

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 耐震設計の基本方針について

平成29年2月14日
東京電力ホールディングス株式会社

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. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

はじめに

- 設置変更許可申請書では、耐震設計に関する施設の分類、適用する設計用地震力、地震による荷重と運転時・事故時荷重との組合せ、適用する許容限界の設定等について、その方針を述べている。
- 新規制基準では、以下の事項について新たな要求の追加、記載の充実がなされている。
 - － 重大事故等対処施設の耐震性
 - － 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
 - － Sクラス施設への下位クラス施設の波及的影響
 - － 水平2方向と鉛直方向の適切な組合せ
- 次頁より、柏崎刈羽6号及び7号炉の耐震設計基本方針の概要をまとめる。
- 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の主要設備に用いる耐震評価手法については、既工認で実績・適用例のない手法を用いるものとして、建屋及び原子炉の地震応答解析モデル、使用済燃料貯蔵ラック減衰定数があり、その耐震評価について、技術基準への適合性、評価内容の妥当性について説明している。

これら新たに採用する耐震評価手法を踏まえた耐震設計方針への反映についても説明する。
- 地盤の安定性評価の結果、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋の基礎地盤の傾斜が1/2,000を超える結果となっていることから建物・構築物及び機器・配管系が傾斜する影響検討方針について説明する。

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0.5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、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Ss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。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	(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	(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、地盤物性・建屋剛性の不確かさ等を考慮する。

	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)	$1.0 C_v$	Ss, Sd	Ss, Sd
	B	$1.5 C_i$ ^(注4)	—	$Sd \times 1/2$ ^(注5)	$Sd \times 1/2$ ^(注5)
	C	$1.0 C_i$ ^(注4)	—	—	—
機器・配管系	S	$3.6 C_i$ ^(注4)	$1.2 C_v$	Ss, Sd	Ss, Sd
	B	$1.8 C_i$ ^(注4)	—	$Sd \times 1/2$ ^(注5)	$Sd \times 1/2$ ^(注5)
	C	$1.2 C_i$ ^(注4)	—	—	—
土木構造物	C	$1.0 C_i$ ^(注4)	—	Ss ^(注6)	Ss ^(注6)
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
重大事故等対処施設	<ul style="list-style-type: none"> ・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Ss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Ss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) Ss: 基準地震動Ssにより定まる地震力

Sd: 弾性設計用地震動Sdにより定まる地震力

(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。

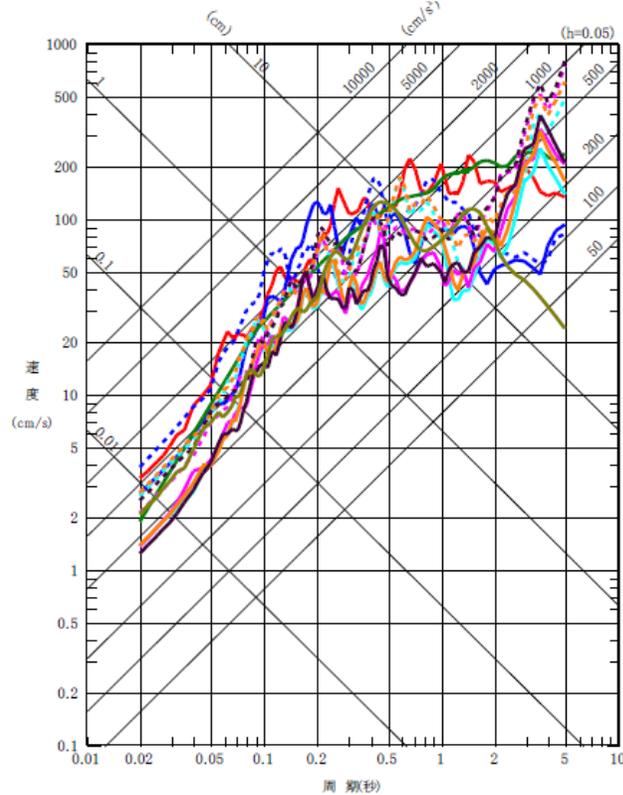
(注4) C_i : 標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値で柏崎刈羽6号及び7号炉については建設時に算定した C_i を用いる。

(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。

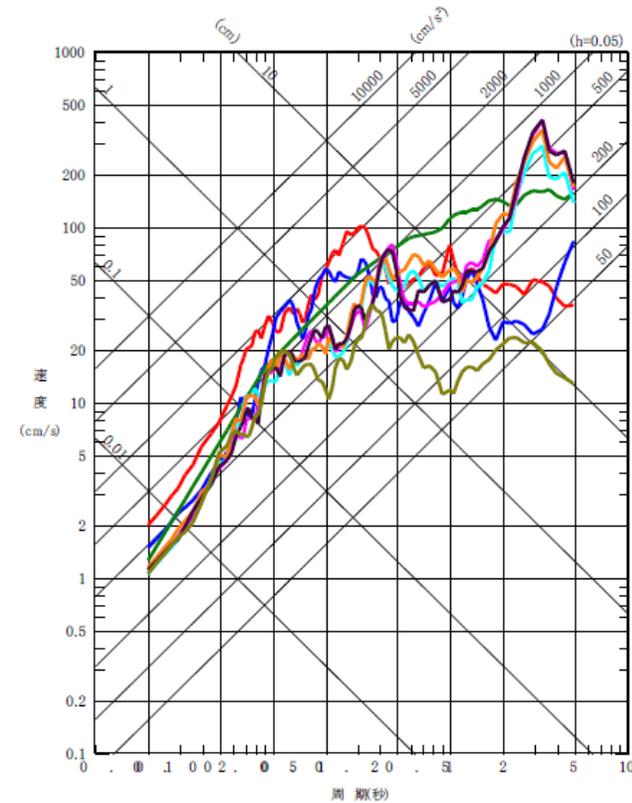
(注6) 屋外重要土木構造物のみに適用

1-3 設計用地震力(2)

● 基準地震動S_sの応答スペクトル(大湊側)



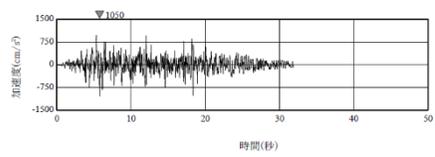
水平方向



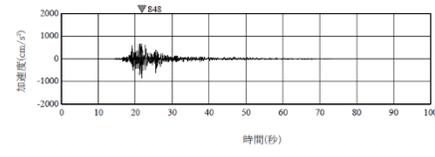
鉛直方向

1-3 設計用地震力(3)

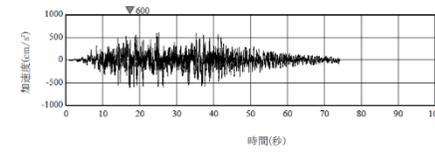
●基準地震動S_sの加速度時刻歴波形(大湊側)



