

東海第二発電所 耐震設計の基本方針について

平成29年9月5日

日本原子力発電株式会社

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 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 波及的影響に係る下位クラス施設の抽出
 - 2-3-3 波及的影響に係る検討事象の整理
 - 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. 東海第二発電所における耐震設計の特徴

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0.5を乗じて設定する。ここで，係数0.5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，さらに応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動 S_s-D1 に対しては「原子炉設置変更許可申請書（平成11年3月10日許可／平成09・09・18資第5号）」の「添付書類六 変更後に係る原子炉施設の場所に関する気象，地盤，水理，地震，社会環境等の状況に関する説明書 3.2.6.3 基準地震動」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及び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	該当する施設
Sクラス	・ 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・ 使用済燃料を貯蔵するための施設 ・ 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 ・ 原子炉停止後，炉心から崩壊熱を除去するための施設 ・ 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 ・ 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 ・ 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，上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設 ・ 津波防護機能を有する設備及び浸水防護機能を有する設備 ・ 敷地における津波監視機能を有する施設
Bクラス	・ 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 ・ 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。） ・ 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 ・ 使用済燃料を冷却するための施設 ・ 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ばらつきを考慮する。

	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	$3.0 C_i$ ^(注4)	$1.0 C_v$ ^(注5) (=0.240)	S_s, S_d	S_s, S_d
	B	$1.5 C_i$ ^(注4)	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)
	C	$1.0 C_i$ ^(注4)	—	—	—
機器・配管系	S	$3.6 C_i$ ^(注4)	$1.2 C_v$ ^(注5) (=0.288)	S_s, S_d	S_s, S_d
	B	$1.8 C_i$ ^(注4)	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)
	C	$1.2 C_i$ ^(注4)	—	—	—
土木構造物	C	$1.0 C_i$ ^(注4)	—	S_s ^(注7)	S_s ^(注7)
波及的影響施設	—	—	—	S_s	S_s
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	—	—	S_s	S_s
重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備は、基準地震動S_sによる地震力 ・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は、代替する設備の耐震クラスに適用される地震力 ・常設重大事故緩和設備は、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 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。

(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 は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_0 : 標準せん断力係数0.2)

(注5) $C_v = R_v \cdot 0.3$ (R_v : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(注6) 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。

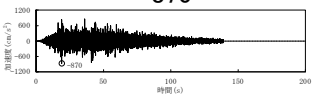
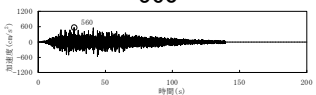
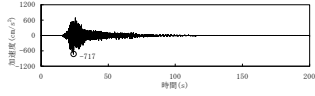
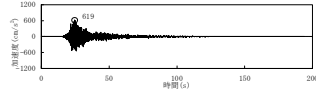
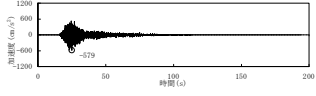
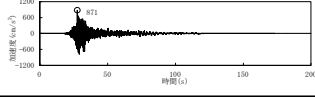
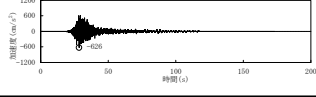
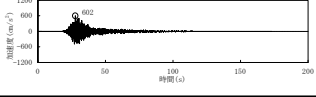
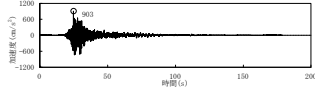
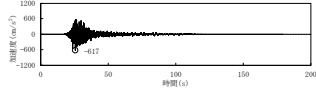
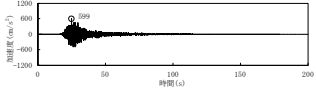
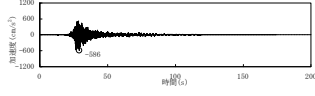
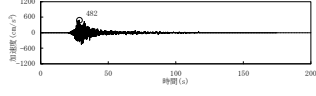
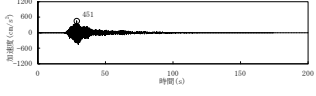
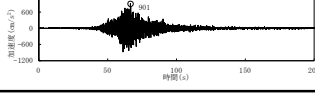
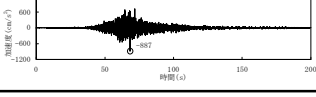
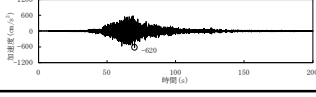
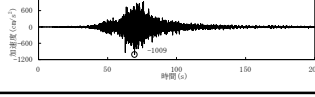
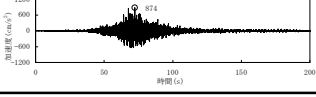
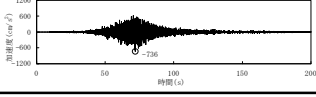
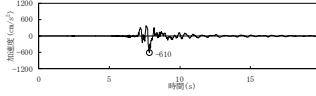
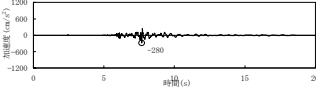
(注7) 屋外重要土木構造物のみに適用する。

1-3 設計用地震力 (2)

第448回審査会合
資料1-2 再掲



■基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

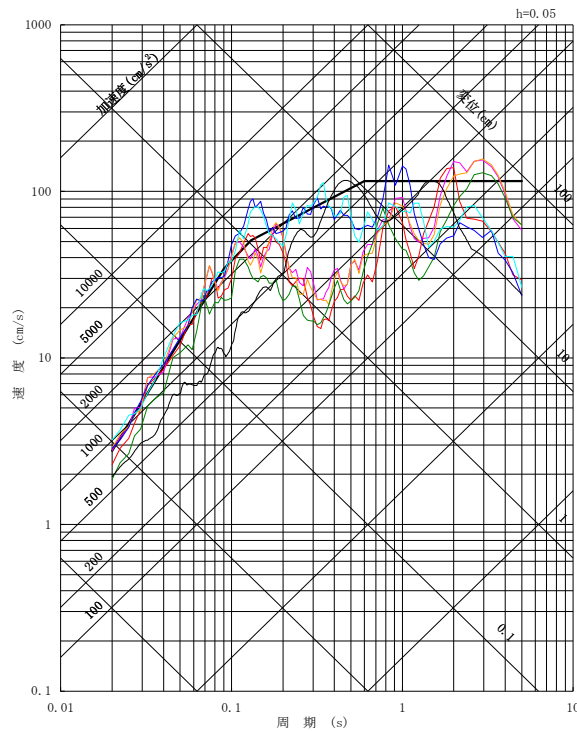
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870 		560 
Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717 	619 	579 
Ss-12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871 	626 	602 
Ss-13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903 	617 	599 
Ss-14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586 	482 	451 
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901 	887 	620 
Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009 	874 	736 
Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610 		280 

1-3 設計用地震力 (3)

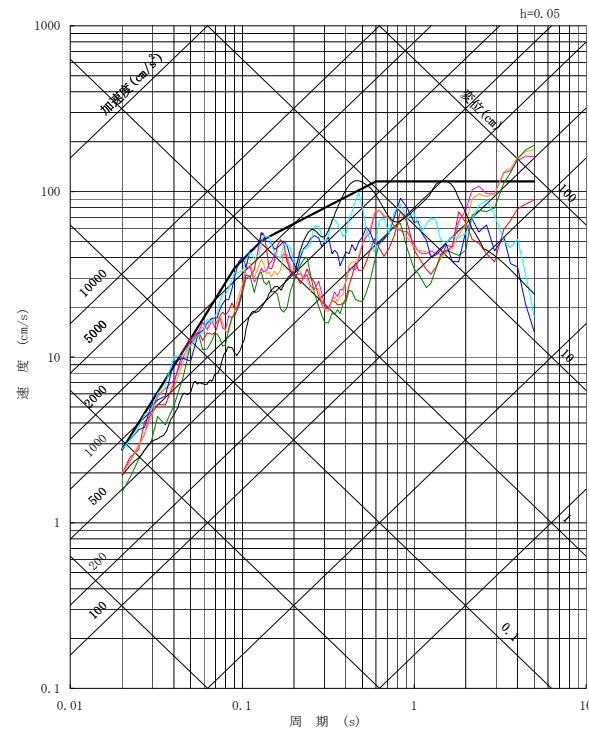


■基準地震動Ssの応答スペクトル

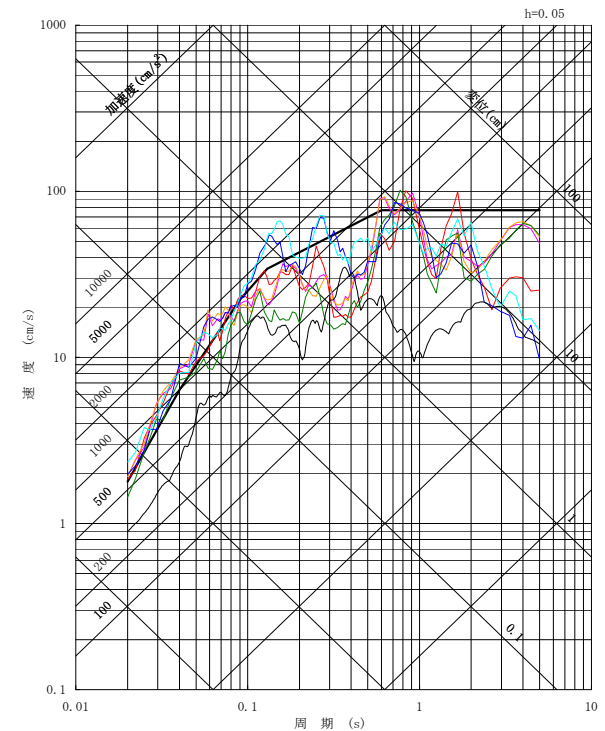
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



