

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-177 改1
提出年月日	平成30年3月27日

V-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書の方
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
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	11
3.1 荷重及び荷重の組合せ	11
3.2 許容限界	11
4. 耐震評価方法	12
4.1 地震応答解析	12
4.2 耐震評価	17
4.3 機能維持評価	17
4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮	18
5. 適用規格	18

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、V-1-1-8「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちV-1-1-8-3「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かった耐震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、基本設計方針に示す浸水防護施設、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。溢水防護に係る施設及び耐震B、Cクラス機器への基準地震動 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、V-2-別添2-2「溢水源としない耐震B、Cクラス機器の耐震性についての計算書」に、溢水防護に係る施設のうち漏えい検知及び隔離システム（以下「漏えい検知」という。）の具体的な計算の方法及び結果は、V-2-別添2-8「漏えい検知及び隔離システム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、V-2-別添2-7「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。

溢水防護に係る施設のうち、津波防護に関する耐震Sクラスの浸水防止設備でもある貫通部止水処置の具体的な計算の方法及び結果は、資料V-2-10-2-7「貫通部止水処置の耐震計算書」に示すことから、ここでは、浸水防護に関する配置計画を示す。

また、基準地震動による地震力に対し、止水性の維持を期待する逆流防止装置の耐震性については、評価対象が同一であるV-2-10-2-6「逆止弁の耐震性についての計算書」にて耐震性を確保されたものを採用することから、ここでは、浸水防護に関する配置計画を示す。

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水密扉及び浸水防止堰の基本方針書を、V-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V-2-別添2-4、5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等が、「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. 適用規格」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「4.5 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（主要設備リストに記載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

V-1-1-8-3「溢水評価条件の設定」にて算出している溢水源となり得る流体を内包する溢水源とならない耐震性B、Cクラス機器を評価対象施設とする。

評価対象施設のうち容器は、V-2-1-14-1「スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-2「横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-3「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示すスカート支持たて置円筒形容器、横置円筒形容器、平底たて置円筒形容器の構造を踏まえ、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。


評価対象施設のうちポンプ類は、V-2-1-14-4「横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-5「たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す横置ポンプ及びファンの構造を踏まえ、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。

評価対象施設のうち配管、弁及び支持構造物は、V-2-1-14-6「管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す配管、弁及び支持構造物の構造を踏まえ、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。


2.1.1 溢水防護に係る施設

資料V-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設定」の「4. 機能設計」にて設定している対象施設の配置計画を第2-1表及び第2-2表に、構造計画を第2-3表に示す。

第2-1表 貫通部止水処置の配置計画 (1/4)


設備名称	配置図
貫通部止水処置	

第 2-1 表 貫通部止水処置の配置計画 (2/4)