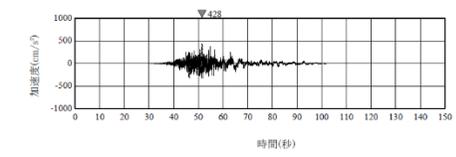
(a) Ss-1H



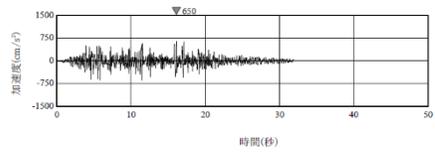
(a) Ss-2NS



(a) Ss-3H

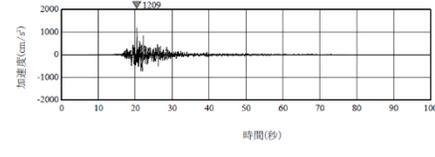


(a) Ss-4NS

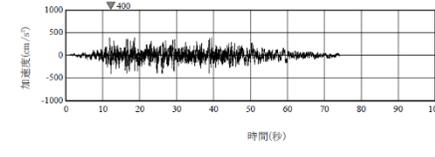


(b) Ss-1V

(b) Ss-1V

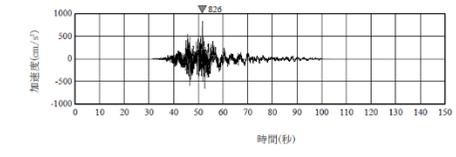


(b) Ss-2EW

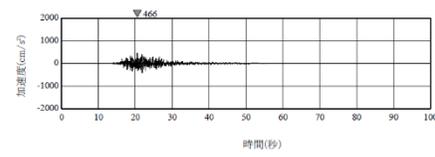


(b) Ss-3V

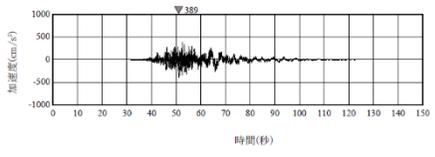
(b) Ss-3V



(b) Ss-4EW

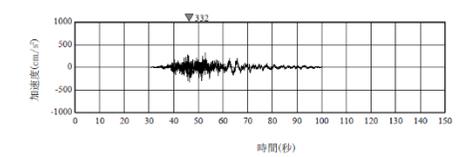


(c) Ss-2UD

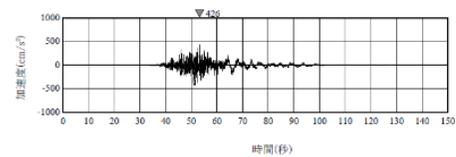


(a) Ss-3V

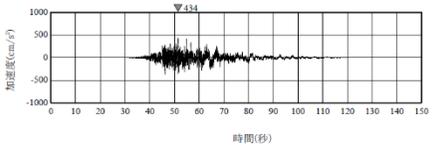
(a) Ss-3V



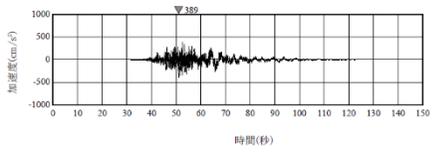
(c) Ss-4UD



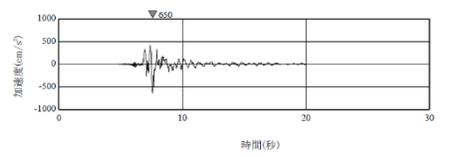
(a) Ss-5NS



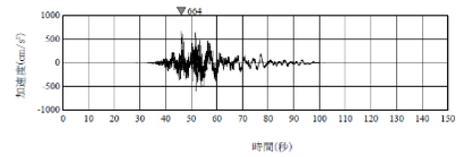
(a) Ss-6NS



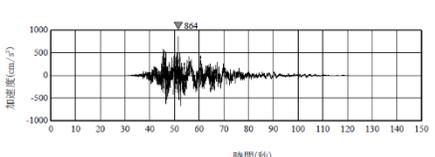
(a) Ss-7NS



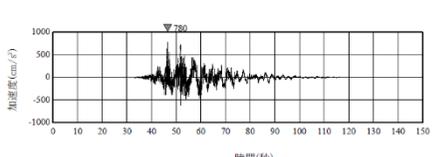
(a) Ss-8H



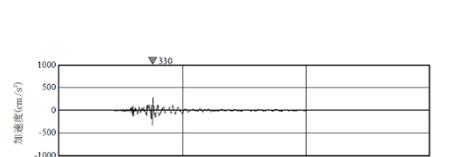
(b) Ss-5EW



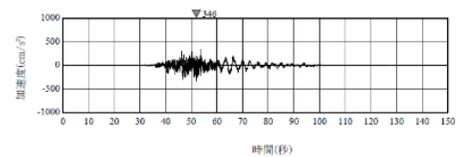
(b) Ss-6EW



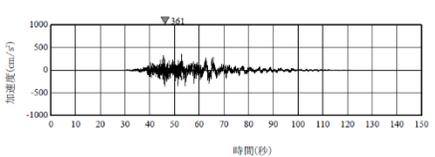
(b) Ss-7EW



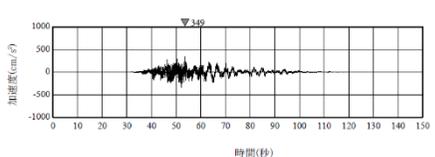
(b) Ss-8V



(c) Ss-5UD



(c) Ss-6UD

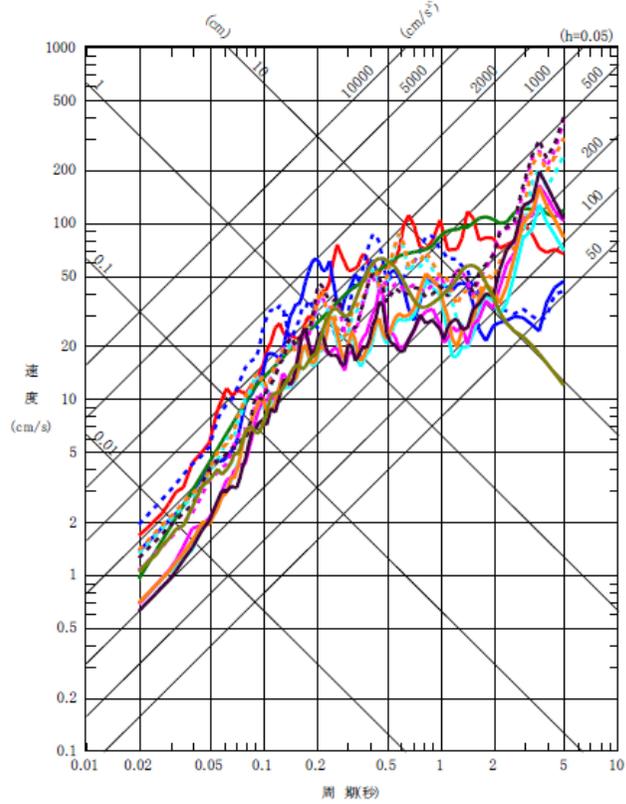


(b) Ss-7UD

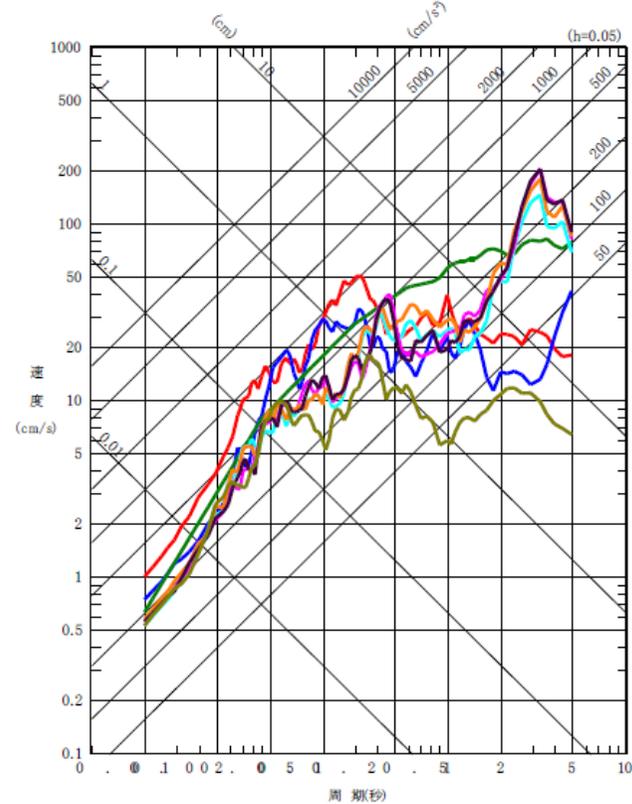
1-3 設計用地震力(4)

●弾性設計用地震動Sdの応答スペクトル(大湊側)

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|
| — 基準地震動 Sd-1H | — 基準地震動 Sd-4NS | — 基準地震動 Sd-7NS | — 基準地震動 Sd-1H | — 基準地震動 Sd-5UD |
| — 基準地震動 Sd-2NS | - - - 基準地震動 Sd-4EW | - - - 基準地震動 Sd-7EW | — 基準地震動 Sd-2UD | — 基準地震動 Sd-6UD |
| - - - 基準地震動 Sd-2EW | — 基準地震動 Sd-5NS | — 基準地震動 Sd-8H | — 基準地震動 Sd-3V | — 基準地震動 Sd-7UD |
| — 基準地震動 Sd-3H | - - - 基準地震動 Sd-5EW | | — 基準地震動 Sd-4UD | — 基準地震動 Sd-8V |
| — 基準地震動 Sd-6NS | - - - 基準地震動 Sd-6EW | | | |



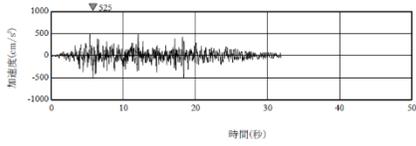
水平方向



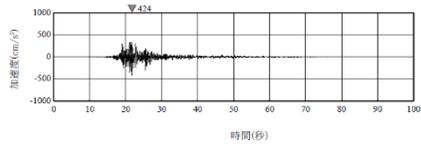
鉛直方向

1-3 設計用地震力(5)

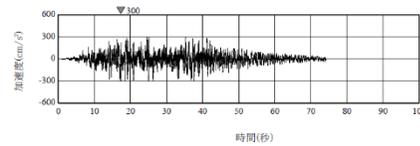
●弾性設計用地震動Sdの加速度時刻歴波形(大湊側)



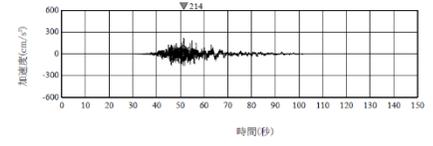
(a) Sd-1H



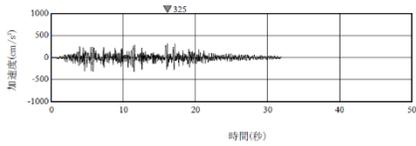
(a) Sd-2NS



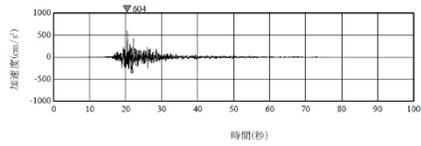
(a) Sd-3H



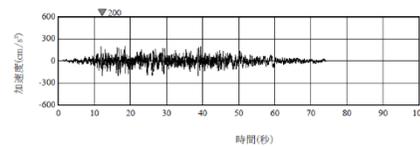
(a) Sd-4NS



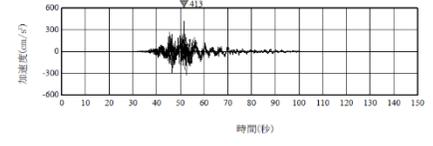
(b) Sd-1V



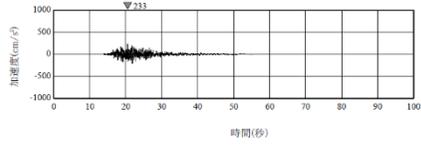
(b) Sd-2EW



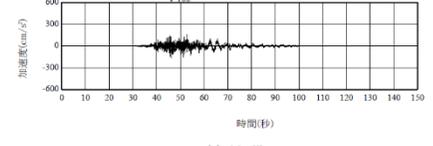
(b) Sd-3V



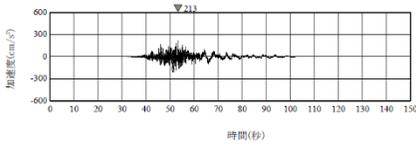
(b) Sd-4EW



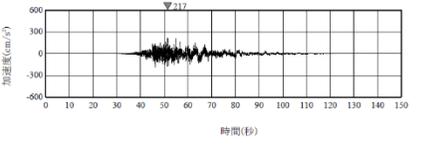
(c) Sd-2UD



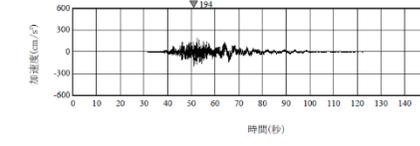
(c) Sd-4UD



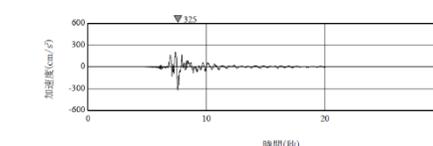
(a) Sd-5NS



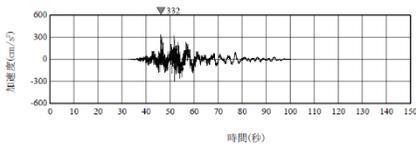
(a) Sd-6NS



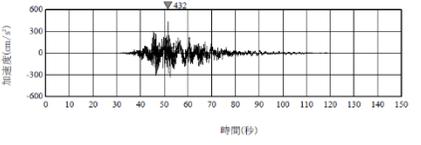
(a) Sd-7NS



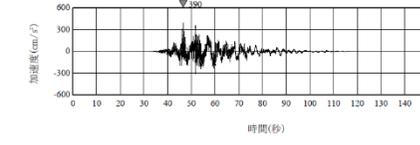
(a) Sd-8H



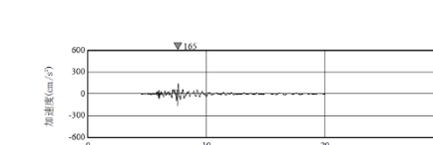
(b) Sd-5EW



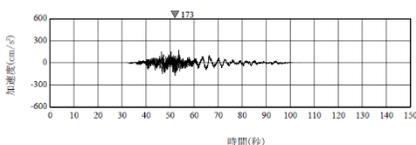
(b) Sd-6EW



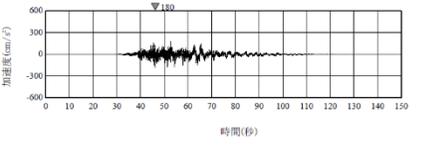
(b) Sd-7EW



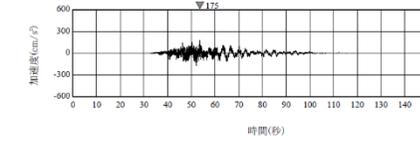
(b) Sd-8V



(c) Sd-6UD



(c) Sd-6UD



(c) Sd-7UD

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で評価する。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