NS成分



EW成分

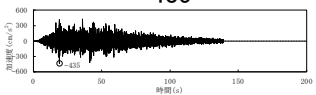
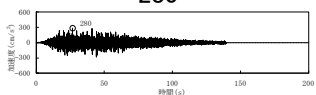
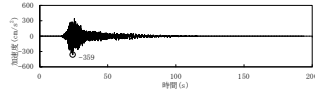
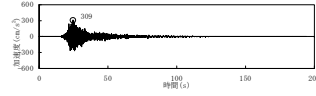
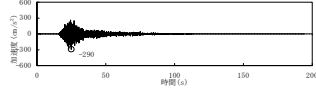
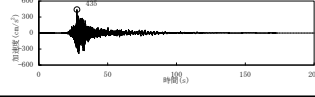
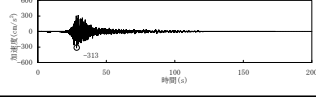
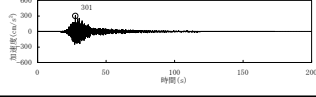
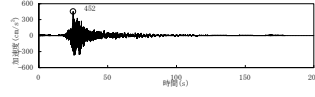
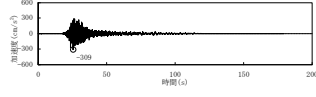
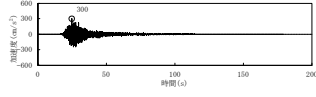
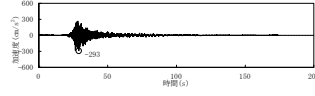
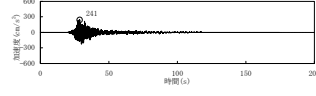
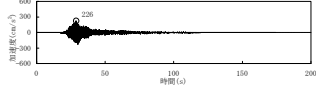
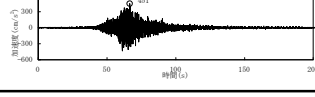
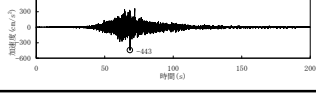
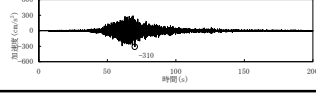
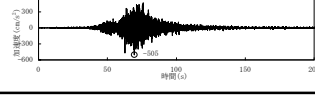
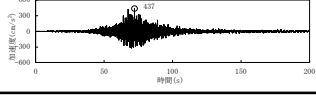
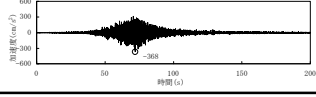
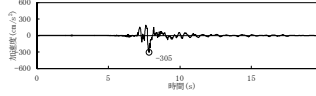
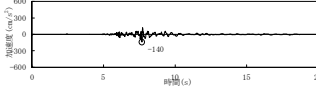


UD成分

1-3 設計用地震力 (4)



■弾性設計用地震動Sdの最大加速度の一覧を示す。

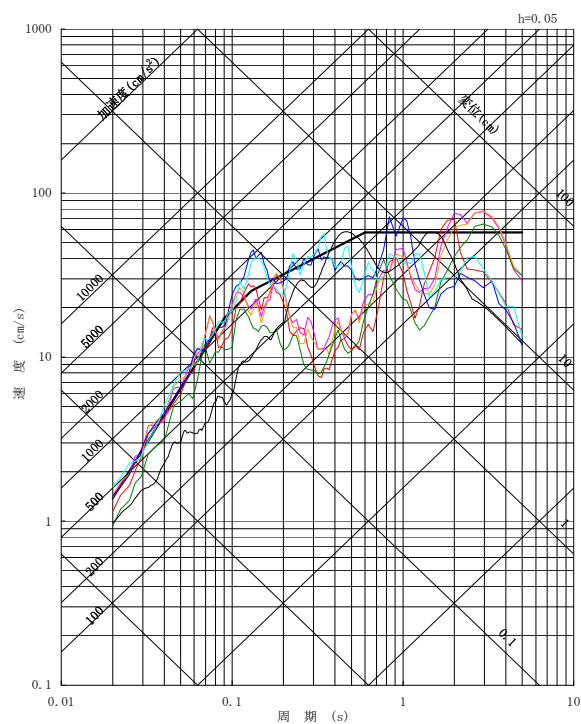
弾性設計用地震動	最大加速度 (cm/s ²)		
	NS成分	EW成分	UD成分
Sd-D1	435 		280 
Sd-11	359 	309 	290 
Sd-12	435 	313 	301 
Sd-13	452 	309 	300 
Sd-14	293 	241 	226 
Sd-21	451 	443 	310 
Sd-22	505 	437 	368 
Sd-31	305 		140 

1-3 設計用地震力 (5)

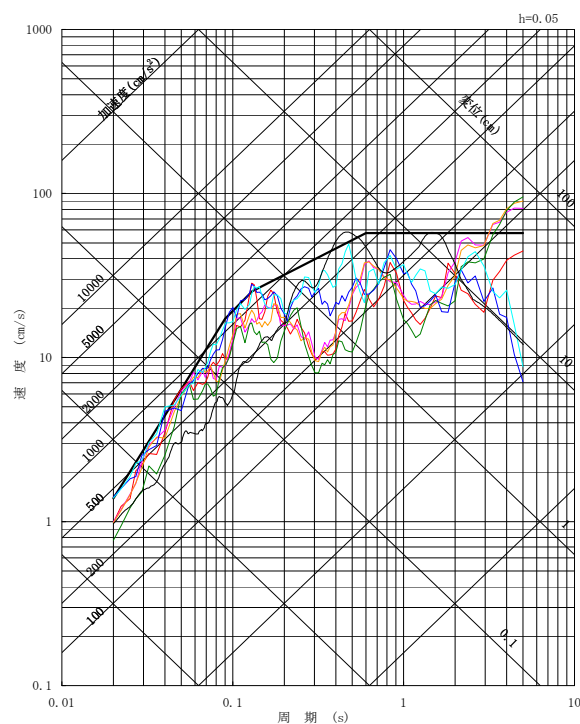


■弾性設計用地震動Sdの応答スペクトル

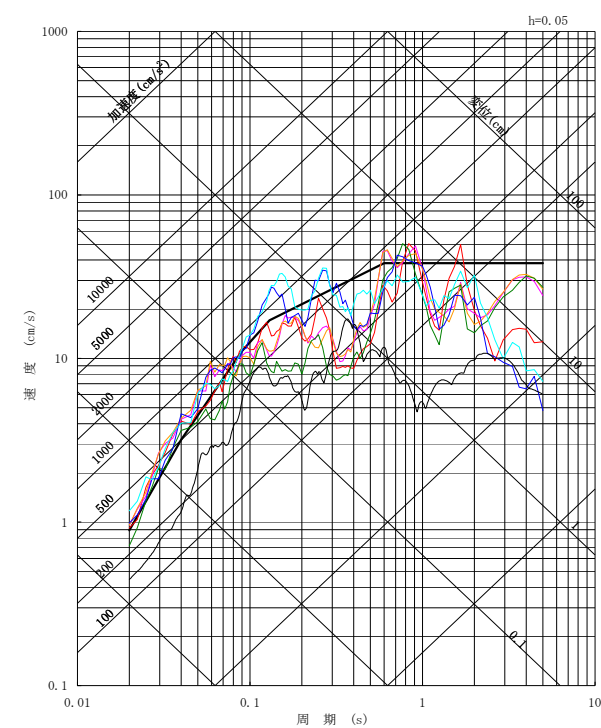
- Sd-D1
- Sd-11
- Sd-12
- Sd-13
- Sd-14
- Sd-21
- Sd-22
- Sd-31



NS成分



EW成分



UD成分

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

- イ. 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。
- ロ. 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 S_d 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

- イ. 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。
- ロ. 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。
- ハ. 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。

1-4 地震による荷重と運転時，事故時荷重との組合せ(2)

