【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電11　R5
提出年月日	令和4年9月16日

設工認に係る補足説明資料

地震応答解析における材料物性のばらつきに伴う影響確認について（機器，配管系）

１．文章中の下線部は，Ｒ４からＲ５への変更箇所を示す。
２．本資料（Ｒ５）は，令和４年１月 20 日に提示した「地震応答解析における材料物性のばらつきに伴う影響確認について　Ｒ４」に対し，基本方針との横並びの観点で適正化を図ったものである。

目　次

1. 概要 …… 1
2. 影響評価方針 …… 1
3. 影響評価内容 …… 2
4. 影響評価結果 …… 6

添付　剛な設備のばらつき検討に用いる地震力について

別紙１　　再処理施設　安全冷却水Ｂ冷却塔における材料物性のばらつきに伴う影響評価結果

後次回以降申請する機器・配管系については，各申請評価回次に影響結果を示す。

■■■■■：商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は，再処理施設及びMOX燃料加工施設に対する，第１回設工認申請のうち，以下の添付書類に示す耐震計算書の評価結果を補足説明するものである。

・再処理施設　添付書類「Ⅳ－２－１－２－１－１－１　安全冷却水Ｂ冷却塔の耐震計算書」

設備の耐震評価に用いる設計用床応答曲線(FRS)については，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（以下，「JEAG4601」という。）に基づき建物・構築物の地震応答解析の結果に影響を及ぼす建屋物性のばらつき（コンクリート強度，補助壁）及び地盤物性のばらつきによる変動を考慮し，床応答曲線を周期軸方向に±10％の拡幅処理した応答を設計用床応答曲線(FRS)として設定しており，作成方法については添付書類「Ⅳ－１－１－６設計用床応答曲線の作成方針」（以下，「FRS作成方針」という。）に示している。

ここでは，添付書類「Ⅳ－２－１－１　建物・構築物」（以下，「建物・構築物の地震応答計算書」）に示した建物・構築物の建屋物性のばらつき及び地盤物性等のばらつきを考慮した地震応答解析（以下，「材料物性のばらつき」という。）の応答波が，添付書類「Ⅳ－２－１　再処理設備本体等に係る耐震性に関する計算書」（以下，「耐震計算書」という。）及び添付書類「Ⅳ－１－１－11　配管系の耐震支持方針」に示す標準支持間隔（以下，「定ピッチスパン」という。）に対して影響を与えないことの影響評価の実施内容と影響評価結果について示す。

2. 影響評価方針

設備の耐震評価については，複数ある基準地震動 Ss 若しくは弾性設計用地震動 Sd の建屋応答から FRS 作成方針に基づき作成した設計用床応答曲線(FRS)又は最大床応答加速度(ZPA)による地震力(以下，「設計用地震力」という。）を用いて評価を行っている。

これに対する材料物性のばらつきの影響評価の方法としては，耐震計算書に示している耐震安全性に影響を与えないことの評価として，設計用地震力と材料物性のばらつきを考慮した地震力（以下，「ばらつき地震力」という。）の比較により行う。

なお，設備の耐震評価のうち加速度時刻歴を用いて評価している設備については，材料物性のばらつきによる加速度時刻歴を用いた詳細評価を行い耐震安全性に影響を与えないことを確認する。

材料物性のばらつきの検討ケースについては，添付書類「Ⅳ-２-１-１建物・構築物」に示している検討ケースを適用して影響評価を実施する。検討ケースについては第２-１表に示す。

第２－１表　建物・構築物の材料物性のばらつき検討ケース

		建屋剛性		地盤物性	ばらつきCASE
		コンクリート強度	補助壁	地盤のせん断波速度	
材料物性のばらつき	地盤物性の変動による影響	設計基準強度	非考慮	地盤物性のばらつきを考慮したケース（＋１σ）	CASE1
		設計基準強度	非考慮	地盤物性のばらつきを考慮したケース（－１σ）	CASE2
	建屋剛性の変動による影響	実強度	考慮	標準地盤	CASE3
基本ケース※（参考）		設計基準強度	非考慮	標準地盤	－

※耐震計算書の算出に用いている設計用地震力のケース

3. 影響評価内容

ばらつき地震力に対する評価内容としては，設計用地震力とばらつき地震力の重ね合わせを行い，設計用地震力に対してばらつき地震力が超過する場合は，超過する周期帯（以下，「超過周期帯」という。）に固有周期を有する設備を特定し，耐震安全性に影響がないことの評価を行う。