- 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とを組み合わせる。

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とを組み合わせる。

1-4 地震による荷重と運転時，事故時荷重との組合せ(2)

(前頁の続き)

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。事故発生後，通常運転時の状態を超える期間が長期にわたるため，適切な地震力との組合せを考慮する観点で，弾性設計用地震動 S_d による地震力と組み合わせる期間(前半期間)，基準地震動 S_s による地震力と組み合わせる期間(後半期間)に分けて組み合わせを設定する。この組み合わせについては，事故事象の発生確率，継続時間及び地震動の超過確率の積等を考慮し，工学的，総合的に勘案の上設定する。なお，継続時間については対策の成立性も考慮した上で設定する。

(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時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。事故発生後，通常運転時の状態を超える期間が長期にわたるため，適切な地震力との組合せを考慮する観点で，弾性設計用地震動 S_d による地震力と組み合わせる期間(前半期間)，基準地震動 S_s による地震力と組み合わせる期間(後半期間)に分けて組合せを設定する。この組み合わせについては，事故事象の発生確率，継続時間及び地震動の超過確率の積等を考慮し，工学的，総合的に勘案の上設定する。なお，継続時間については対策の成立性も考慮した上で設定する。

(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。

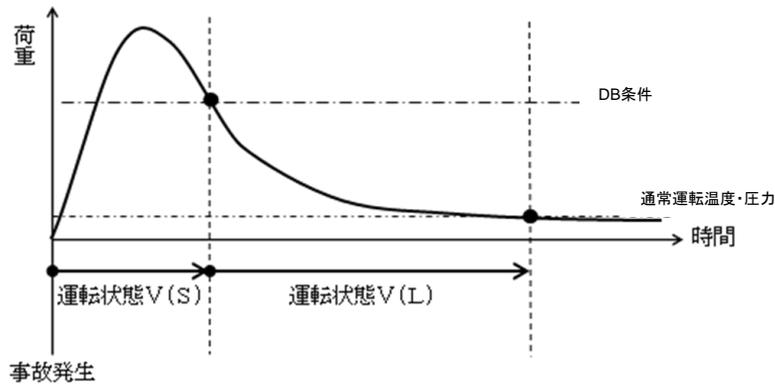
c. 土木構造物

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。

1-4 地震による荷重と運転時，事故時荷重との組合せ(4)

- 先行PWR(玄海3/4他)と比較して，当社ABWRの原子炉格納容器はSA発生後の荷重が通常運転状態の荷重を上回る期間が長い。このため，運転状態V(LL)を設定してSA発生後の長期間に渡ってSAと地震の組合せを考慮する方針とする。

先行PWR(玄海3/4他)



当社ABWR

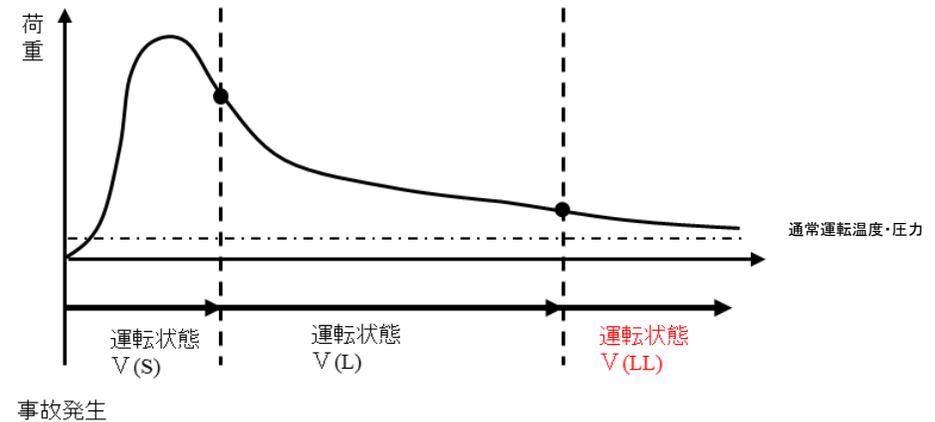


表 先行PWR手法と当社ABWR手法における原子炉格納容器バウンダリの荷重組合せの比較

	先行PWR(玄海3/4)手法	当社ABWR手法
短期: 運転状態V(S)	組合せなし	組合せなし
長期(L): 運転状態V(L)	Sdとの組合せ	Sdとの組合せ
長期(LL): 運転状態V(LL)	—※	Ssとの組合せ

※Ss+通常運転時荷重の評価で包絡

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Sd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Ss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Sd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Ss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) チャンネル・ボックス

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。

1-5 許容限界(2)

(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, 圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率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, せん断耐力又は終局せん断強度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

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。
- 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。
- 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 ～評価対象施設～

評価対象施設※1

実用原子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
使用済燃料貯蔵プール	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	原子炉建屋
中央制御室遮蔽	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	コントロール建屋
原子炉建屋	S	—	※2
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	※2
主排気筒(内筒)	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	主排気筒
復水貯蔵槽	B	常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備	廃棄物処理建屋
補機冷却用海水取水槽	C	常設重大事故防止設備(設計基準拡張)	タービン建屋
5号炉原子炉建屋内 緊急時対策所(対策本部)遮蔽	C	常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備	5号炉原子炉建屋
5号炉原子炉建屋内 緊急時対策所(待機場所)遮蔽	C	常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備	5号炉原子炉建屋
中央制御室待避室遮蔽	—	常設重大事故緩和設備	コントロール建屋
フィルタベント遮蔽壁	—	常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備	格納容器圧力逃がし装置基礎

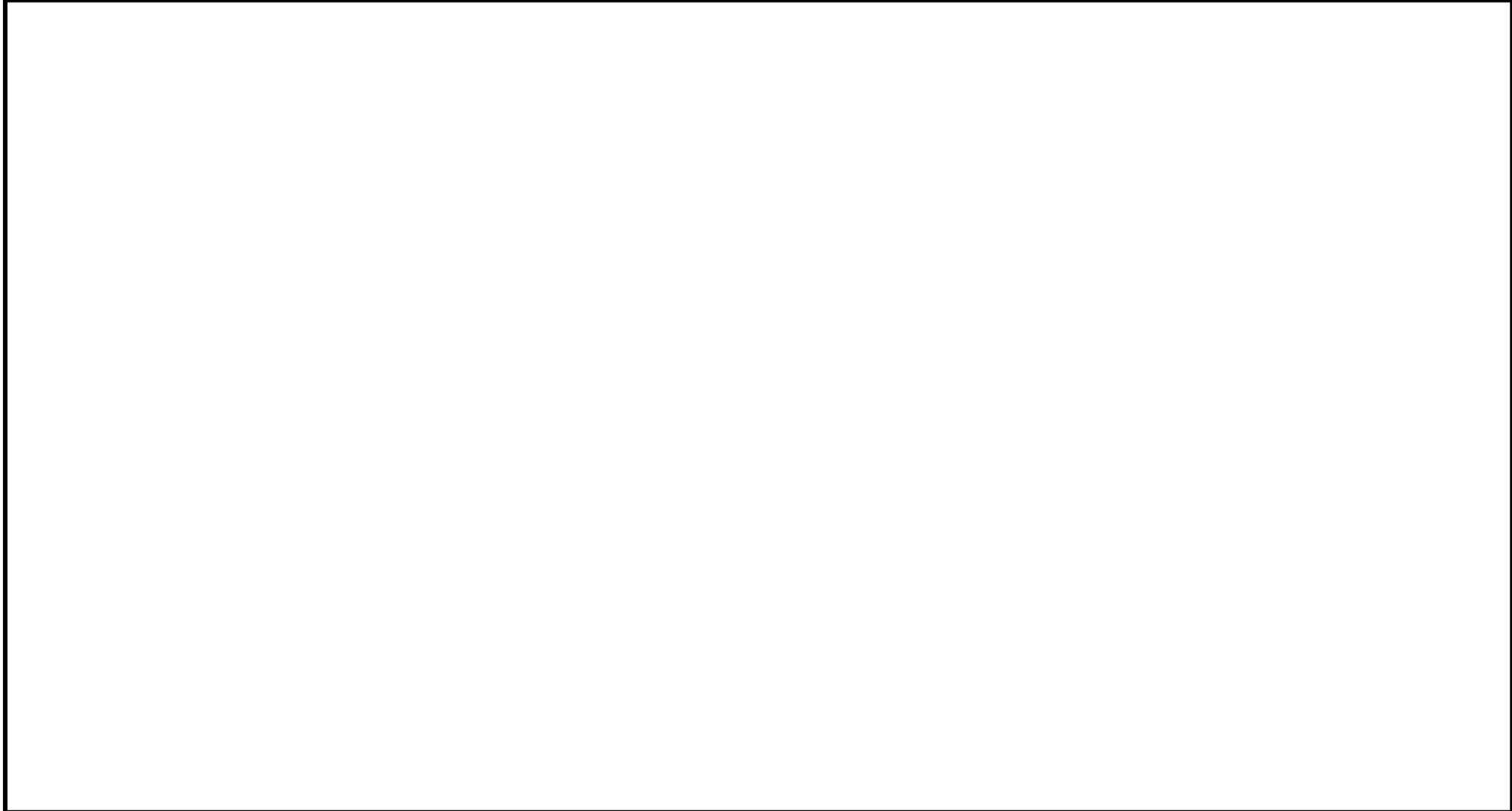
※1: 上記に加え、Sクラス設備である機器・配管系の間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設として、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋、5号炉原子炉建屋、格納容器圧力逃がし装置基礎及び主排気筒の評価を実施。

また、波及的影響を及ぼすおそれのある施設として、5号炉タービン建屋、サービス建屋、5号炉サービス建屋、5号炉主排気筒、5号炉主排気モニタ建屋、6号炉Co₂ポンペ建屋、5号炉連絡通路、6号炉連絡通路、5号炉格納容器圧力逃がし装置基礎及び原子炉ウェル遮蔽プラグの評価を実施。