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動的地震力又は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 S_s 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 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。

(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 S_s 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 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。

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。

1-4 地震による荷重と運転時，事故時荷重との組合せ(3)

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。（添付資料1参照）

(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。（添付資料1参照）

(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)等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。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。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。

1-5 許容限界(2)



(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) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の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。

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限界層間変形角及び終局曲率又は許容応力度、構造部材のせん断についてはせん断耐力を許容限界とする。

なお、限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対して妥当な安全余裕を持たせることとし、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

当該施設及び建物・構築物が構造物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(添付資料2参照)

(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

2-1 今回の申請における耐震性評価の考え方(1)



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クラスの設計基準対象施設(以下「DB施設」という。)及び重大事故等対処施設(以下「SA施設」という。)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

2-2-1 建物・構築物 (1)



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。

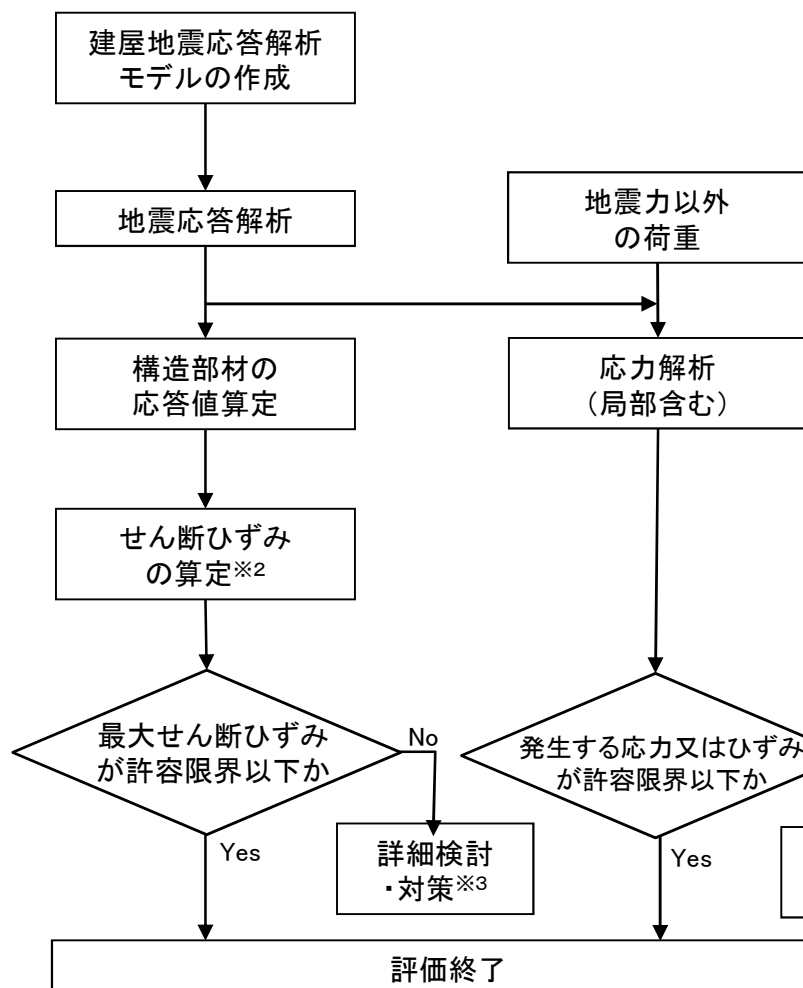
- 応力解析による評価

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屋根トラスとする。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。

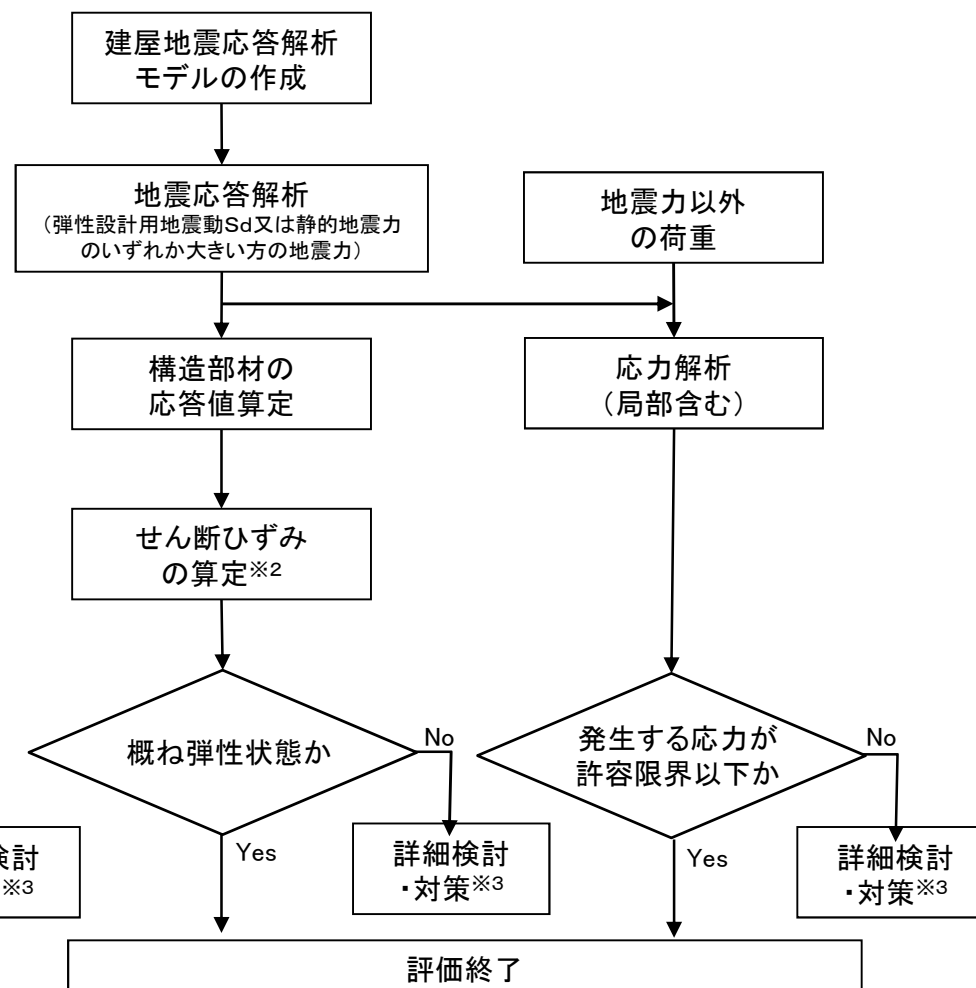
- 地震応答解析による評価、動的地震力(建物・構築物及び機器・配管系)の設定においては、建屋及び地盤の物性のばらつきによる変動幅の影響、3次元応答性状の影響、水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに対する影響を考慮して適切に設定する。

2-2-1 建物・構築物 (2)

・基準地震動 S_g による評価フロー※¹



・弾性設計用地震動 S_d ・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 (3)

・代表的な建物・構築物について、原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋を例に構造概要を以下に示す。

	原子炉建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋
構造概要	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)
基礎	厚さ:約5m (人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)	厚さ:約2.5m(一部約2.0m) (鋼管杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)
平面形状	約67m(南北方向)×約67m(東西方向)	約52m(南北方向)×約24m(東西方向)
高さ	基礎版底面から約73m	基礎版底面から約23m
図面	平面図 断面図	杭仕様:材質SKK400, 本数435本(29×15), 長さ7m~19m 径φ812.8, 厚さ16mm, ピッチ2.5φ以上 平面図 断面図
建屋の特徴	建物中央部には一次格納容器を囲む円型の一次遮蔽壁があり、その外側に二次格納施設である原子炉棟の外壁及び原子炉建屋付属棟の外壁がある。	使用済燃料乾式貯蔵容器を24基収納する地上1階建の建物である。耐震壁には、冷却空気取り入れのための開口がある。

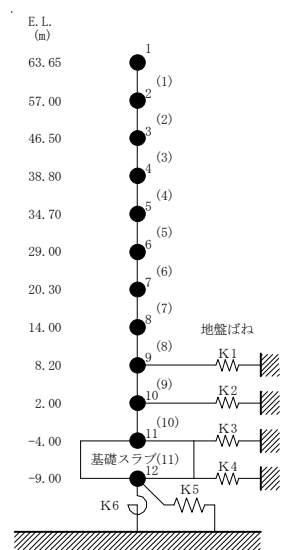
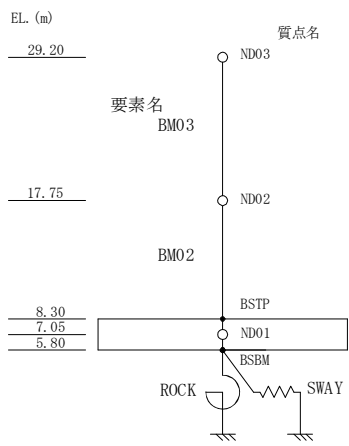
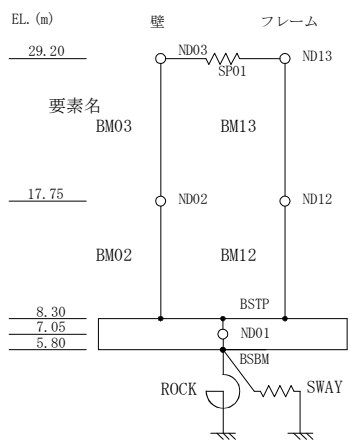
2-2-1 建物・構築物（4）