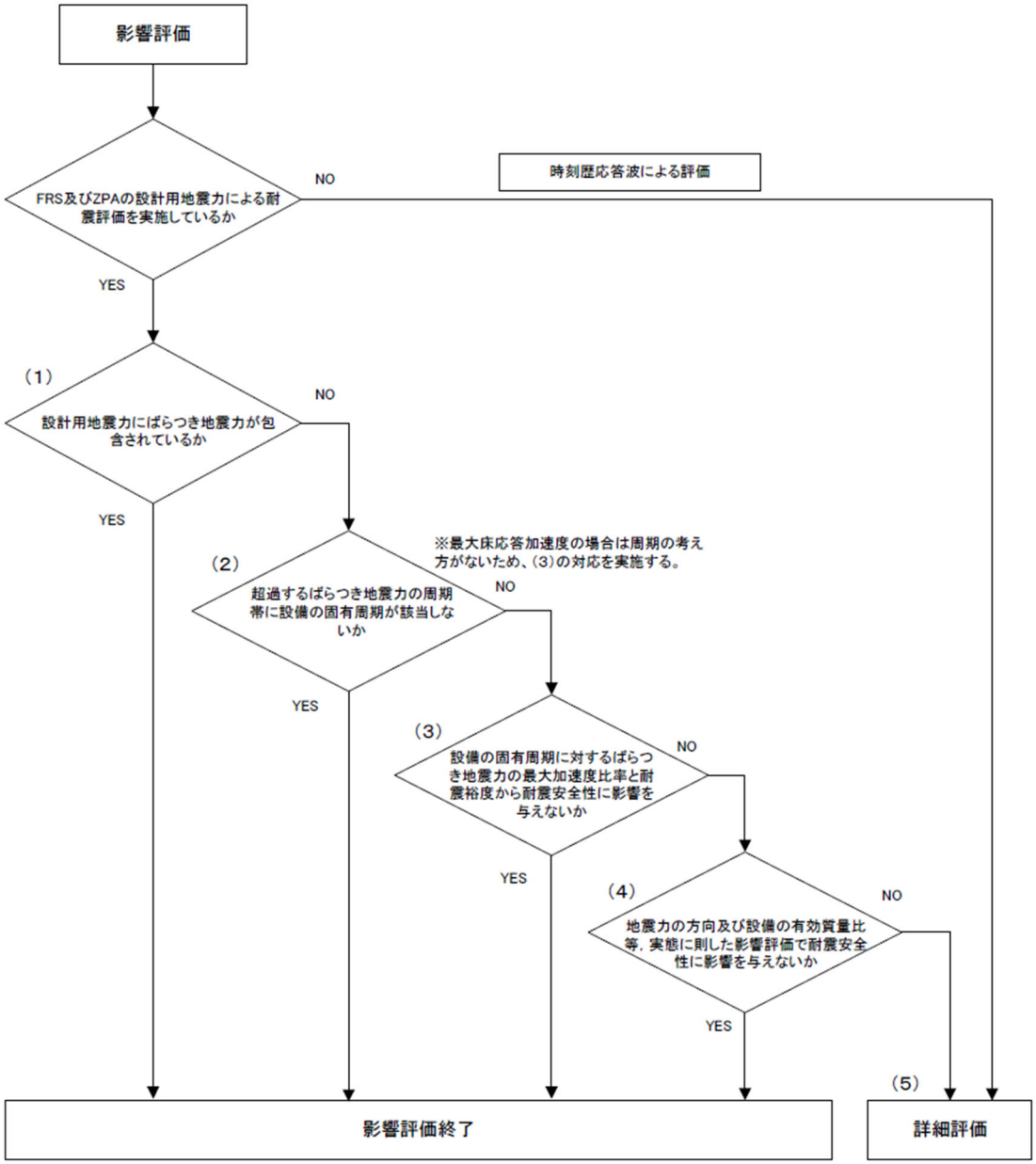
なお，剛な機器においては，設計配慮として設計用地震力の最大床応答加速度(ZPA)に 1.2 倍した値を用いて耐震評価を実施していることから，ばらつき地震力の最大床応答加速度(ZPA)については，1.0 倍※した値を用いて最大床応答加速度(ZPA)の加速度比率を用いた影響評価を行う。

