

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 添-2-062-1 改0
提出年月日	2023年11月17日

VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針

2023年11月
東京電力ホールディングス株式会社

VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
2.1.1 耐震B, Cクラス機器	2
2.1.2 溢水防護に係る施設	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	6
3.1 荷重及び荷重の組合せ	6
3.1.1 荷重の種類	6
3.1.2 荷重の組合せ	6
3.2 許容限界	7
3.2.1 耐震B, Cクラス機器	7
3.2.2 溢水防護に係る施設	7
4. 耐震評価方法	8
4.1 地震応答解析	8
4.1.1 入力地震動	10
4.1.2 解析方法及び解析モデル	10
4.1.3 設計用減衰定数	11
4.2 耐震評価	13
4.2.1 耐震評価方法	13
4.3 機能維持評価	14
4.3.1 動的機能の維持	14
4.3.2 電氣的機能の維持	14
4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	15
5. 適用基準	15

1. 概要

本資料は、「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（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）」第12条及び第54条並びに「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の解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちVI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて耐震性を有することから溢水源として設定しないとした耐震B，Cクラス機器（以下「耐震B，Cクラス機器」という。）及び耐震Cクラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）が、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設への基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第5条及び50条の対象ではない。

耐震B，Cクラス機器の具体的な計算の方法及び結果は、VI-2-別添2-2「溢水源としない耐震B，Cクラス機器の耐震計算書」に、溢水防護に係る施設のうち循環水系隔離システム，タービン補機冷却海水系隔離システム（以下「漏えい検出器」という。），復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の具体的な計算の方法及び結果は、VI-2-別添2-4「循環水系隔離システムの耐震性についての計算書」，VI-2-別添2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」，VI-2-別添2-6「タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性についての計算書」及びVI-2-別添2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果は、VI-2-別添2-3「溢水防護に係る施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

また、基準地震動 S_s による地震力に対し、止水性の維持を期待する床ドレンライン浸水防止治具、貫通部止水処置の耐震性については、評価対象が同一であるVI-2-10-2-4-1「床ドレンライン浸水防止治具の耐震性についての計算書」及びVI-2-10-2-4-2「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」に示す。

なお、主要設備リストに記載する浸水防護に係る浸水防護施設となる閉止板、水密扉、水密扉付止水堰及び止水堰の基本方針書を、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示し、その耐震性についての計算書をVI-2-10-2-2-1「取水槽閉止板の耐震性についての計算書」，VI-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」，VI-2-10-2-3-2「水密扉付止水堰の耐震性についての計算書」及びVI-2-10-2-3-3「止水堰の耐震性についての計算書」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 S_s による地震力と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重による応力又は荷重（以下「応力等」という。）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用基準」で示す適用規格を用いて確認する。

耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設は，基準地震動 S_s による地震力に対して，その機能を維持又は保持できる設計とすることを踏まえ，水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて実施する。影響評価方法は「4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は，耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設（VI-2-10-2「浸水防護の耐震性に関する説明書」で評価する浸水防護施設を除く。以下同じ。）を対象とする。

2.1.1 耐震B，Cクラス機器

VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて溢水源となり得る流体を内包する機器のうち，基準地震動 S_s による地震力に対して溢水源として想定しない耐震性B，Cクラス機器を評価対象施設とする。

評価対象施設のポンプ，熱交換器等，配管，弁及び支持構造物の構造は，VI-2-1-14「計算書作成の方法」にて示す各構造を踏まえ，応答性状を適切に評価することで適用する地震力に対して構造強度を有する構造とする。