※2: 原子炉建屋及び原子炉格納容器は、岩盤に直接支持。

2-2-1 建物・構築物 ～評価対象施設～

柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉建物・構築物の評価対象施設の配置を示す。



2-2-1 建物・構築物 ～評価方針～

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。

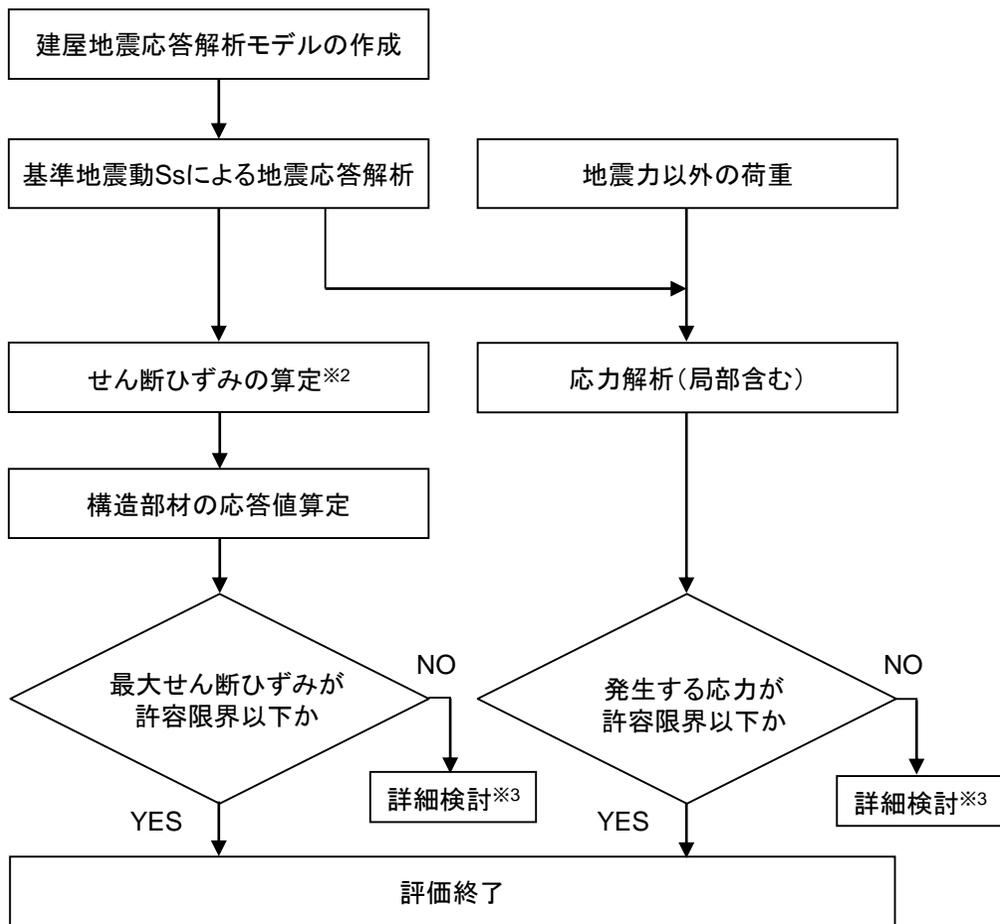
●応力解析による評価

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、有限要素解析により発生応力を算定し、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、地震力と地震力以外の荷重(温度荷重等)を組み合わせる必要があるコンクリート製原子炉格納容器、使用済燃料貯蔵プール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原子炉建屋屋根トラスとする。また、3次元応答性状の影響、水平2方向入力の影響を踏まえ、必要に応じて他の部位についても実施する。

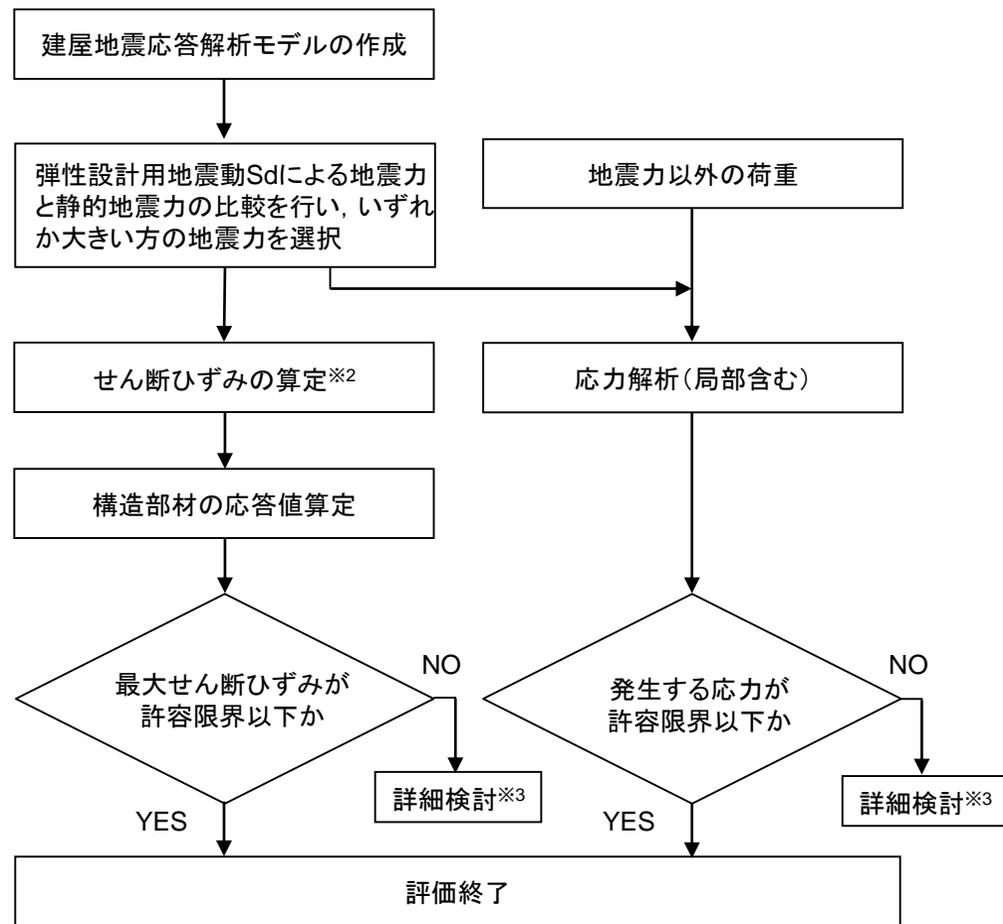
●地震応答解析による評価、動的地震力(建物・構築物、機器・配管系)の設定においては、建屋及び地盤物性等の変動幅(不確かさ)による影響、3次元応答性状の影響、水平2方向入力の影響について適切に考慮する。

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、6号炉原子炉建屋の構造概要を以下に示す。

	原子炉建屋
構造概要	RC造（一部SRC造及びS造）
基礎	厚さ <input type="text"/> 、直接岩盤上に設置
平面形状	56.6m（南北方向）×59.6m（東西方向）
高さ	基礎版底面から 63.4m
図面 (左：平面図 右：断面図)	<p>1階伏図 (T.M.S.L.12.3) (単位:m)</p> <p>断面図 (NS方向) (単位:m)</p>
建屋の特徴	<ul style="list-style-type: none"> • 建物中央部には鉄筋コンクリート造原子炉格納容器（壁厚 <input type="text"/>）があり、鉄筋コンクリート造の基礎版上に設置し原子炉建屋と一体構造としている。その外側に外壁である原子炉建屋側壁（壁厚は地上部 <input type="text"/>、地下部 <input type="text"/>）がある。 • それぞれ壁の間は強固な床版で一体に連結し、全体として剛な構造としている。 • 主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく非常に剛性の高い構造となっている。 • 建屋に加わる地震時の水平力は全て耐震壁に負担させる設計となっている。

2-2-1 建物・構築物 ～モデル化(地震応答解析)～

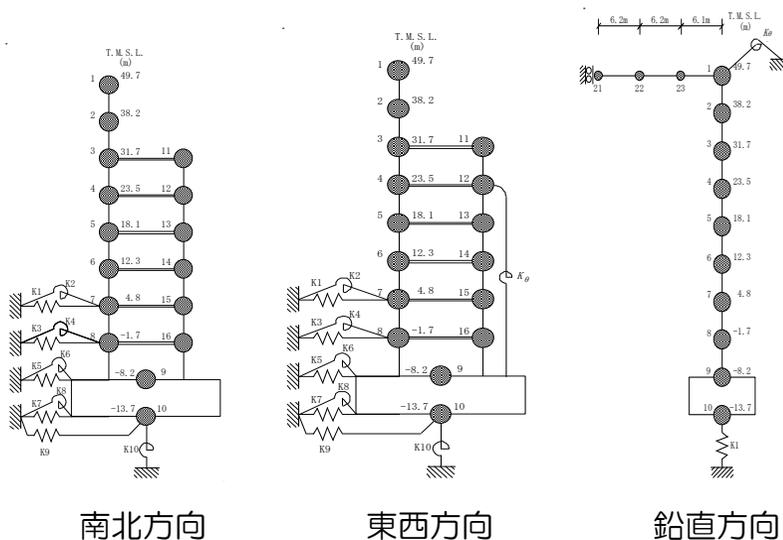
地震応答解析モデルは、建屋構造概要を踏まえ、以下の方針に基づき構築する

<水平方向>

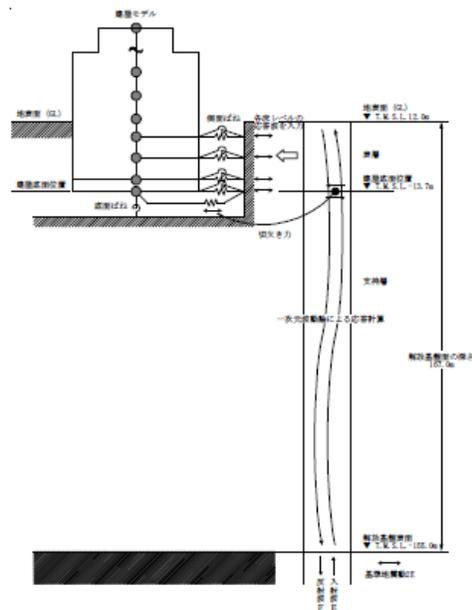
- ・地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げおよびせん断剛性を考慮した質点系モデルとする。
- ・埋め込みを考慮した水平モデルであるため、モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答として評価する。
- ・建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

<鉛直方向>

- ・耐震壁の軸剛性および屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した質点系モデルとする。
- ・入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力をする。