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。
- ・床等で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。
- ・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、原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋を例に地震応答解析モデルを以下に示す。

建屋名称	原子炉建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋
解析モデル※	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  地盤との相互作用はスウェイロッキングモデルによる	地盤との相互作用を考慮した一軸及び多軸多質点系の曲げせん断棒モデル (NS方向)  (EW方向)  地盤との相互作用はスウェイロッキングモデルによる

※水平方向を代表として記載

2-2-2 機器・配管系(1)



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。制御棒の地震時挿入性については、加振試験結果から挿入機能に支障を与えない燃料集合体変位と地震応答解析から求めた燃料集合体変位とを比較することにより評価する。

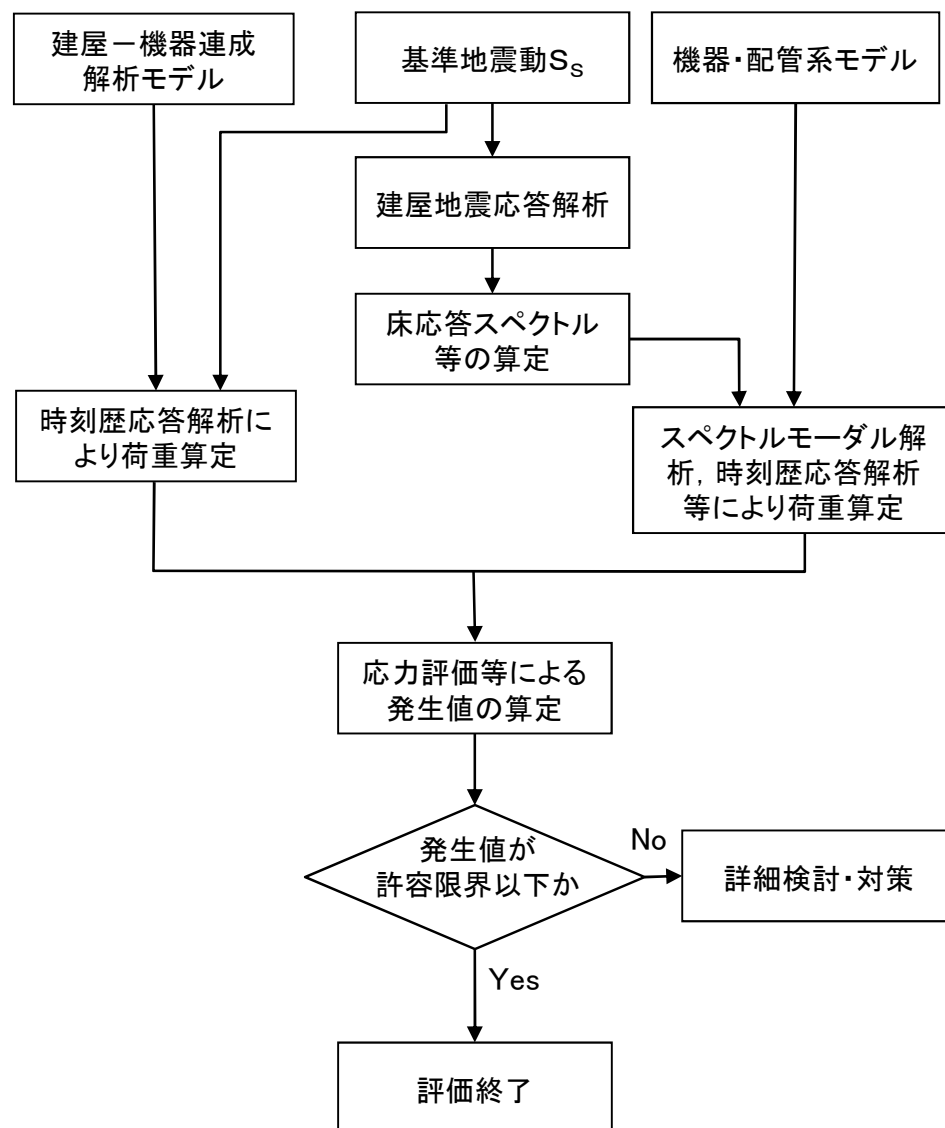
(2) 詳細評価

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、発生値が許容値を満足していることを確認する。

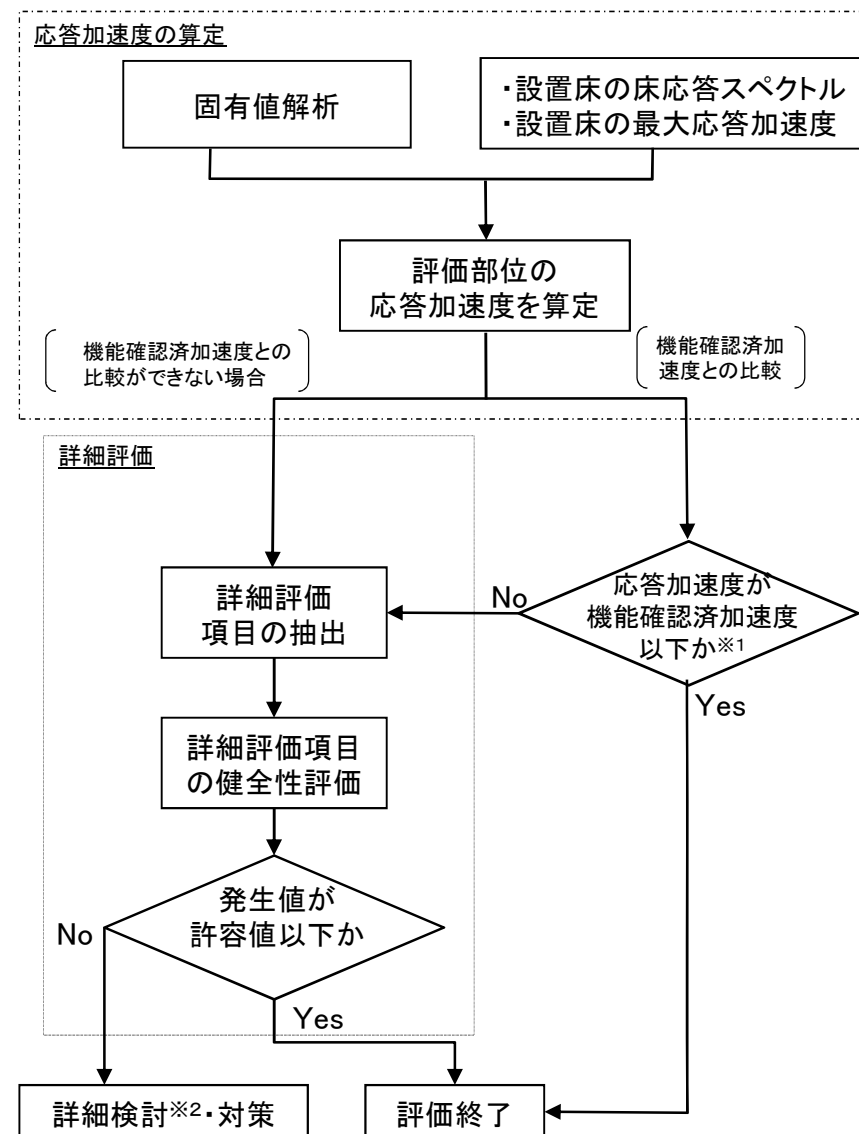
2-2-2 機器・配管系 (2)