2.1.2 溢水防護に係る施設

溢水防護に関する施設の構造計画を表2-1，表2-2，表2-3に示す。

表 2-1 構造計画（漏えい検出器）

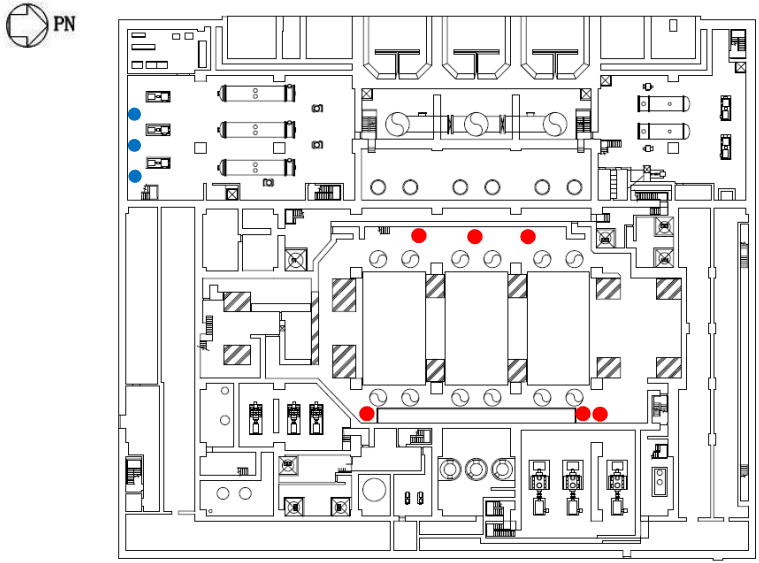
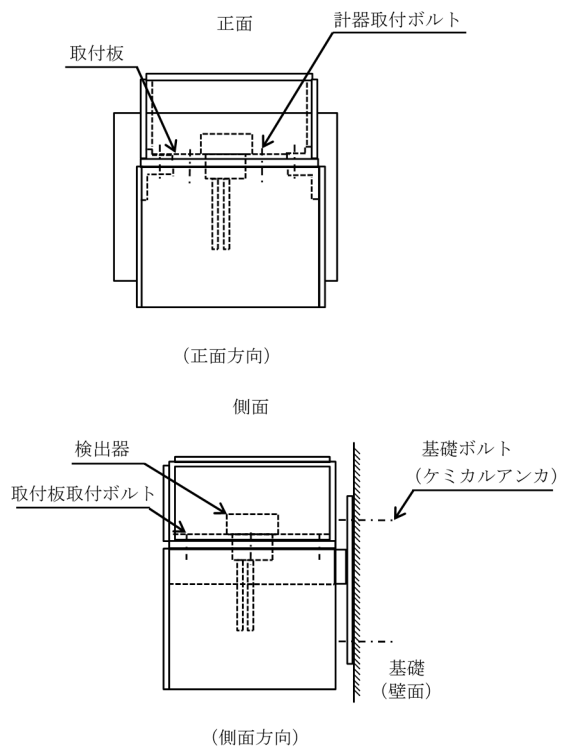
配置図	
 <p style="text-align: center;">●：循環水系隔離システム漏えい検出器 ●：タービン補機冷却海水系隔離システム漏えい検出器</p> <p style="text-align: center;">タービン建屋 T. M. S. L. -5100mm</p>	
計画の概要	
主体構造	支持構造
<p>電極式水位検出器</p>	<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、計器ステーションに固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>
<p>概略構造図</p>  <p style="text-align: center;">(正面方向)</p> <p style="text-align: center;">側面</p> <p style="text-align: center;">(側面方向)</p>	