設備名称	配置図
貫通部止水処置	

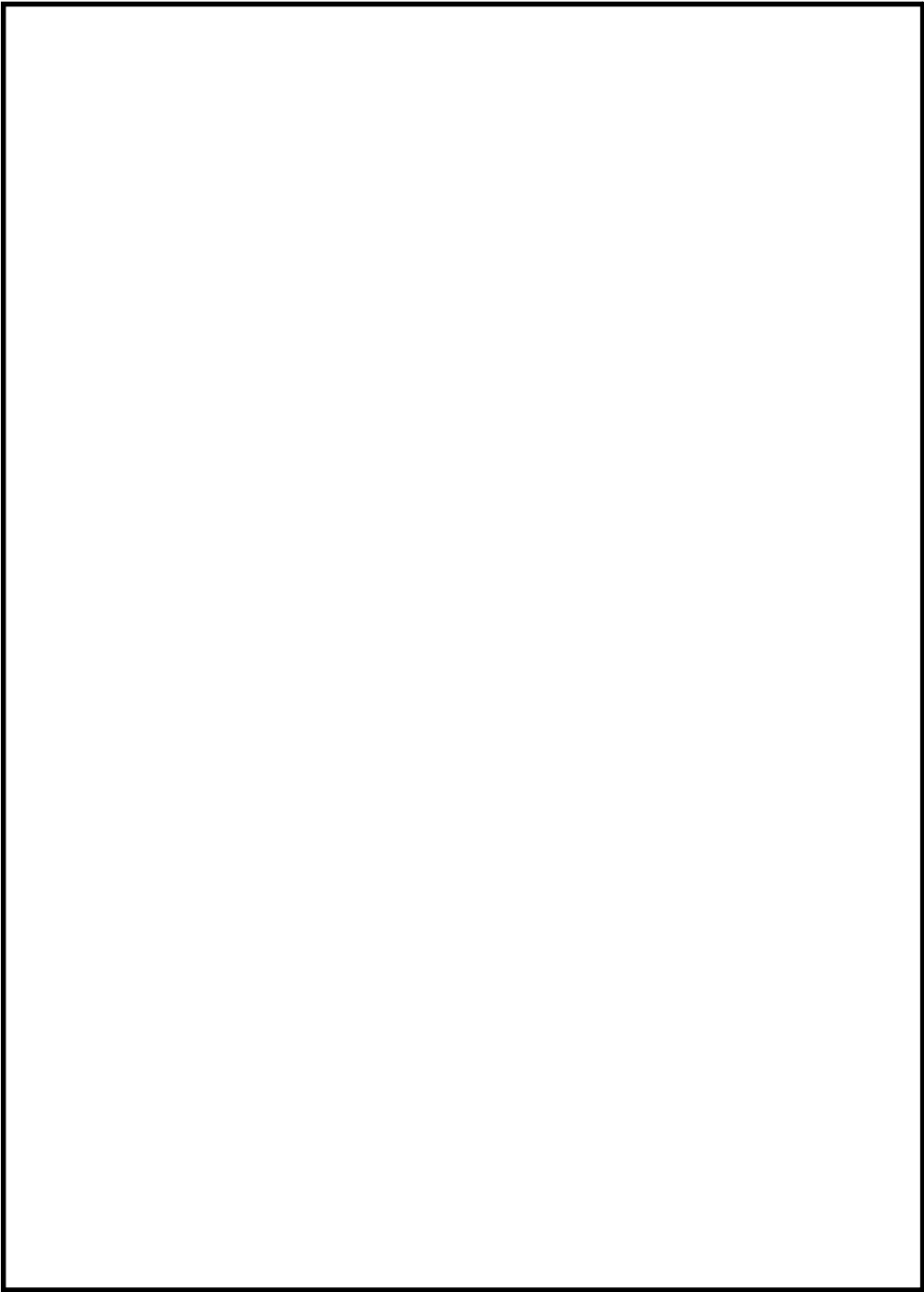
NT2 補② V-2-別添 2-1 R1

第 2-1 表 貫通部止水処置の配置計画 (3/4)

設備名称	配置図
貫通部止 水処置	

NT2 補② V-2-別添 2-1 R1

第 2-1 表 貫通部止水処置の配置計画 (4/4)