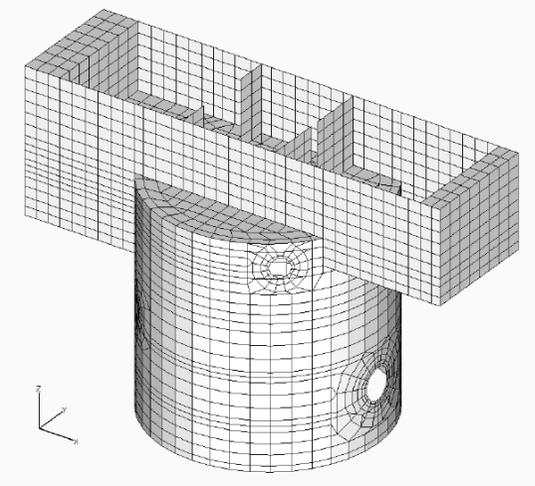
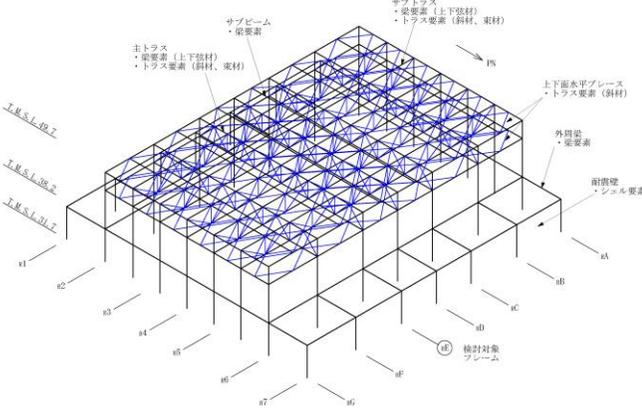
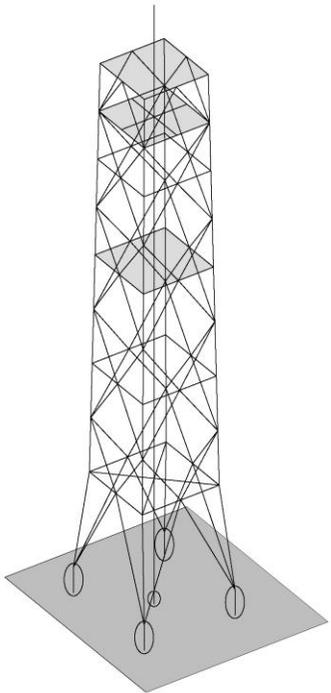
原子炉建屋の地震応答解析モデル



入力地震動の概念図

2-2-1 建物・構築物 ～モデル化(局部の応力評価)～

局部の応力評価は、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、6号炉の鉄筋コンクリート製原子炉格納容器、原子炉建屋屋根トラス及び主排気筒の3次元FEMモデルを下記に示す。

評価対象	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器	原子炉建屋屋根トラス	主排気筒
モデル図			

2-2-2 機器・配管系 ～基準地震動Ssに対する評価～

機器・配管系のうちSクラス設備については、基準地震動Ss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・建屋剛性の不確かさ等を適切に配慮する。
 - (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

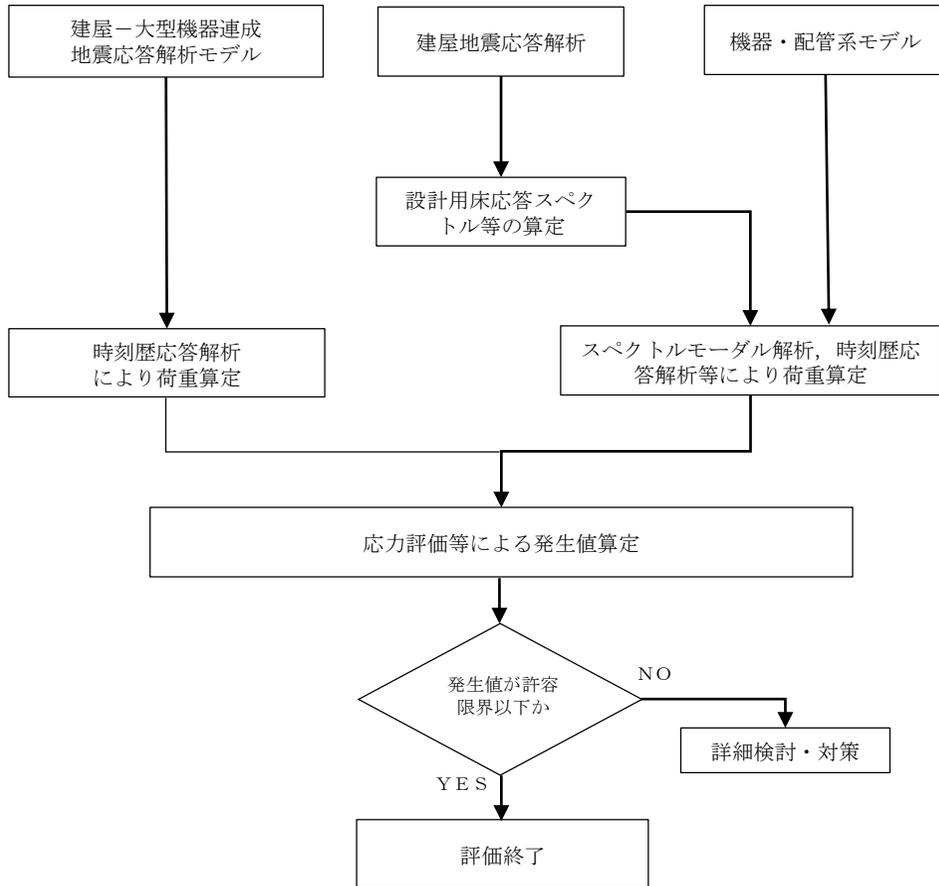
基準地震動Ssによる評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横形ポンプ及びポンプ駆動用タービン等、機種ごとに試験あるいは解析により動的機能維持が確認された加速度である。制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

(2) 詳細評価

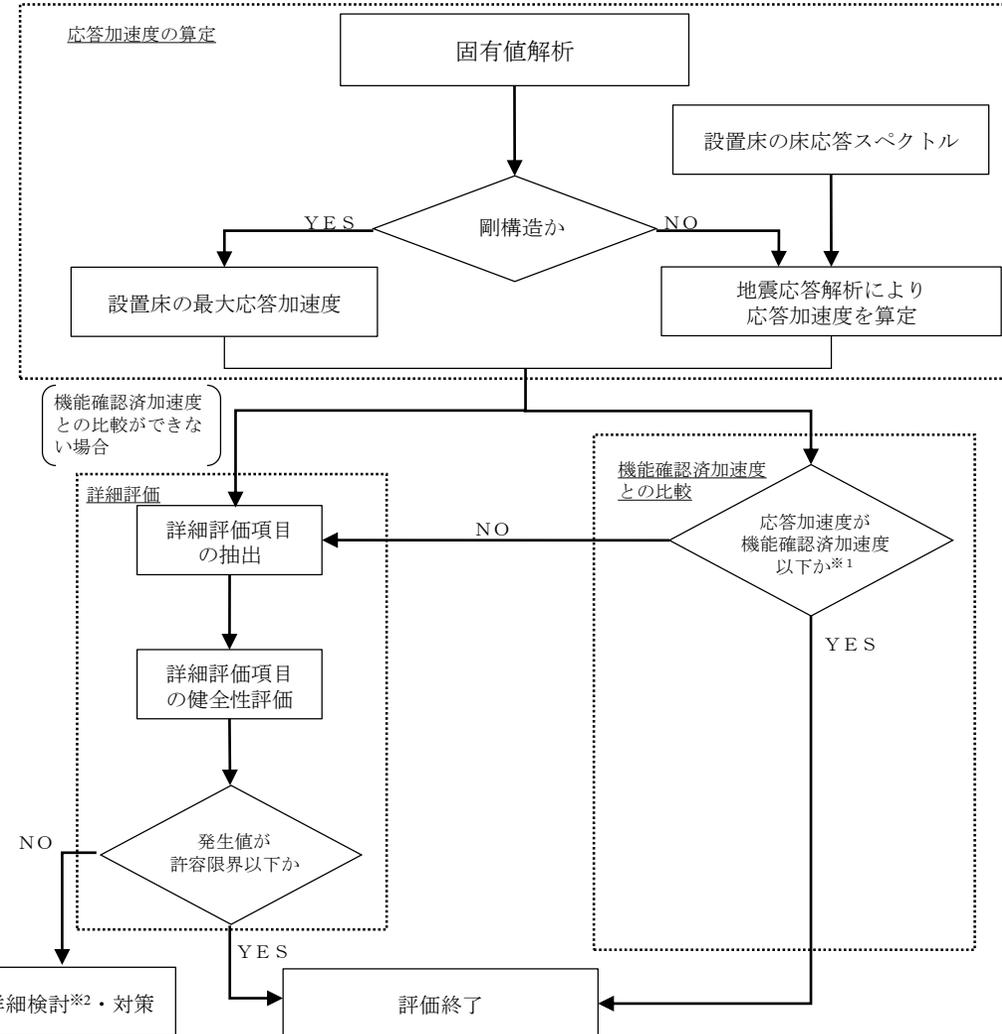
機能確認済加速度の設定されていない機器、基準地震動Ssによる応答加速度が機能確認済加速度を上回る機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」等を参考に動的機能維持を確認するうえで評価が必要となる項目を抽出し、対象部位ごとの構造強度評価又は動的機能維持評価を行い、発生値が許容限界を満足していることを確認する。

2-2-2 機器・配管系 ～具体的な評価手順～

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の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