表 2-2 構造計画（復水器水室出入口弁）

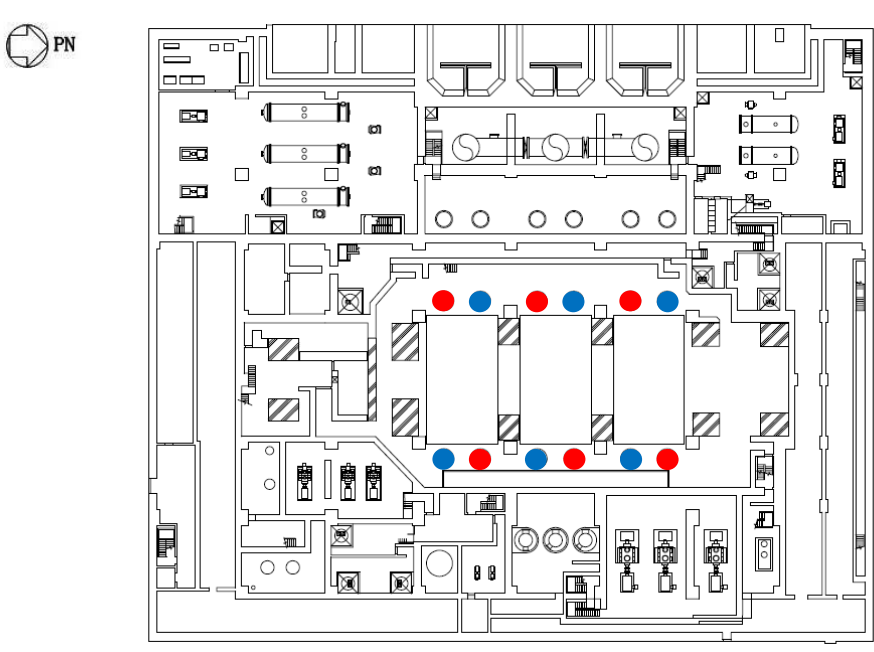
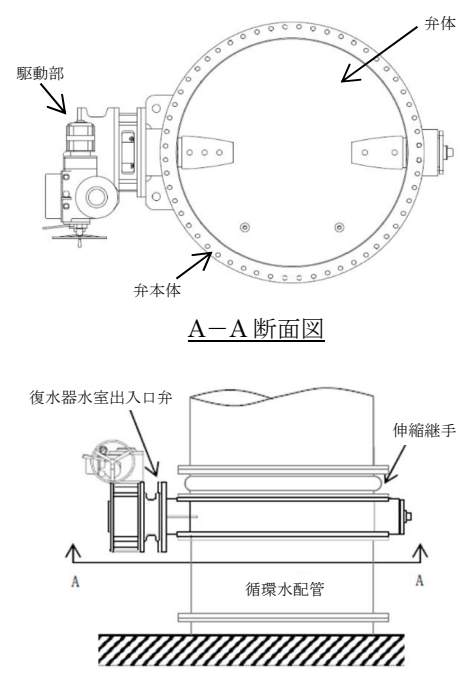
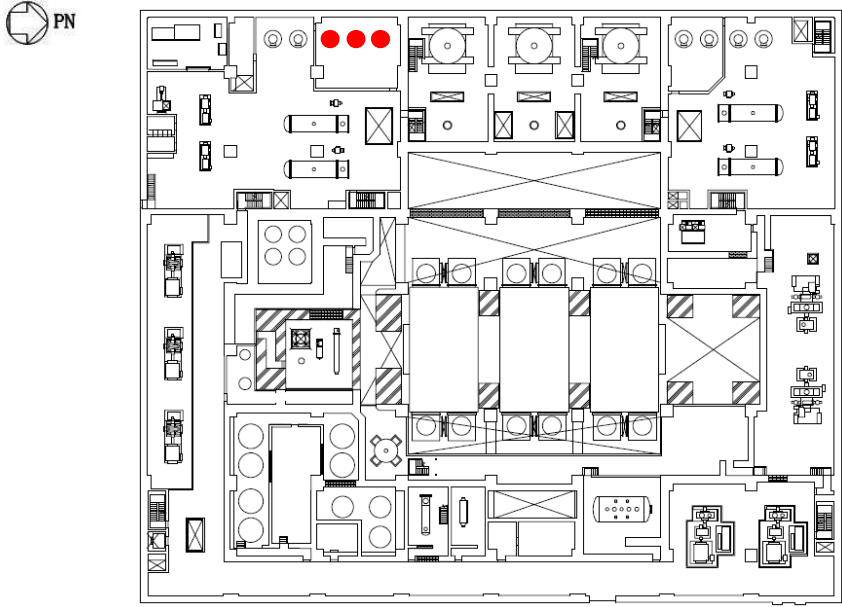
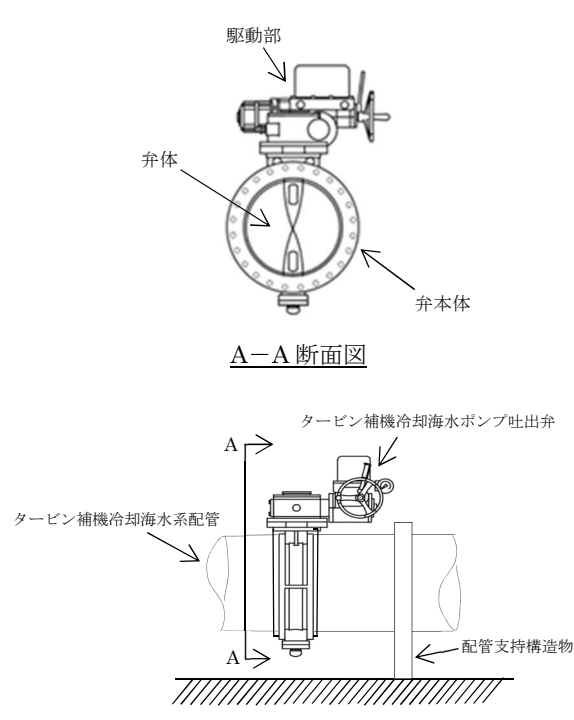
配置図			
			