設備名称	配置図
貫通部止水処置	

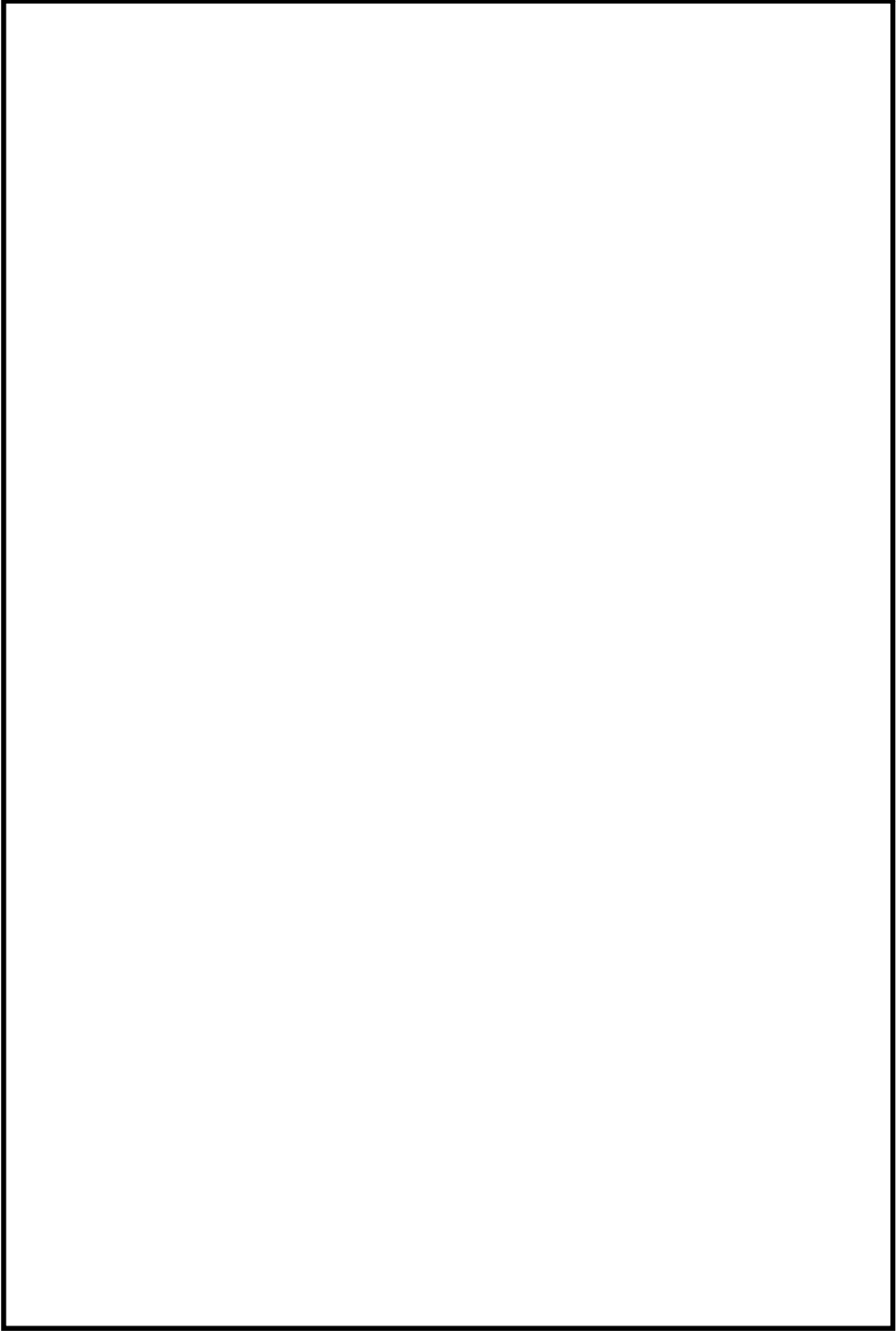
NT2 補② V-2-別添 2-1 R1

第2-2表 逆流防止装置の配置計画 (1/2)

設備名称	配置図
逆流防止装置	 <p style="text-align: center;">原子炉建屋原子炉棟 EL. 29.0 m</p> <p style="text-align: center;">● : 逆流防止装置 (床ドレンファンネル)</p>


NT2 補② V-2-別添 2-1 R1

第2-2表 逆流防止装置の配置計画 (2/2)

設備名称	配置図
逆流防止装置	


NT2 補② V-2-別添2-1 R1

第2-3表 漏えい検知の構造計画 (1/2)

設備名称	配置図
漏えい 検知	

NT2 補② V-2-別添2-1 R1

第2-3表 漏えい検知の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
漏えい検知			

NT2 補② V-2-別添2-1 R1

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，種類

荷重は、溢水起因の荷重と組合せはないため、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、溢水起因の荷重との組合せはないため、V-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。

3.2 許容限界

耐震B，Cクラス機器の許容限界は、溢水源とならない耐震B，Cクラス機器を資料V-1-1-8-3「溢水評価条件の設定」の「2.3 地震起因による溢水」において、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、V-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_{AS} の許容限界を準用する。

漏えい検知の許容限界は、構造強度設計上の性能目標として、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とともに電氣的機能を維持する設計とする。

したがって、基準地震動 S_S による地震力に対して、漏えい検出器を支持する架台及び固定する基礎ボルトが、V-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_{AS} の許容限界を準用する。