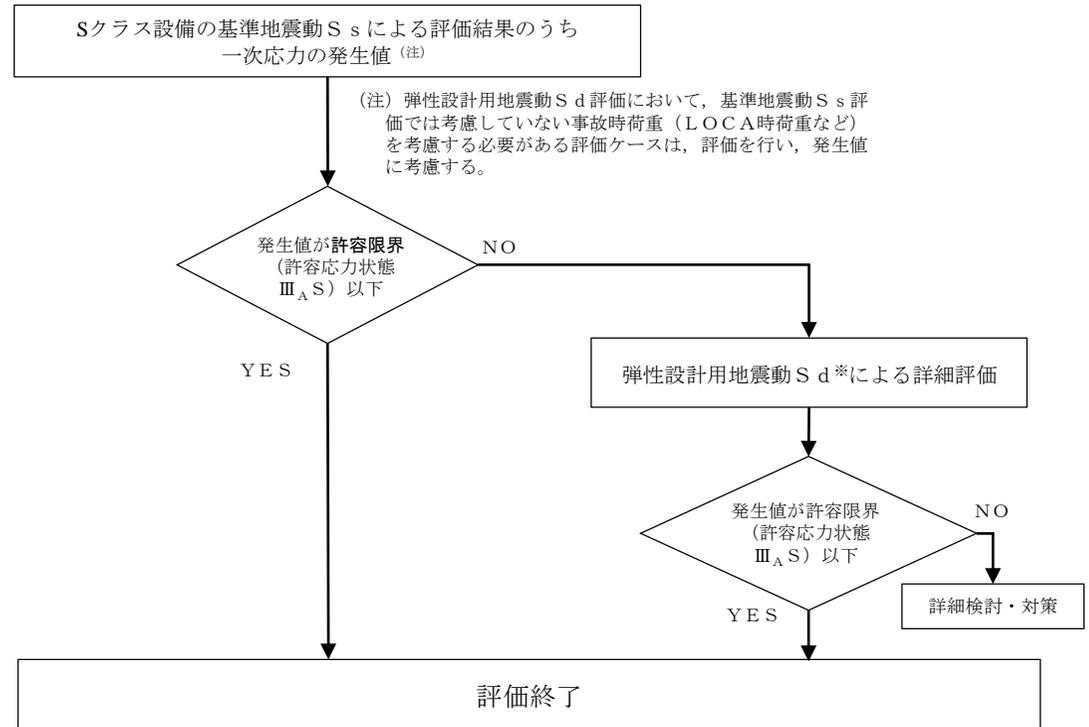
※2 解析、試験等による検討。

2-2-2 機器・配管系 ～弾性設計用地震動Sd・静的地震力による評価～

弾性設計用地震動Sd及び静的地震力に対しておおむね弾性状態にあることを、以下の(1), (2)のいずれかの手順に従い確認する。

(1) 基準地震動Ssによる評価で代用する場合

- 評価対象設備の基準地震動Ssによる発生値が弾性設計用の許容限界(許容応力状態Ⅲ_AS)以下であることを確認する。
- 弾性設計用地震動Sdは基準地震動Ssの係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動Ssによる発生値が、許容限界(許容応力状態Ⅲ_AS)以下であれば、弾性設計用地震動Sdによる発生値についても、許容限界(許容応力状態Ⅲ_AS)以下となる。
- 基準地震動Ss評価では考慮しない事故時荷重(LOCA時荷重など)を考慮する必要がある評価ケースは、弾性設計用地震動Sdと組み合わせるべき事故時荷重を考慮した評価を行い、発生値に考慮する。
- 座屈の評価はJEAG4601に規定される評価式を用いるため、評価式中の許容限界をIV_ASからⅢ_ASとし、評価を行う。



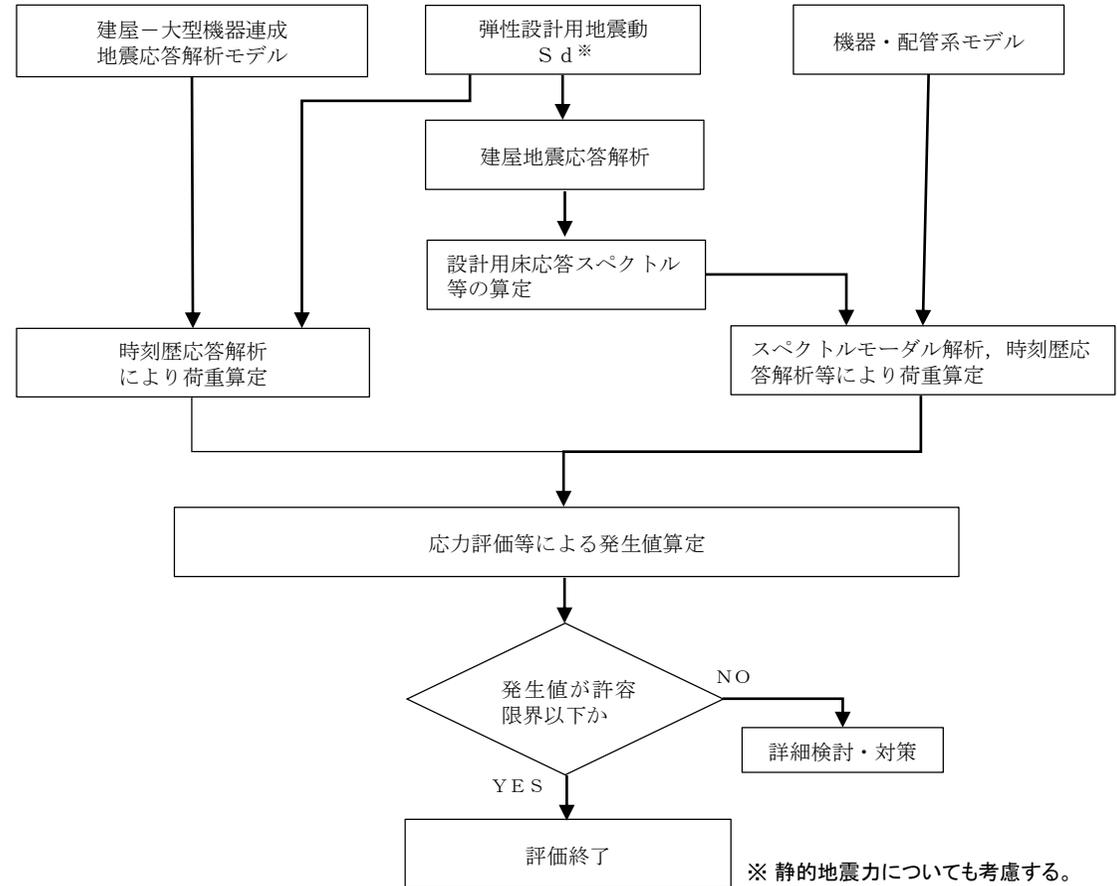
※ 静的地震力についても考慮する。

基準地震動Ssによる評価で代用する場合の評価手順

2-2-2 機器・配管系 ～弾性設計用地震動Sd・静的地震力に対する評価(2)～

(2) 弾性設計用地震動Sdに対する評価

- 弾性設計用地震動Sdによる発生値を算定し、その算定した発生値が許容限界(許容応力状態Ⅲ_AS)以下であることを確認する。その際、弾性設計用地震動Sdと静的地震力を比較し、静的地震力の方が大きい場合は、静的地震力についても考慮する。
- 一次+二次応力評価については、JEAG4601に規定されている許容応力状態Ⅳ_ASとⅢ_ASの許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動Sdより大きな地震動である基準地震動Ssで評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動Ssの評価を実施することで、弾性設計用地震動Sdによる評価は省略する。
- 支持構造物(ボルト以外)のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態Ⅳ_ASとⅢ_ASで許容値が異なるケースが存在する為、個別確認を実施する。



弾性設計用地震動Sdに対する評価手順

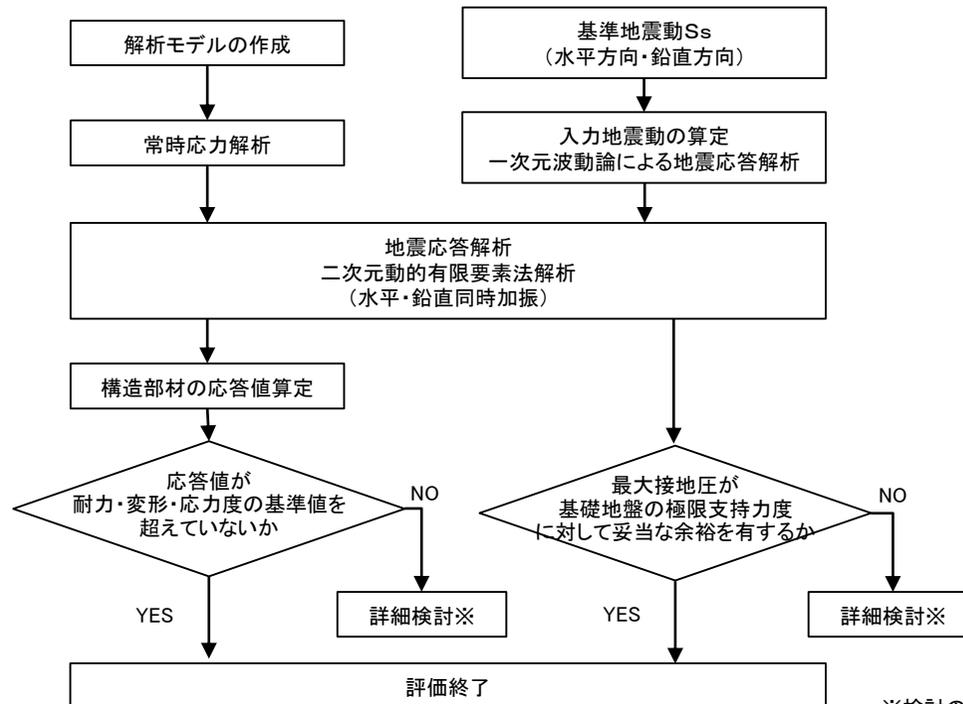
2-2-3 屋外重要土木構造物 ～評価方法と手順～

○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構造物としてSクラス施設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、構造物の発生値が許容限界である評価基準値を超えない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。

○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以下のフローに基づき行う。



※検討の内容に応じて、
必要なプロセスへ戻る

2-2-3 屋外重要土木構造物 ～具体的な評価方法～

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二次元有限要素法を用いて、地盤や構造物の非線形性を考慮した時刻歴応答解析を行う。常時応力解析で求めた構造物及び地盤の初期応力状態を考慮する。地震応答解析では水平地震動と鉛直地震動の同時入力により実施する。
- 限界状態設計法で評価している軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び海水貯留堰については、構造物にトリリニアモデル等を適用した非線形モデルとして検討する。
- 液状化に伴う構造物への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、代表性および網羅性を踏まえた保守性を考慮して設定する。なお、サイクリックモビリティ等を示す土層についても、液状化強度特性を設定した有効応力解析を実施し、安全側の設計となるよう配慮する。

許容限界

- 屋外重要土木構造物の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率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、せん断耐力又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対して、許容応力度を適用することで、安全余裕を持たせることもある。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。

耐震安全性評価

- 軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクトについては、Sクラス設備を間接支持する機能を、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び海水貯留堰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である評価基準値を超えないことを確認する。なお、評価結果については今後の工認審査で詳細に説明予定。