<p>●：復水器水室入口弁 ●：復水器水室出口弁</p>			
タービン建屋 T. M. S. L. -5100mm			
計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	循環水系配管にて固定する。	 <p style="text-align: center;">A-A 断面図</p> <p style="text-align: center;">弁設置位置図</p>

表 2-3 構造計画 (タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁)

配置図		
 <p style="text-align: right;">●: タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁</p> <p style="text-align: center;">タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm</p>		
計画の概要		
型式	主体構造	支持構造
電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	タービン補機冷却海水系配管に固定される。配管については, 床面に支持構造物にて固定する。
<div style="text-align: right;">概略構造図</div> 		

K6 ① VI-2-別添 2-1 R0

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

耐震B, Cクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

3.1.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、溢水起因の荷重と組合せない*ため、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (D)

死荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

(2) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3) 機械的荷重 (M_D)

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動S_sにより定まる地震力とする。

3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、溢水起因の荷重と組合せない*ため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す機器・配管系の荷重の組合せを踏まえて設定する。

注記*：地震起因により発生する溢水は、地震後に作用するため、地震荷重と組合せない。なお、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて溢水源として設定する想定破損による溢水及び消火水の放水による溢水の荷重は、地震起因による溢水と重畳しない。

3.2 許容限界

3.2.1 耐震B, Cクラス機器

耐震B, Cクラス機器の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性を有し、機器の破損により溢水源とならない設計とするため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を準用する。

3.2.2 溢水防護に係る施設

溢水防護に係る施設の許容限界は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び設計方針を踏まえて、評価部位ごとに、地震時及び地震後に機能維持が可能となるように設定する。

溢水防護に係る施設ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し定める。

(1) 漏えい検出器

漏えい検出器の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の循環水系配管及びタービン補機冷却海水系配管の漏えいを検出する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、漏えい検出器を固定する基礎ボルトは、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している「その他の支持構造物」の許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を準用する。

評価部位ごとの許容限界を表3-1に示す。

表3-1 評価部位ごとの許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
漏えい検出器	$D + S_s$	基礎ボルト	引張り せん断	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	許容応力状態 $IV_A S$ の許容 応力以下とする。

(2) 復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態Ⅲ_ASの許容限界を準用する。

(3) タービン補機海水冷却ポンプ吐出弁

タービン補機海水冷却ポンプ吐出弁の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管、支持構造物が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態Ⅲ_ASの許容限界を準用する。

4. 耐震評価方法

耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は、「4.1 地震応答解析」，「4.2 耐震評価」及び「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

4.1 地震応答解析

耐震B，Cクラス機器の地震応答解析は、「4.1.1 入力地震動」に示す入力地震動，「4.1.2 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法及び「4.1.3 設計用減衰定数」に示す減衰定数を用いて実施する。

