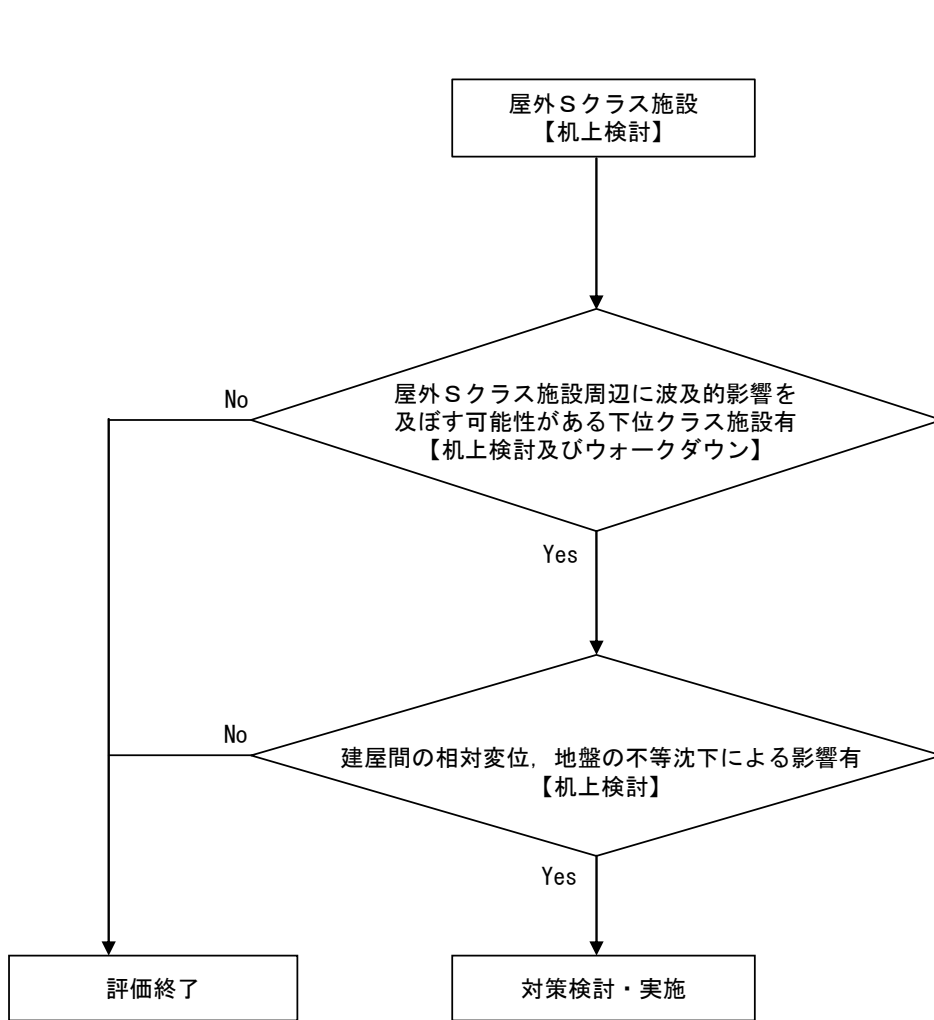


図1 屋外施設の相対変位・不等沈下による影響評価フロー

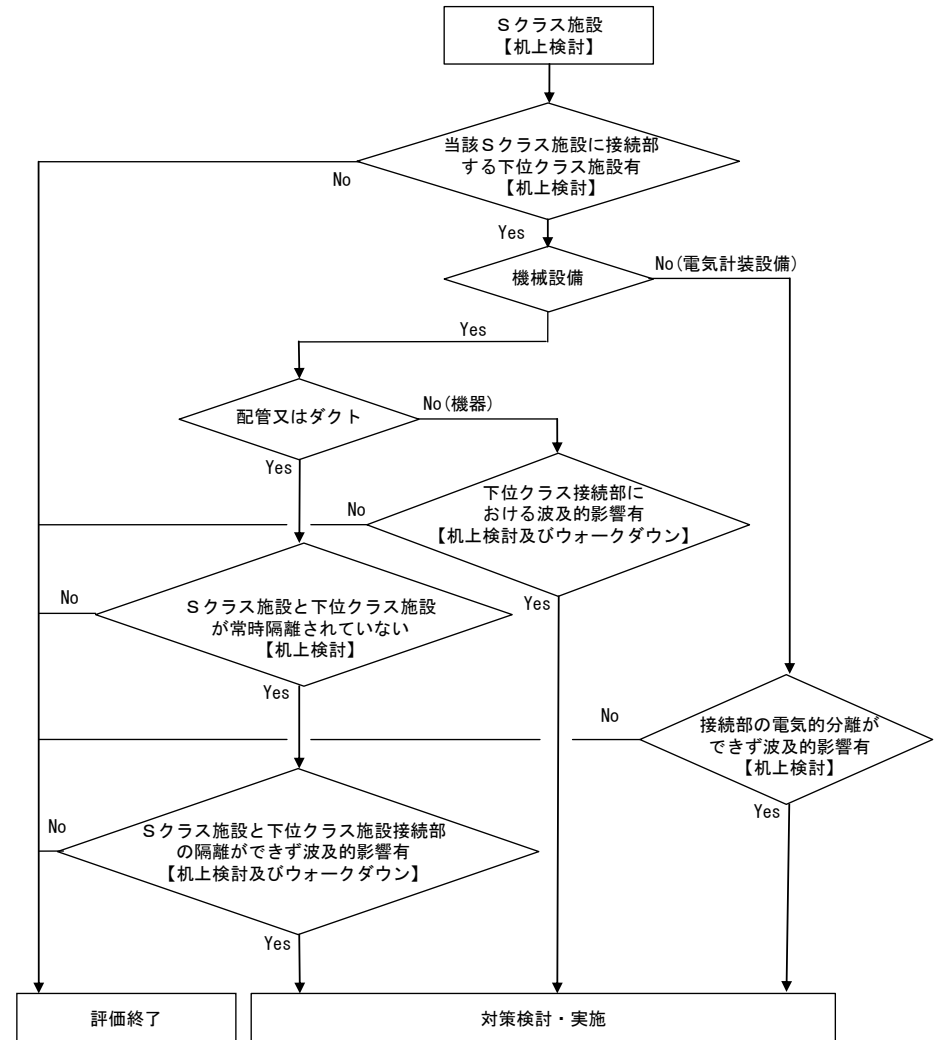


図2 Sクラス施設と下位クラス施設の接続部の影響評価フロー

### 3.2 Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響評価の検討について ～波及的影響評価の評価手順～(2/2)

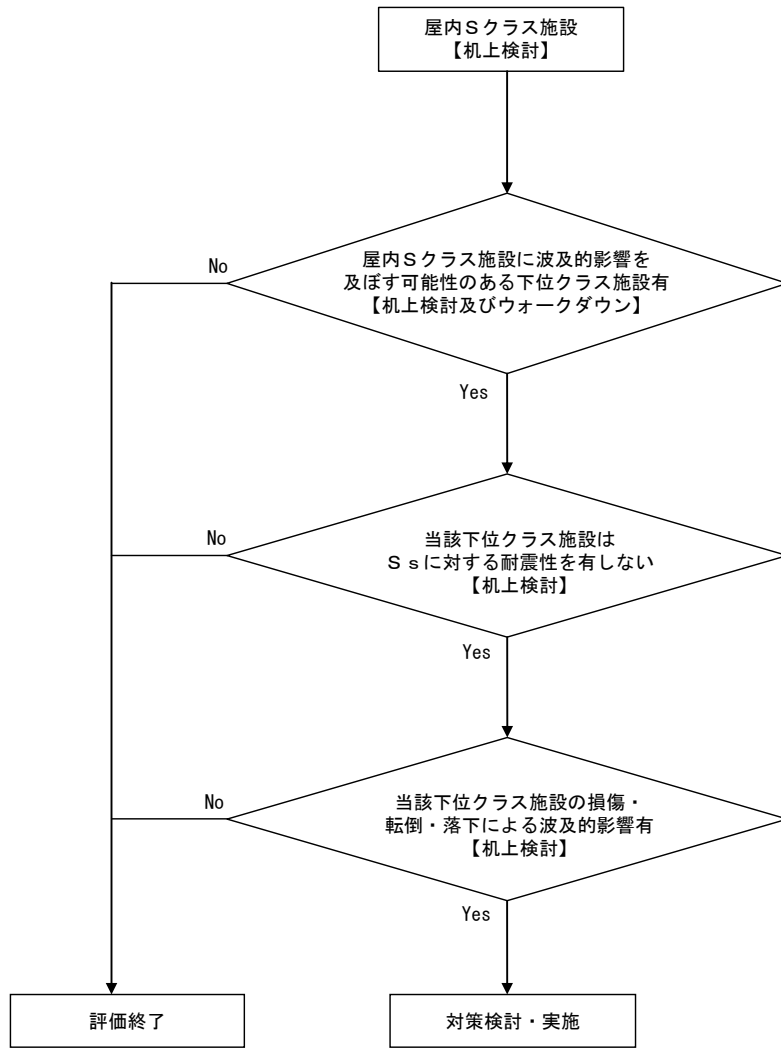