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。

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。

具体的な検討内容をP39～42に示す

- (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

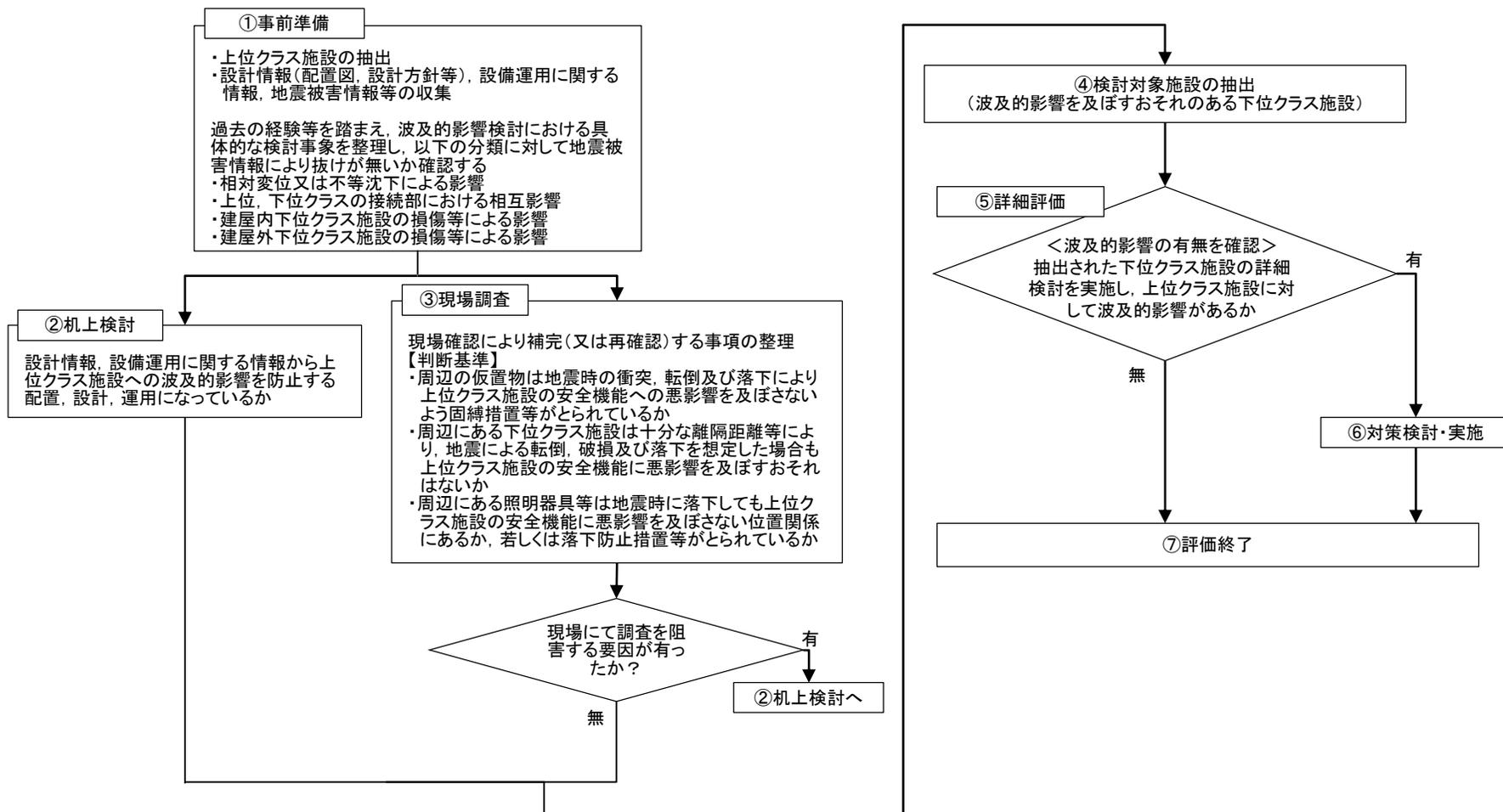
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
- (3) 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

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。

2-3-1 波及的影響に係る検討フロー

(波及的影響検討評価の検討内容)

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。



2-3-2 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クラス施設におよぼす影響
- 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
(福島第二, 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

2-3-3 波及的影響に係る設計情報による検討

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: 残留熱除去系ポンプ, 主蒸気系配管, 使用済燃料プール

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。

2-3-4 波及的影響に係る現場確認

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。

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. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における 新たな評価手法の適用

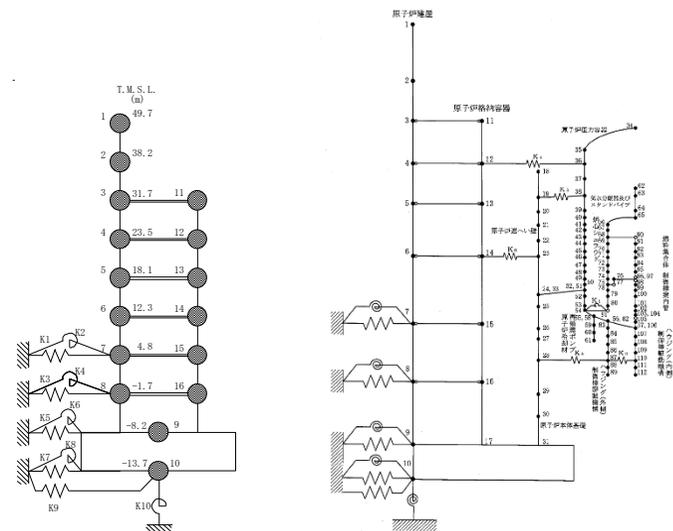
3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(1) 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化

- 基準地震動の増大に伴い、より現実に近い地震応答を算出することを目的に、既工認時より詳細化しつつ保守性に配慮した地震応答解析モデルを採用する方針。
- 詳細化は、コンクリートの実剛性採用及び補助壁の耐震要素化、側面地盤回転ばねの採用、原子炉本体基礎の非線形モデル化の4点。
- 各項目の採用に当たっては、項目毎に妥当性を確認した後、詳細化後の解析モデルを、別モデル(3次元FEM)と比較して、モデル全体の妥当性を確認。
- 各項目に含まれる不確かさについては、工認時に、その影響をパラメータ解析で個別に検討し、許容値を満足することを確認。

詳細化の概要

詳細化項目	既工認	今回工認
建屋剛性	コンクリートの設計基準強度を使用	コンクリートの実強度データに基づく剛性を使用
耐震要素(建屋壁)のモデル化	外壁などの主要な壁のみモデル化	左記に加え、考慮可能な壁(補助壁)を追加でモデル化
建屋側面地盤による拘束効果	側面地盤回転ばねを考慮せず	側面地盤回転ばねを考慮する
原子炉本体基礎のモデル化	線形解析モデル	コンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮した非線形解析モデル



建屋-地盤連成地震応答解析モデル(7号炉の例)

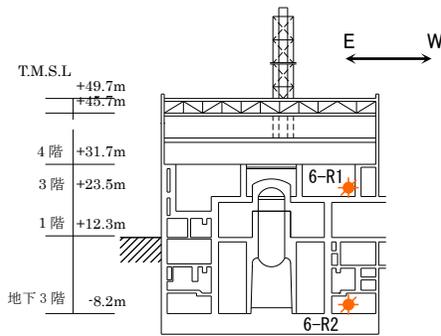
原子炉圧力容器内部構造物等の地震応答解析モデルの例(7号炉の例)

詳細化後の地震応答解析モデル

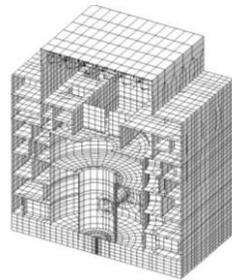
3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(1) 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化【地震応答解析モデルの妥当性検証】

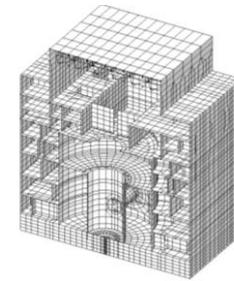
- 3次元FEMモデルは、地震観測記録を良好にシミュレーションできており、詳細化後の地震応答解析モデルの妥当性確認用としての解析モデルとしては妥当であることを確認。
- 詳細化後の地震応答解析モデルと3次元FEMモデルの応答性状は整合的であり、今回詳細化後の地震応答解析モデルは妥当であることを確認。



地震計の配置

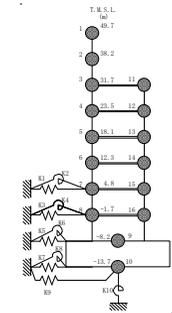
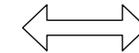


建屋3次元FEMモデル

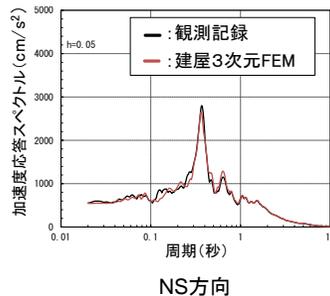


建屋3次元FEMモデル

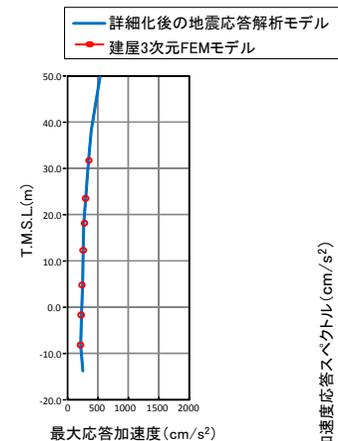
応答比較



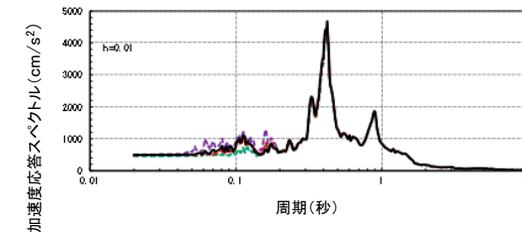
詳細化後の地震応答解析モデル



観測記録と建屋3次元FEMモデルによるシミュレーション解析結果の比較



最大応答加速度の比較



床応答スペクトルの比較

3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(1) 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化【詳細化項目の保守性と不確かさ】