図4-1に耐震B，Cクラス機器の地震応答解析の手順を示す。

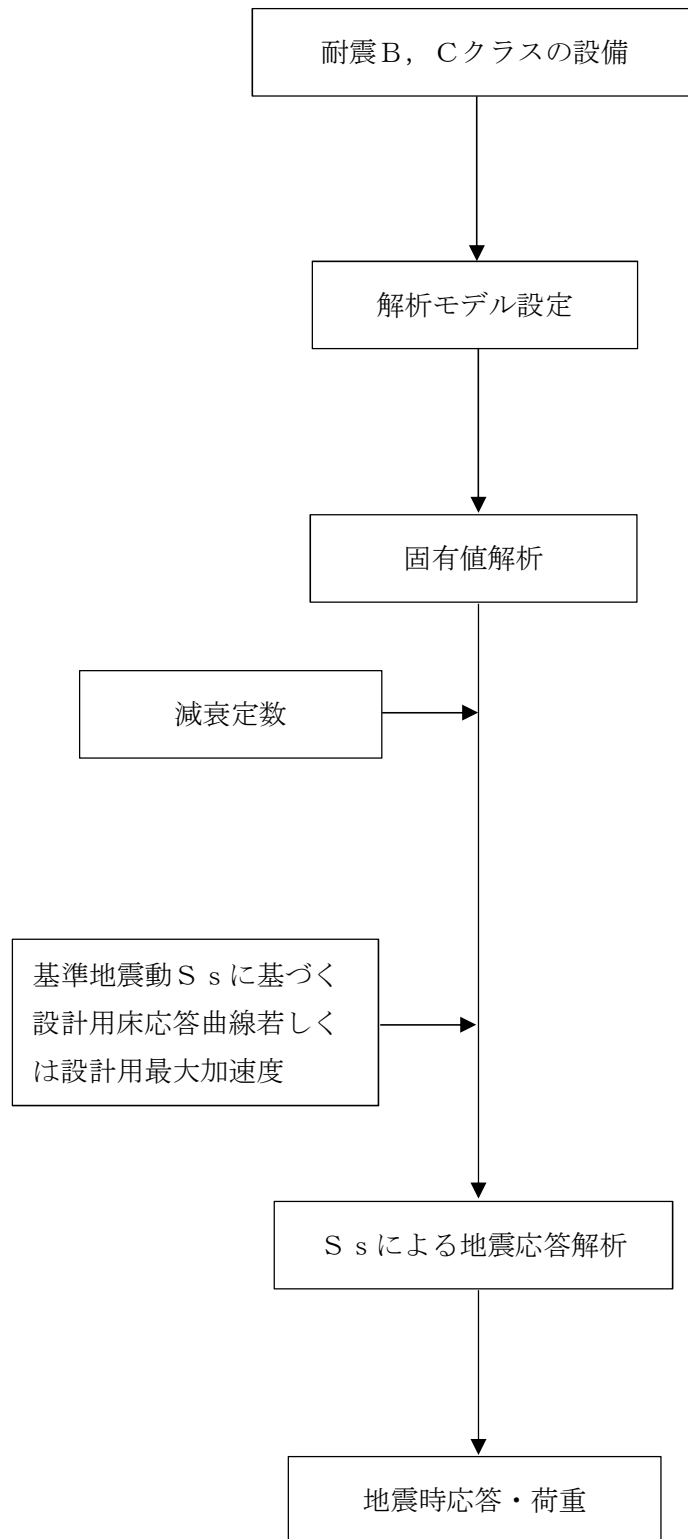


図4-1 耐震B, Cクラス機器の地震応答解析の手順

4.1.1 入力地震動

耐震B、Cクラス機器及び溢水防護に係る施設の地震応答解析に用いる入力地震動は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.1.2 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等、各種物性値は、適切な規格・基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう1質点系、多質点系モデル等に置換し、定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）又は、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

剛性の高い機器は、その機器の設置床面の設計用最大床加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算出する。

配管系については、多質点系モデルに置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

なお、動的解析に用いる地震力は材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

(1) 解析方法

- ・定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）
- ・スペクトルモーダル解析法

(2) 解析モデル

代表的な機器・配管系の解析モデルを以下に示す。耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

a. 一般機器

ポンプ、熱交換器等の一般の機器は、機器本体及び支持構造物の剛性をそれぞれ考慮し、原則として重心位置に質量を集中させた1質点系にモデル化する。

b. 配管

配管は3次元多質点はりモデルに置換する。

4.1.3 設計用減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に設定している、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に記載されている減衰定数又は試験等で妥当性が確認された値を用いる。具体的には表4-1に示す値を用いる。