構造強度評価の手順



動的機能維持評価の手順



* 1 制御棒の地震時挿入性については、基準地震動 S_s による燃料集合体相対変位を用いて評価する。

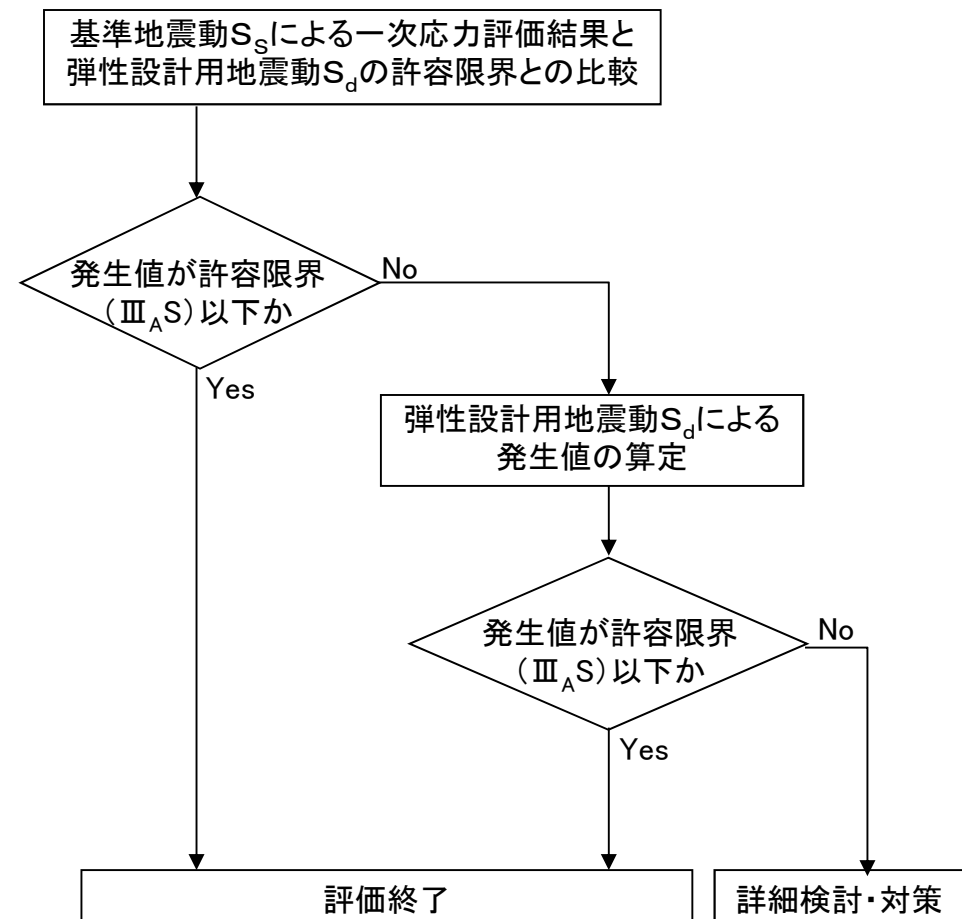
* 2 解析、試験等による検討

2-2-2 機器・配管系 (3)



○弾性設計用地震動 S_d に対する評価

- ・弾性設計用地震動 S_d 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 S_d 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 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義されていることから、 S_s の発生値が S_d の許容限界以下となれば、 S_d の発生値は S_d の許容限界以下となる。
- ・今回の評価では、まず S_s による一次応力評価結果が S_d 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。
- ・ S_s による一次応力評価結果が S_d の許容限界を超えた設備については S_d 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。



2-2-2 機器・配管系 (4)



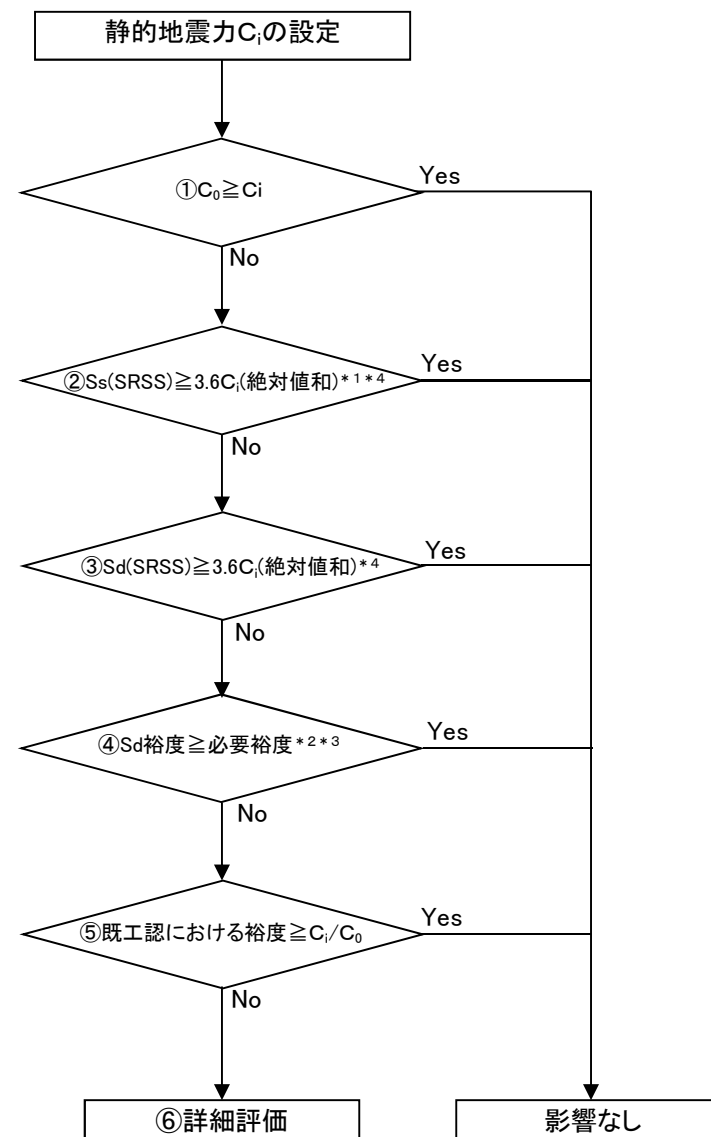
○ 静的地震力による評価

- ・静的地震力による評価として、耐震Sクラス設備は静的震度 $3.6C_i$ に対する構造強度評価により、許容限界(概ね弾性域)を満足することが求められている。
- ・東海第二発電所については、建設時に旧建築基準法に基づく静的震度(C_0)を適用していることから、今回の申請では $3.6C_i$ に対する評価が必要となる。
- ・ $3.6C_i$ による評価は、以下の関係性を踏まえ、明らかに許容限界を満足する設備を①～⑤の手順により除外し、残った設備を対象に詳細検討を実施する。
- ・ $3.6C_i$ 、 $3.6C_0$ に対する許容限界＝設計用地震、 S_d に対する許容限界
- ・建設時の $3.6C_0$ による発生値 $\leq$ 許容限界を確認済み
- ・今回工認での S_d による発生値 $\leq$ 許容限界を確認済み

○ 評価手順

- ① 建設工認時の静的震度 C_0 と静的震度 C_i を比較し、 $C_0 \geq C_i$ となる設備は除外。
- ② 基準地震動 S_S による動的地震力と静的震度 $3.6C_i$ による静的地震力を比較し*、 $S_S \geq 3.6C_i$ となる設備は除外。
ただし、弾性設計用地震動 S_d に対する評価において、基準地震動 S_S による発生値を用いている場合のみ適用可能。
- ③ 弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的震度 $3.6C_i$ による静的地震力を比較し*、 $S_d \geq 3.6C_i$ となる設備を除外
- ④ 弾性設計用地震動 S_d に対する評価結果に基づく耐震裕度($\text{Ⅲ}_A S$ 許容限界値／発生値)(以下「 S_d 裕度」という。)と必要裕度($3.6C_i / S_d$ 比)を比較し、 S_d 裕度 $\geq$ 必要裕度となる設備は除外
- ⑤ 既工認における $3.6C_0$ 及び設計用地震に対する評価結果に基づく耐震裕度($\text{Ⅲ}_A S$ 許容限界値／発生値)(以下「既工認における裕度」という。)と C_i / C_0 比を比較し、既工認における裕度 $\geq C_i / C_0$ 比となる設備は除外
- ⑥ $3.6C_i$ に対する詳細検討を実施

- * 水平と鉛直方向の組合せについては、 S_S 、 S_d はSRSS法による組み合わせ、水平方向静的震度 $3.6C_i$ は鉛直方向静的震度 0.288 と絶対値和による組合せを行っている。



* 1 S_d 評価において、 S_S における発生値を用いている場合

* 2 必要裕度は $3.6C_i$ (絶対値和)／ S_d (SRSS)の比

* 3 S_d を用いた動的解析による裕度により判定

* 4 水平・鉛直方向の組合せについては、 S_S 、 S_d はSRSS法による組合せ、水平方向静的震度 $3.6C_i$ は鉛直方向静的震度 (0.288) と絶対値和による組合せを行っている。

2-2-3 屋外重要土木構造物 (1)