4. 耐震評価方法

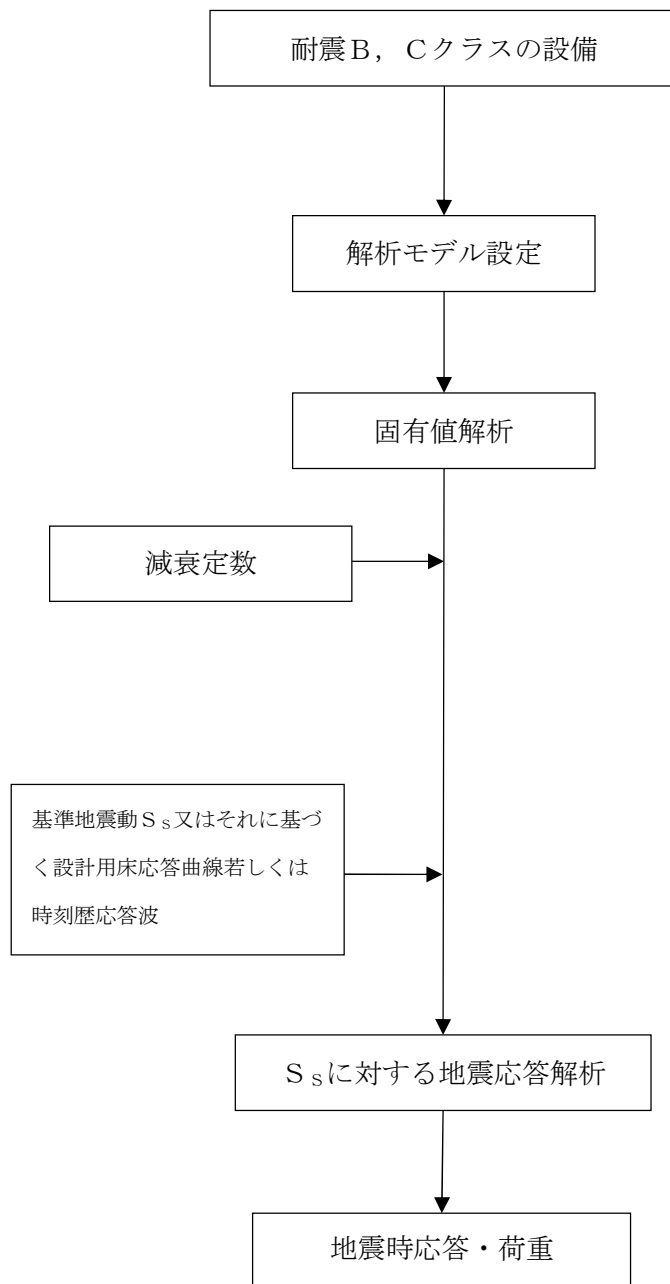
耐震B，Cクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は，「4.1 地震応答解析」の「4.2 耐震評価」及び「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

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。

漏えい検知の耐震評価に用いる地震荷重を算定するための地震応答解析は，V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて基づき，漏えい検知の設置位置における地震応答解析結果を用いる。

第4-1図に耐震B，Cクラス機器の地震応答解析の手順を示す。



第4-1図 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クラス機器の地震応答解析における入力地震動は、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」の「4. 設計用床応答曲線（ S_s ）」に設定している当該設備設置床の基準地震動 S_s における設計用床応答曲線（ S_s ）及び漏えい検知の設置位置における最大応答加速度から漏えい検知の設計震度を設定する。なお、漏えい検知の固有振動数については、振動測定又はモデル計算を行い、固有振動数が20Hz以上であることを確認する。

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（床置き機器等）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。また、スペクトルモーダル解析法を用いる場合は地盤物性等のばらつきを適切に考慮する。

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。

(1) 解析方法

- ・定式化された評価式を用いた解析法（床置き機器等）
- ・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

タンク、熱交換器、脱塩塔など、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係数は、V-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 4601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。具体的には第4-1表に示す値を用いる。

第4-1表 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「(3).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、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、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、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 4601-1991 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 4601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

V-2-別添2-2「溢水源としない耐震B，Cクラス機器の耐震性についての計算書」及びV-2-別添2-4「漏えい検知及び隔離システム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、V-2-1-14-1「スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-2「横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-3「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-4「横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-5「たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」、V-2-1-14-6「管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法及び、「原子力発電所耐震設計技術指針」（J E A G 4601-1987）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、実機の構造モデルをFEMの解析方法を用いた評価を行う。

(2) 漏えい検知

評価対象の漏えい検知については、V-2-1-14-9「計器スタンションの耐震計算について」を踏まえた評価を行う。

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、V-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及び止水性の維持に係る耐震計算の方針は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」及び「4.1 動的機器の機能維持」を準用する。

4.3.1 動的機能の維持

地震時及び地震後に動的機能が要求される機器は、V-1-1-8「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちV-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設定」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、基準地震動 S_s による当該設備床、設計用床応答曲線若しくは設計用最大床加速度から求まる評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1) 漏えい検知（漏えい検出器）

漏えい検知を構成する漏えい検知器は、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対して、固有振動数から求めた応答加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認する。

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、V-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. 適用規格

適用する規格、指針等を以下に示す。

- ・ 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（J S M E S N C 1-2005/2007）日本機械学会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針」（J E A G 4601-1987）日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」（J E A G 4601・補-1984）日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針」（J E A G 4601-1991追補版）日本電気協会