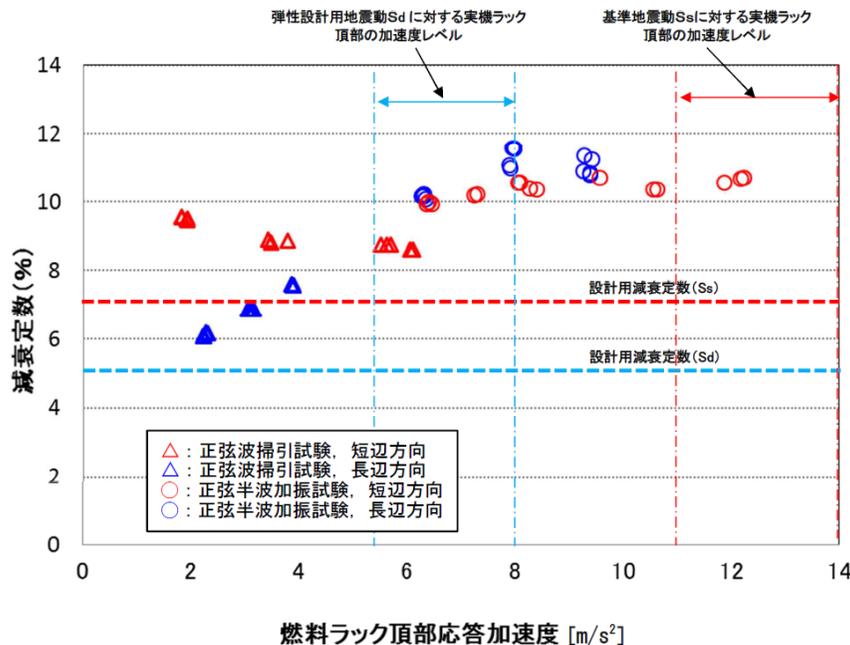
■ 詳細化項目の採用にあたっては、保守性に配慮し、各詳細化項目に含まれる不確かさについては、パラメータ解析を実施することで、その影響を考慮した場合にも、許容値を満足することを確認する方針とする。

詳細化項目	基本ケース設定の考え方	保守性	不確かさ
コンクリート実剛性の採用	コンクリートの材齢91日強度を採用。	・材齢91日以降の強度上昇を無視(1~2割程度)。	・コンクリート実強度の平均 $\pm\sigma$ に加えて -2σ 、コア強度の平均値を考慮。
補助壁の耐震要素化	・補助壁のせん断スケルトンは第1折点で降伏する完全弾塑性型。 ・補助壁の曲げ剛性は無視。 ・規格に該当しない間仕切壁の剛性を無視	・左記に含む。	・特に無し。
側面地盤回転ばねの採用	・回転拘束効果を考慮(100%)。	・無し (但し、不確かさの考慮において回転拘束効果を低減(50%)した場合の影響を評価)	・回転ばね定数の変動を考慮(地盤剛性を $\pm\sigma$ 変化させることで回転ばね定数も変化する)。
原子炉本体基礎の非線形モデル化	・許容限界を鋼板降伏までと設定。 ・コンクリート強度を設計基準強度と設定。	・鋼板降伏以降の領域は設定しない。 ・コンクリート強度の下限值を採用。	・コンクリート強度を実強度とした場合を考慮。 ○手法特有の配慮 ・スケルトンカーブを曲線包絡とした場合を考慮。

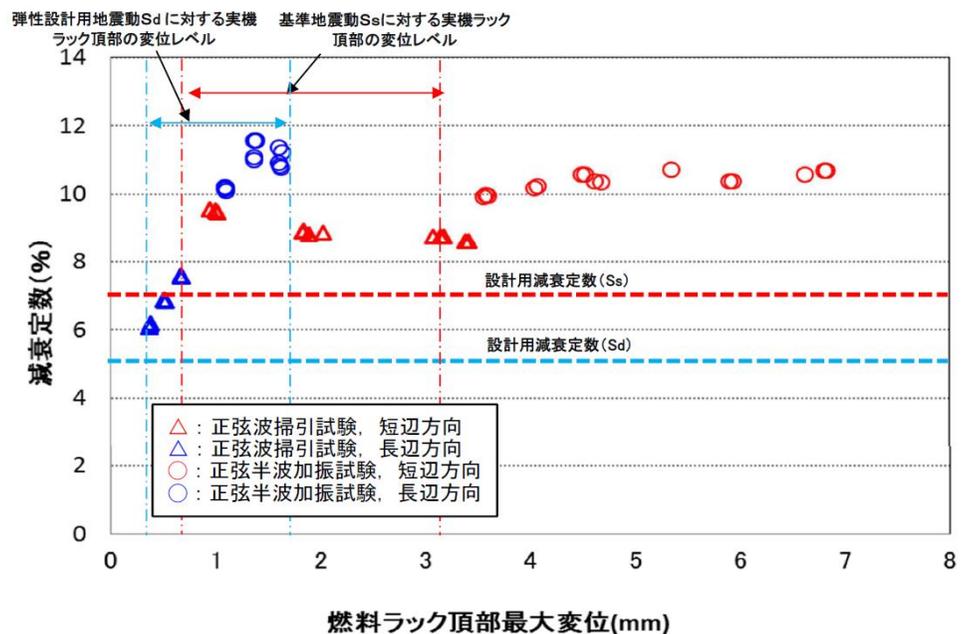
3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(2) 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数

- 従来、使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数は溶接構造物の設計用減衰定数1%を適用していたが、実機ラックは水中に設置され、燃料集合体を貯蔵していることから、これらの効果により実際はより大きな減衰があると考えられるため、実機を模擬した実物大加振試験の結果に基づき設計用減衰定数を設定する方針。
- 設計用減衰定数の設定にあたっては、試験体・試験条件の妥当性、減衰定数の応答依存性、固有振動数依存性について検討。
- 実物大加振試験結果のうち実機の応答レベルと対応する減衰定数に対し余裕を見込み、設計用減衰定数(基準地震動 S_s :7.0%, 弾性設計用地震動 S_d :5.0%)として設定することが妥当であることを確認。



実機ラック頂部の最大加速度と減衰定数の関係



実機ラック頂部の最大変位と減衰定数の関係

3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(3) 基礎地盤の傾斜

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド

4. 基礎地盤の安定性評価

4. 1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

(1) 評価項目

～中略～

3) 基礎底面の傾斜

許容される傾斜が各建物及び構築物に対する要求性能に応じて設定されており、動的解析の結果に基づいて求められた基礎の最大不等沈下量及び残留不等沈下量による傾斜が許容値を超えてないことを確認する。一般建築物の構造的な障害が発生する限界(亀裂の発生率, 発生区間等により判断)として建物の変形角を施設の傾斜に対する評価の目安に, 1/2,000 以下となる旨の評価していることを確認する。なお, これは, 基本設計段階での目安値であり, 機器, 設備等の仕様が明らかになる詳細設計段階において詳細に評価を行うこととなる。

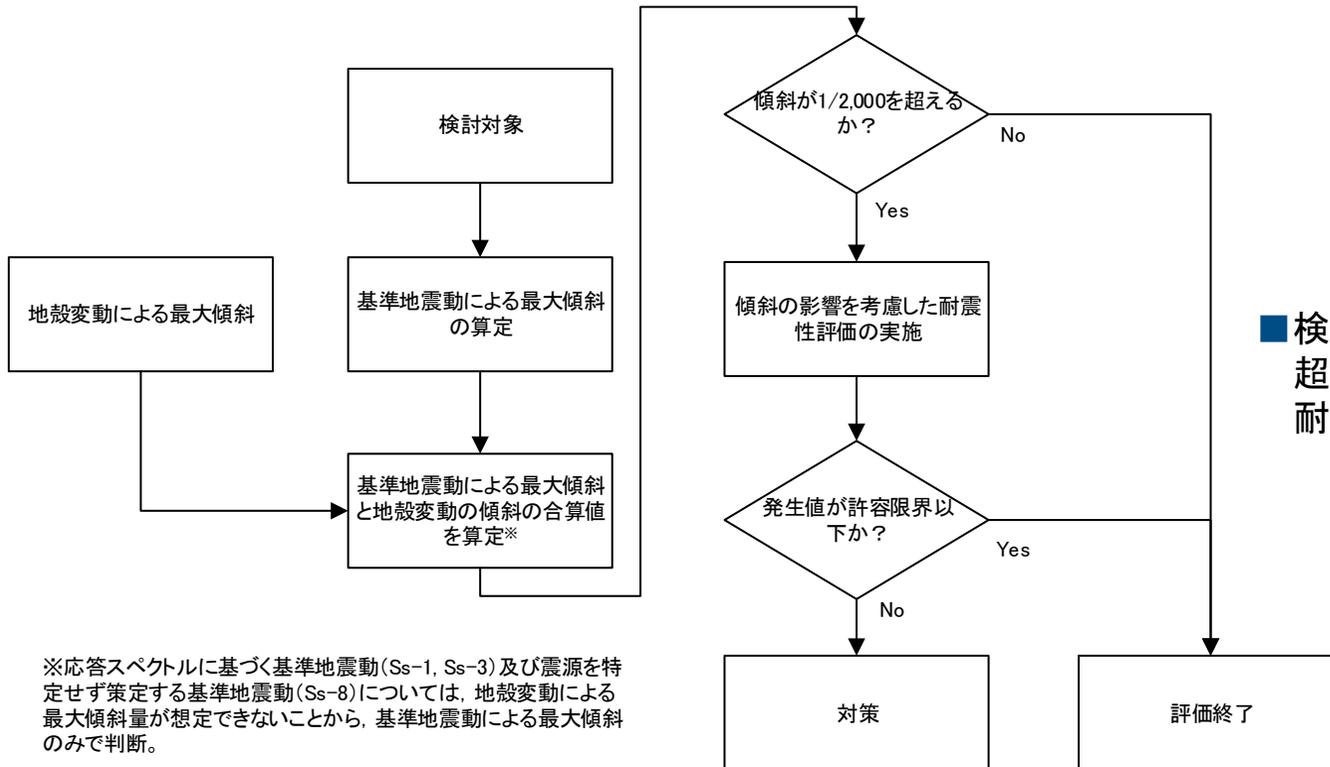
- 地盤の安定性評価の結果, 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋の基礎地盤の傾斜が1/2,000を超える結果となっていることから, 建物・構築物及び機器・配管系への基礎地盤傾斜による影響を検討する。

3. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における新たな評価手法の適用

(3) 基礎地盤の傾斜

■ 検討対象

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類のSクラスに属する設備
- (2) (1)の間接支持構造物である建物・構築物
- (3) 屋外重要土木構造物
- (4) 重大事故等対処施設のうち、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
- (5) (4)の間接支持構造物である建物・構築物
- (6) (1)～(5)に対する波及的影響防止のために耐震性評価を実施する施設



※応答スペクトルに基づく基準地震動(Ss-1, Ss-3)及び震源を特定せず策定する基準地震動(Ss-8)については、地殻変動による最大傾斜量が想定できないことから、基準地震動による最大傾斜のみで判断。

■ 検討対象の基礎地盤傾斜を確認し、1/2,000を超える施設については傾斜の影響を考慮した耐震性評価を実施する方針とする。

基礎地盤傾斜の影響検討フロー