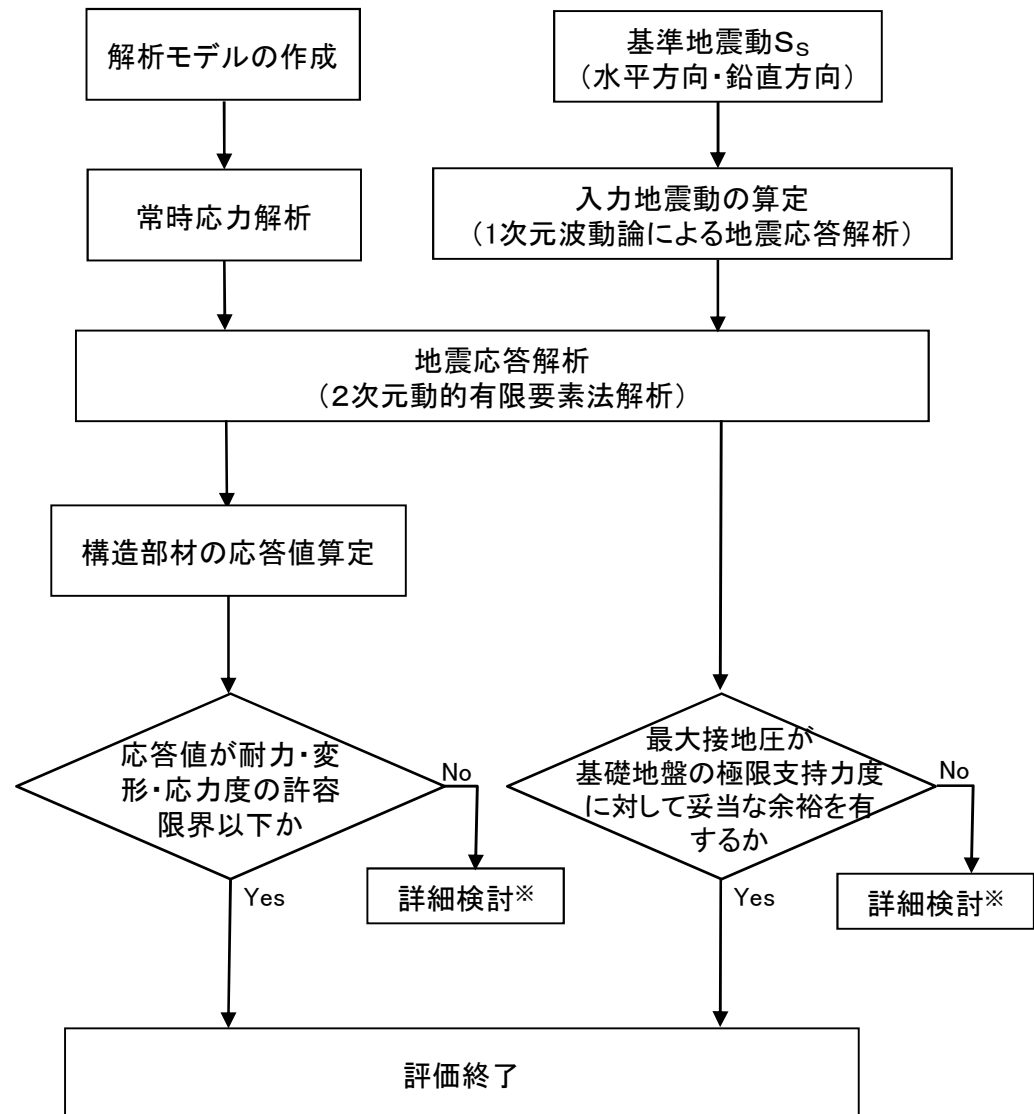


○ 評価方針

- ・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

2-2-3 屋外重要土木構造物 (2)



○ 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限界層間変形角及び終局曲率又は許容応力度、構造部材のせん断についてはせん断耐力を許容限界とする。
なお、限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対して妥当な安全余裕を持たせることとし、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。
- ・ 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

- ・ 取水構造物, 屋外二重管, 常設代替高圧電源車置場(カルバート含む), 常設低圧代替注水系ポンプ室, 常設低圧代替注水系配管カルバート, 緊急用海水ポンプピット, 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート, 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎については, 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, 取水構造物, 緊急用海水ポンプピット, 代替淡水貯槽, SA用海水ピット取水塔, 海水引込み管, SA用海水ピット及び緊急用海水取水管については, 通水機能又は貯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

2-3 Sクラス施設への下位クラス施設の波及的影響(1)



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。

2-3 Sクラス施設への下位クラス施設の波及的影響(2)



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を確認し、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。

2-3 Sクラス施設への下位クラス施設の波及的影響(3)



(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。

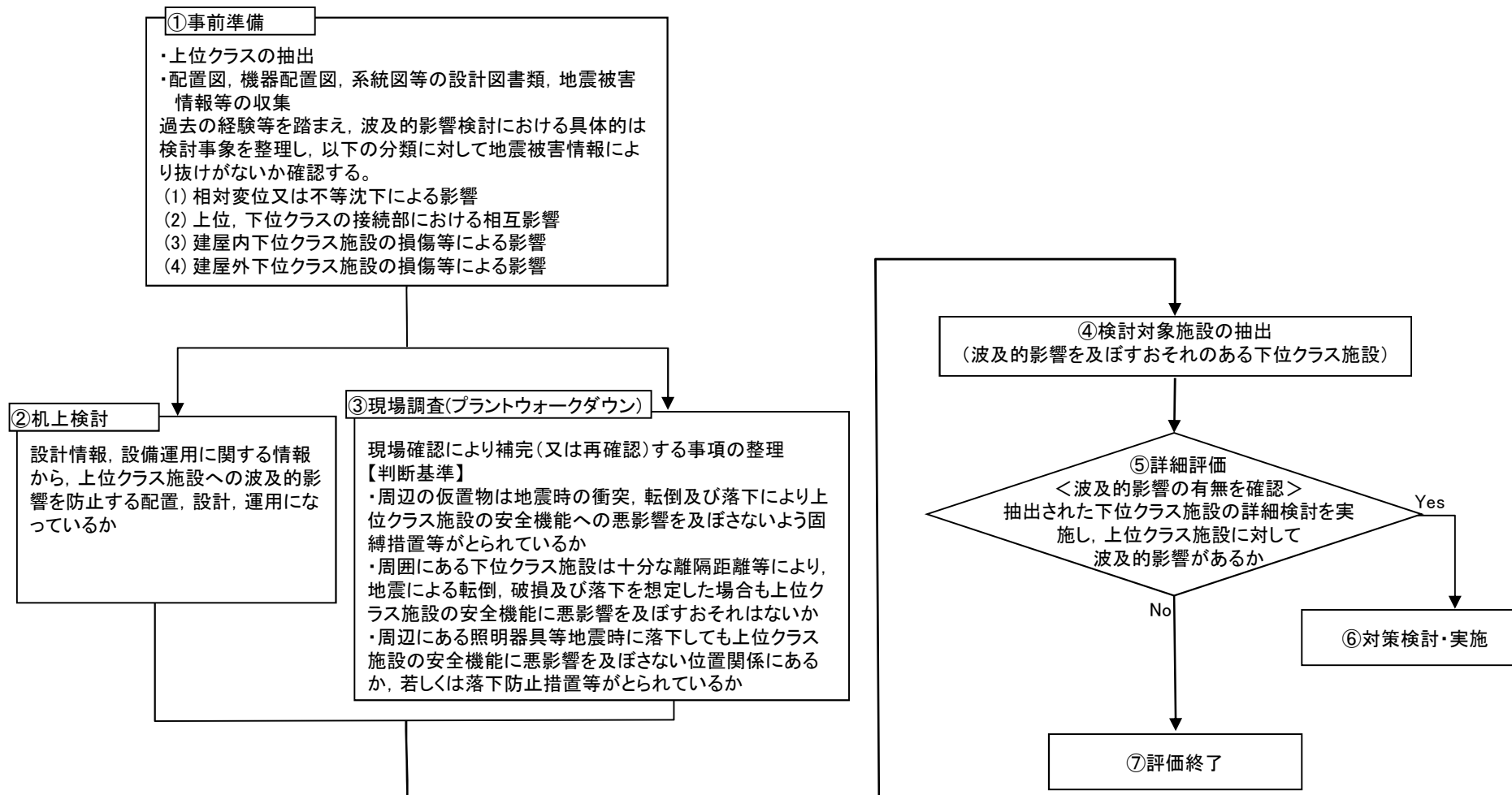
(4) 建屋外における下位クラス施設の損傷, 転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

- ・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。

2-3-1 波及的影響に係る検討フロー



新規制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。



2-3-2 波及的影響に係る下位クラス施設の抽出



上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出は、設計図書類を用いた机上検討及び現場調査(プラントウォークダウン)による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

(1) 机上検討

- ・ 発電所配置図, 機器配置図, 系統図等の設計図書類を用いて, 屋外及び屋内の上位クラス施設を抽出し, その配置状況を確認する。
- ・ 次に設計図書類を用いて, 上位クラス施設周辺に位置する下位クラス施設, 又は上位クラス施設に接続されている下位クラス施設のうち, 波及的影響を及ぼすおそれのあるものを抽出する。