図3 屋内下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による影響評価フロー

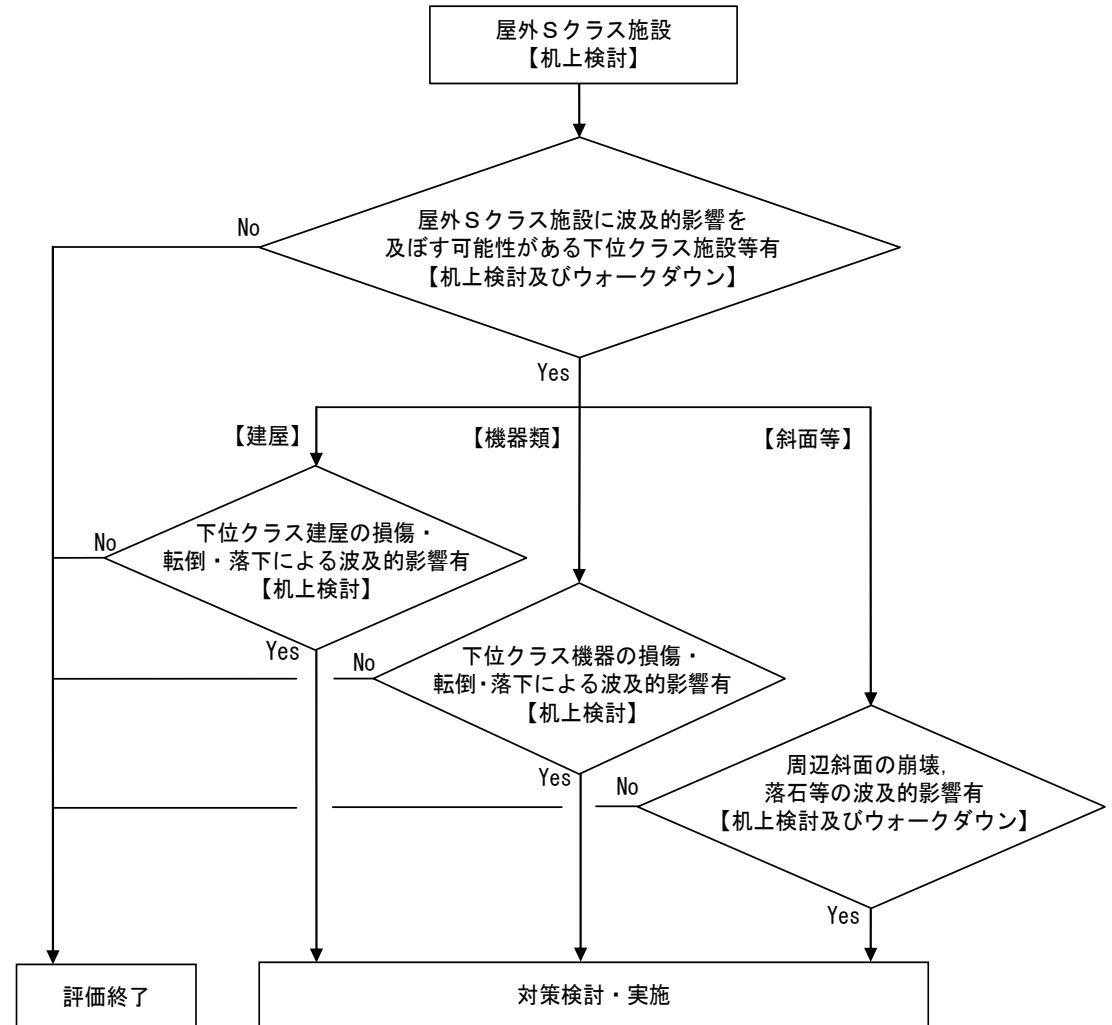


図4 屋外下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による影響評価フロー

### 3.3 3次元応答性状及び水平2方向の地震力による影響に関する検討について

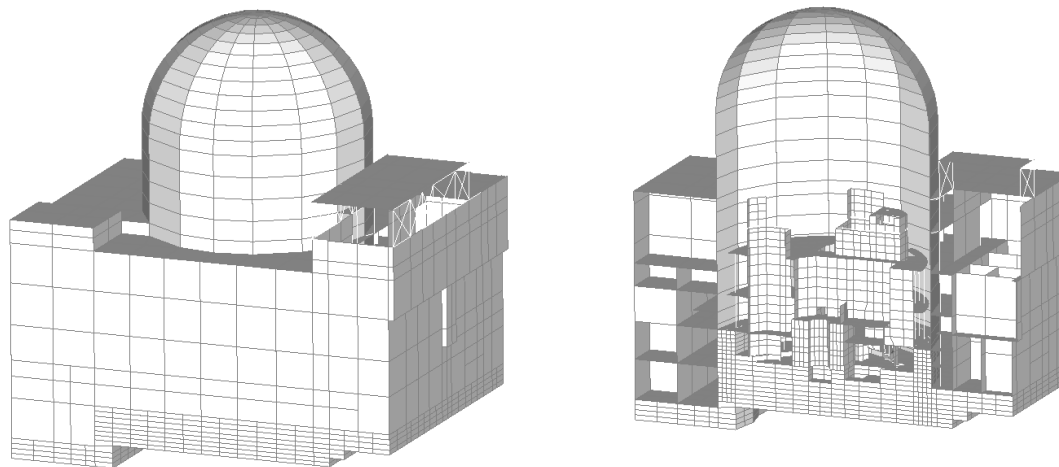
#### ◆建屋及び機器・配管系への影響の観点から3次元応答性状を確認するため、3次元FEMモデルを用いた検討

3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施して、3次元応答性状を考えた場合に、特に影響があると想定される下記の事象について確認する。

- ・ねじれ振動の影響
- ・床柔性の影響
- ・ロッキング振動の影響

#### ◆水平2方向の地震力による影響を受ける部位の検討

3次元FEMモデルによる地震応答解析の結果より、水平2方向地震力による影響を受ける部位について確認する。



原子炉建屋の3次元FEMモデルの概要図