表4-1 減衰定数

(1) 機器・配管系

対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0 ^{*1}
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0 ^{*1}
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0 ^{*1}
配管系	0.5~3.0 ^{*2, *3}	0.5~3.0 ^{*1, *2, *3}

注記*1 : 既往の研究等において、設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され妥当性が確認された値。

*2 : 既往の研究等において、試験及び解析等により妥当性が確認されている値。

*3 : 具体的な適用条件を「(2) 配管系の設計用減衰定数」に示す。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究 (H12~H13)」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (H7~H10)」

(2) 配管系の減衰定数

配管区分		減衰定数* ¹ (%)	
		保温材無	保温材有* ²
I	スナップ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、その支持具（スナップ又は架構レストレイント）の数が4個以上* ⁴ のもの	2.0	3.0* ³
II	スナップ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、その支持具（アンカ及びUボルトを除く）数が4個以上* ⁴ で、配管区分Iに属さないもの	1.0	2.0* ³
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上* ⁴ のもの	2.0* ³	3.0* ³
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	1.5* ³

注記*¹ : 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

*² : 金属保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。

*³ : J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版で規定されている配管系の設計用減衰定数に、既往の研究等において妥当性が確認された値を反映

*⁴ : 支持具の種類及び数は、アンカからアンカまでの独立した振動系について算定する。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

4.2 耐震評価

耐震B, Cクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により発生応力を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内にあることを確認する。評価手法は、定式化された評価式を用いた解析法又はスペクトルモーダル解析法により、J E A G 4 6 0 1 -1987に基づき実施することを基本とする。

4.2.1 耐震評価方法

VI-2-別添2-2「溢水源としない耐震B, Cクラス機器の耐震計算書」、VI-2-別添2-4「循環水系隔離システムの耐震性についての計算書」、VI-2-別添2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」、VI-2-別添2-6「タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性についての計算書」及びVI-2-別添2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」の評価方法について示す。

(1) 耐震B, Cクラス機器

評価対象の耐震B, Cクラス機器については、VI-2-1-14「計算書作成の方法」にて示す評価方法及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）に準拠した、評価方法により評価を行う。

なお、評価式が示されない機器については、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）に準拠した評価方法及び機械工学便覧に示される一般式を用いた評価を行う。

(2) 漏えい検出器

評価対象の漏えい検出器については、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンスションの耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(3) 復水器水室出入口弁, タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

評価対象の復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

4.3 機能維持評価

耐震B，Cクラス機器の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の方針は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」を準用する。

溢水防護に係る施設の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の動的機能の維持，電氣的機能の維持及び止水性の維持に係る耐震計算の方針は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」，「4.1 動的機能維持」及び「4.2 電氣的機能維持」を準用する。

4.3.1 動的機能の維持

地震後に動的機能が要求される機器については，VI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ，VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した機能維持評価用加速度が，機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1) 復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁は，地震後においても，基準地震動 S_s による地震力に対して，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の弁の加振試験において，動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

(2) タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は，地震後においても，基準地震動 S_s による地震力に対して，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の弁の加振試験において，動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

4.3.2 電氣的機能の維持

地震後に電氣的機能が要求される機器については，VI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ，VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した評価用加速度が，機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1) 漏えい検出器

漏えい検出器は，地震後においても，基準地震動 S_s による地震力に対して，設計用最大応答加速度から求めた評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の検出器の正弦波加振試験において，電氣的機能の健全性を確認した検出器の加速度を適用する。

4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮

耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設については，基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認している。

今回，新たに水平2方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから，これら設備についても水平2方向及び鉛直方向の組合せによる影響を評価する。

影響評価については，VI-2-1-8「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方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

5. 適用基準

適用する規格，指針等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む)) JSME S NC 1-2005/2007 (日本機械学会)
- (5) 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)