(2) 現場調査

- ・ 机上検討で抽出された下位クラス施設の詳細な設置状況又は配置状況を確認する。
- ・ 設計図書類では判別できない仮設設備, 資機材等が影響防止対策を施工していない状態で上位クラス施設周辺に配置されていないことを確認することを目的として, 屋内外の上位クラス施設を対象として現場調査を実施する。

2-3-3 波及的影響に係る検討事象の整理



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。

1) 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」の別記2第6項における例示を踏まえ、分類を設定

- a. 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
- b. Sクラス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
- c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等によるSクラス施設への影響
- d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等によるSクラス施設への影響

2) a.～d.の分類に基づく具体的な検討事象を机上検討により下記のとおり整理した。

- 下位クラス建屋の変形により隣接するSクラス建屋に及ぼす影響
- 下位クラス施設の地盤の不等沈下により隣接するSクラス施設に及ぼす影響
- 機器・配管系のSクラスと下位クラスの配管等の接続部(配管・ダクト、電気計装品)における影響
- 建屋内下位クラス施設の損傷・転倒・落下によるSクラス施設への影響
- 建屋外下位クラス施設の損傷・転倒・落下によるSクラス施設への影響

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
①～⑤以外の要因)

→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。

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

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する。
- ・ 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. 東海第二発電所における耐震設計の特徴

(既工認手法との比較による論点整理)

3. 東海第二発電所における耐震設計の特徴(1)



評価対象施設に適用した評価手法，評価条件について既工認からの変更点を整理し，変更した評価手法，評価条件が他社プラントにおける適用実績・審査実績を踏まえて，東海第二発電所としての耐震設計の論点を整理した。

分類	項目		内容	適用実績・ 審査実績※1	新規もしくは サイトマター の論点※2	備考
建物・構築物	建屋の地震 応答解析モデル	入力地震動の算定	・解放基盤表面で設定された基準地震動に対する地盤の応答を一次元波動論により算定し，建屋の埋め込み効果を考慮する。	BWR (柏崎6,7号)	○	
	弾塑性解析 の適用	原子炉建屋屋根トラスの 解析モデルへの弾塑性解 析の採用	・原子炉建屋の屋根トラスの地震応答解析及び部材応力評価において，材料（鉄骨）の非線形特性を考慮した3次元モデルによる弾塑性解析を採用する。	PWR BWR (柏崎6,7号)	○	
	杭基礎構造の建屋の評価方法		・使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価の基本的な考え方は既工認と同様とするが，入力地震動の評価において新たに杭基礎の拘束効果を考慮する。	東海第二 既工認	△	
土木 屋外重要 構築物	解析手法の 精緻化	時刻歴応答解析	・現実的な挙動特性を考慮するため，地震応答解析にFEMモデルによる非線形解析手法を適用（時刻歴応答解析） ・鉛直地震動について静的入力から動入力に変更（水平・上下同時入力） ・評価基準値は，限界状態設計法も考慮	PWR BWR (柏崎6,7号)	○	
		減衰定数の変更	・地震応答解析手法の変更に伴い，減衰定数にも非線形特性を適用（履歴減衰，レーリー減衰）			

※1 柏崎6，7号は審査中プラントであるが，今回工認の適用範囲を参考として記載した。

※2 ○：先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの

△：基本的な考え方は先行電力と同様であるが，一部相違点があるもの

●：先行実績がないもの

3. 東海第二発電所における耐震設計の特徴(2)



分類	項 目	内 容	適用実績・ 審査実績※1	新規もしくは サイトマター の論点※2	備考
機器・配管系	クレーン類 のギャップ非 線形モデル の採用	原子炉建屋クレーン 使用済燃料乾式貯蔵建屋 クレーン ・クレーンの構造上の特徴を踏まえて滑り、浮上り、衝突を模擬した要素(ギャップ、減衰、ばね)による3次元非線形はりモデルを適用する。	BWR (柏崎6,7号, 大間)	○	
	ポンプ等の応答解析モデルの精緻化	・最新の工認実績及び最新知見(JEAG4601等)を踏まえ、応答解析モデル質点位置の変更及びばね定数算出方法の変更を行う。	PWR BWR (柏崎6,7号)	○	
	容器等の応力解析へのFEMモデルの適用	・最新工認の実績等を踏まえ、既工認で公式等による応力評価を実施している設備について、今回工認では容器等の一部設備に対してFEMモデルによる応力解析を実施する。	PWR BWR (大間)	○	
	クレーン類、配管系の減衰定数の変更	・振動試験結果を踏まえ、クレーン類及び配管系について、JEAC4601-2008に規定されている減衰定数を適用する。	PWR BWR (大間, 柏崎6,7号)	○	
	解析コードの変更	・東海第二発電所で適用する解析コードは、適用実績・審査実績を有するものに変更する。	BWR (大間, 柏崎6,7号)	○	
	極限解析による評価の適用	・地震の実現象を模擬する観点から炉内構造物の一部設備(気水分離器及びスタンドパイプ)に極限解析による評価を適用する。	PWR (高浜1,2号)	○	

※1 柏崎6, 7号は審査中プラントであるが、今回工認の適用範囲を参考として記載した。

※2 ○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの

△: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの

●: 先行実績がないもの

3. 東海第二発電所における耐震設計の特徴(3)



分類	項 目		内 容	適用実績・ 審査実績※1	新規もしくは サイトマター の論点※2	備考
共通	鉛直方向の 動的地震力 の適用	地震応答解析モデルの追加及び鉛直方向の減衰定数の考慮	・鉛直方向への動的地震力の適用に伴い、鉛直方向の解析モデルの追加、鉛直方向に柔な設備については鉛直方向の減衰定数を新たに考慮した。	PWR BWR (大間, 柏崎6,7号)	○	
		水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法の変更	・鉛直方向への動的地震力の適用に伴い、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法を、絶対値和法から組合せ係数法やSRSS法に一部変更する。	PWR BWR (大間, 柏崎6,7号)	○	
	地盤の液状化		・建物・構築物の動的解析にて地震時の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮する。	PWR (高浜1,2,3,4号) BWR (柏崎6,7号)	○	
			・上記のうち、防潮堤については、地質分布の不確かさに着目し、原地盤の液状化強度特性を適用した基準地震動 S_a による有効応力解析の結果、最も厳しいケースにおいて、液状化検討対象層である全ての砂礫層に対し、豊浦標準砂の液状化強度特性を与えることで、強制的に液状化させる条件を仮定した有効応力解析についても検討する。	—	●	添付資料3

※1 柏崎6, 7号は審査中プラントであるが、今回工認の適用範囲を参考として記載した。

※2 ○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの

△: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの

●: 先行実績がないもの

添付資料

施設分類毎(全般施設, PCVバウンダリ, RPVバウンダリを構成する設備)に適用する荷重の組合せの選定手順を示す。考え方としては, 事象の発生確率, 継続時間, 地震動の超過確率の積等を考慮し, 工学的, 総合的に組み合わせる地震力を判断する。以下に全体フローを示す。

① SA事象の発生確率を設定する。

炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用



② S_s , S_d の超過確率を設定する。

JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 , S_1 の発生確率を S_s , S_d の超過確率に読み替えて適用



③ 荷重の組合せの判断は, ①と②とSAの継続時間との積で行い, そのスクリーニングの判断基準を設定する。

DB施設の設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年

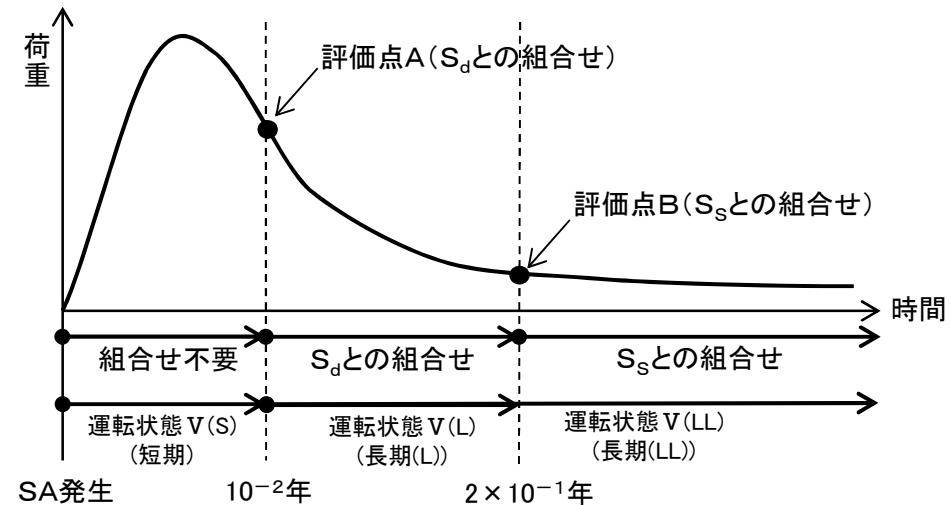


④ ①②の積と③を踏まえて, 弾性設計用地震動 S_d , 基準地震動 S_s と組み合わせるべきSAの継続時間を設定する。



⑤ ④を踏まえて, 施設分類毎に荷重の組合せを検討する。

PCVバウンダリを構成する設備における荷重の組合せの例



荷重の組合せと継続時間の関係(イメージ)

事故 シーケンス	重大事故等 の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合 せを考慮す る判断目安	組合せの 目安となる 継続時間
全ての SA	10^{-4} /炉年	弾性設計用 地震動 S_d	10^{-2} /年	10^{-8} /炉年 以上	10^{-2} 年 以上
		基準地震動 S_s	5×10^{-4} /年		2×10^{-1} 年 以上

【組み合わせ】
 ・SA短期荷重と地震動との組合せは不要
 ・SA長期(L)荷重(評価点A)と S_d の組合せを考慮
 ・SA長期(LL)荷重(評価点B)と S_s の組合せを考慮

添付資料 2 S A施設の耐震設計に用いる許容応力状態の設定



- SA施設の耐震設計は、DB施設に準拠することとしていることから、運転状態ⅠからⅣと地震による地震力の組合せに対しては、DB施設と同様の許容応力状態を適用する。
- 設計条件を超える運転状態Ⅴの許容応力状態として V_A を定義し、さらに地震との組合せにおいては、許容応力状態 $V_A S$ を定義する。
- 別記2によれば、機能維持設計の要求として、「荷重により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留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こと。」とされており、DB施設では、許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を適用している。
- 新たに定義する許容応力状態 $V_A S$ は、SAに対処するために必要な機能が損なわれない許容限界であり、東海第二発電所では、機能維持設計の許容限界として適用実績のある許容応力状態 $IV_A S$ と同じ許容限界を適用する。

PCVバウンダリの荷重の組合せと許容応力状態の例

運転状態	許容応力状態	DB施設		SA施設		備 考
		S_d	S_s	S_d	S_s	
Ⅰ	I_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
Ⅱ	II_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
Ⅲ	III_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
Ⅳ(L)	$I * _A$	$III_A S$	—	$III_A S$	—	DBと同じ許容応力状態とする。
Ⅳ(S)	IV_A	$IV_A S^{※1}$	—	—	—	—
Ⅴ(LL)	V_A			—	$V_A S^{※2}$	$V_A S$ の許容限界は、東海第二では、 $IV_A S$ と同じものを適用する。
Ⅴ(L)	V_A			$V_A S^{※2}$	—	
Ⅴ(S)	V_A			—	—	

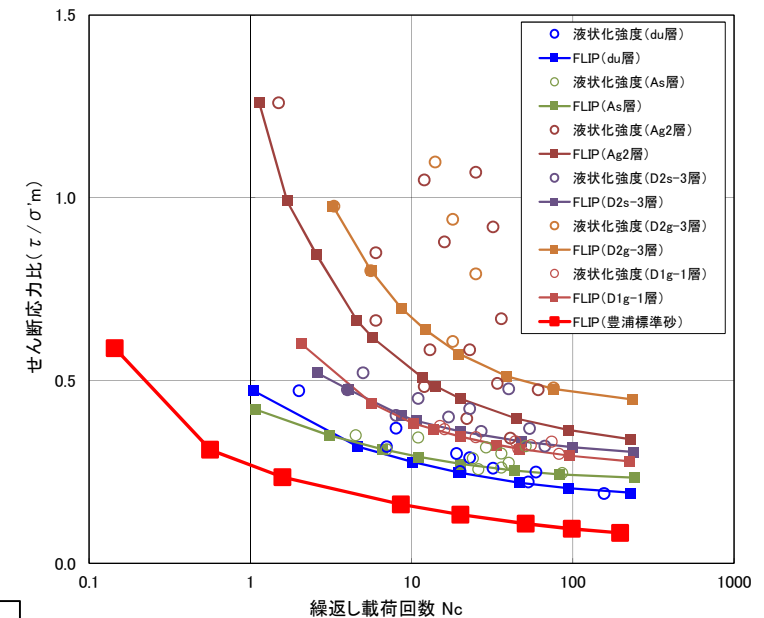
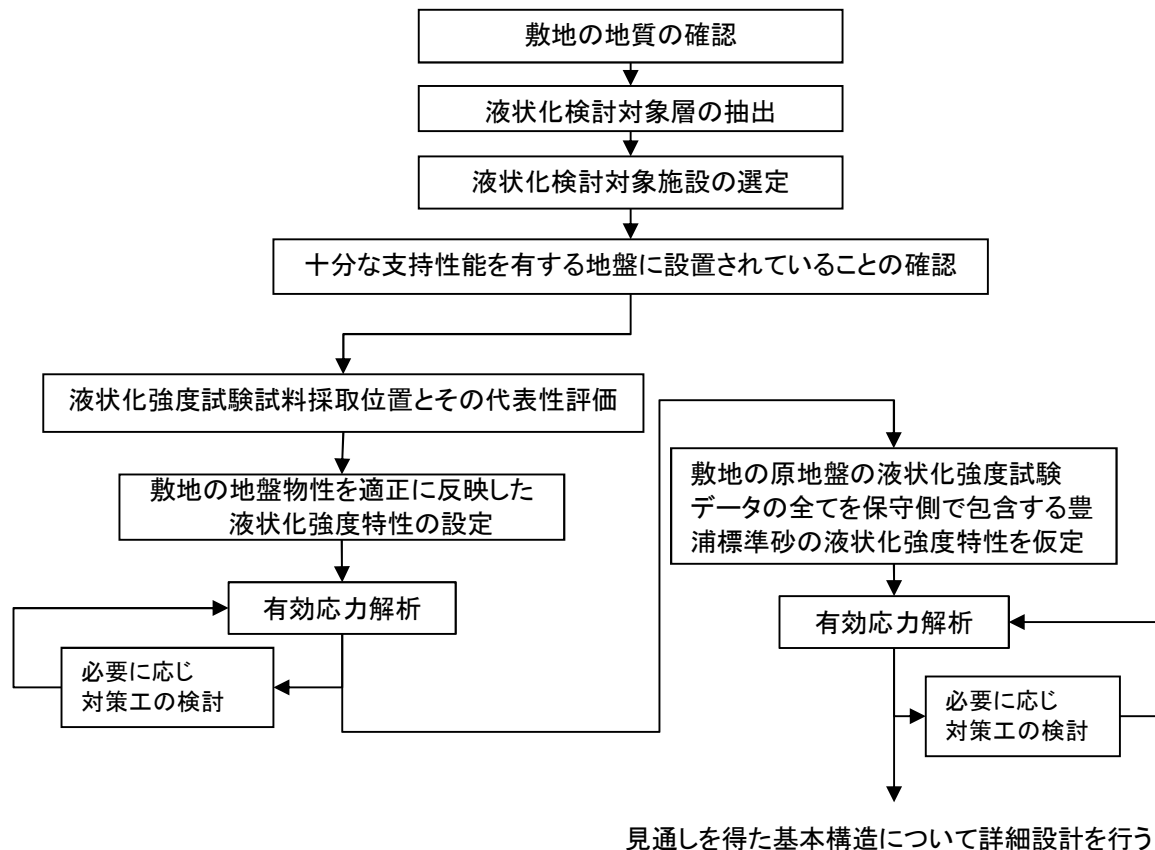
※1：構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧と S_d による地震力との組合せを考慮する。

※2：格納容器雰囲気温度の影響を受ける全般施設(PCVバウンダリ及びRPVバウンダリ以外の施設)についても考慮する。

添付資料3 地盤の液状化の検討



- 液状化影響の検討においては、道路橋示方書では検討対象外とされている洪積の砂礫層及び地表面から20m以深の沖積砂礫層についても液状化検討対象層とする。
- 各液状化検討対象層について、敷地の地盤物性を適正に反映した液状化強度特性(代表性を有する液状化強度試験箇所を選定し、液状化強度試験結果の平均と標準偏差を考慮した保守側の液状化強度特性)を設定し、有効応力解析を実施する。
- 更に、防潮堤については、地質分布の不確かさに着目し、原地盤の液状化強度特性を適用した基準地震動 S_g による有効応力解析の結果、最も厳しいケースにおいて、全ての液状化検討対象層に対して、敷地における原地盤の液状化強度試験データの全てを保守側で包含する液状化強度特性(豊浦標準砂)を仮定することで、強制的に液状化させる条件とした有効応力解析による評価も検討する。



敷地の原地盤の液状化強度試験データ及びそれら全てを保守側で包含するFLIPの液状化強度特性(豊浦標準砂)