材料物性のばらつきによる影響評価については，耐震計算書に示す設備毎の評価結果に対して行う。

なお，設計方針である定ピッチスパンについては，標準支持間隔の最大応力比（算出応力／許容応力）の結果について示す。

ばらつき地震力に対する影響評価対応フローを第３－１図に示し,影響評価における対応内容の例を第３－２図に示す。

※最大床応答加速度の 1.0 倍を用いることに対する考え方については，添付「剛な設備のばらつき検討に用いる地震力について」を参照。



第３－１図　材料物性のばらつきの影響評価対応フロー

(1) 設計用地震力及びばらつき地震力（ばらつき CASE１～３）の重ね合わせを行い設計用地震力にばらつき地震力が包含されていることの確認を行う。
「影響評価（１）：設計用地震力及びばらつき地震力の重ね合わせによる影響評価」

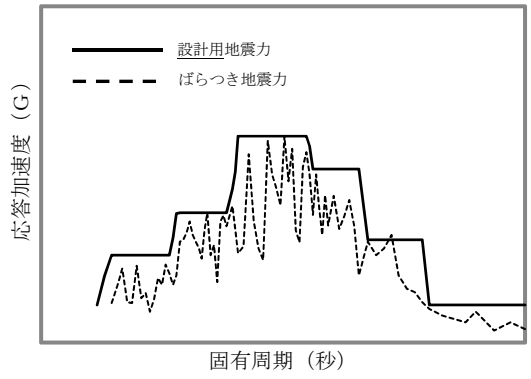
(2) 超過周期帯に設備の固有周期が該当しないことの確認として，設備の固有周期の各次数が超過周期帯に合致しないことの確認を行う。
「影響評価（２）：超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響評価」

(3) 設備の固有周期の各次数で超過周期帯に合致する次数における最大加速度比率を，耐震計算書に示す最大の算出応力に乗じ算出された応力比（算出応力／許容応力）が 1.00 以下であることの影響評価を行う。
「影響評価（３）：設備の固有周期の各次数における最大加速度比率を用いた影響評価」

(4) 耐震評価における水平，鉛直方向の地震力に各方向の最大加速度比率を用いた影響評価等，実態に則した影響評価で応力比（算出応力／許容応力）が 1.00 以下であることの確認を行う。
「影響評価（４）：地震力の方向等，耐震評価内容に応じた影響評価」

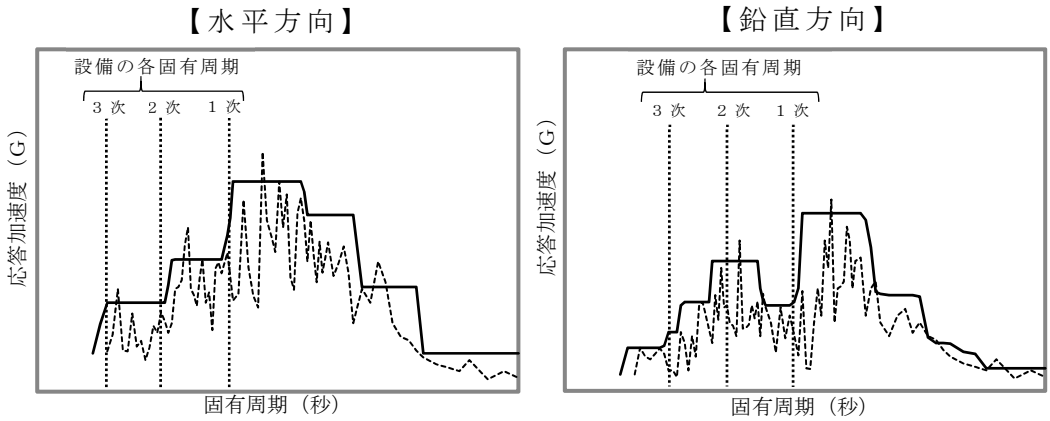
(5)耐震設計の基本方針に基づいた詳細評価を行い,評価結果が許容限界以下であることの確認を行う。
「影響評価（５）：詳細評価」

＜(1) 設計用地震力との重ね合わせ及び比較による影響評価の例＞



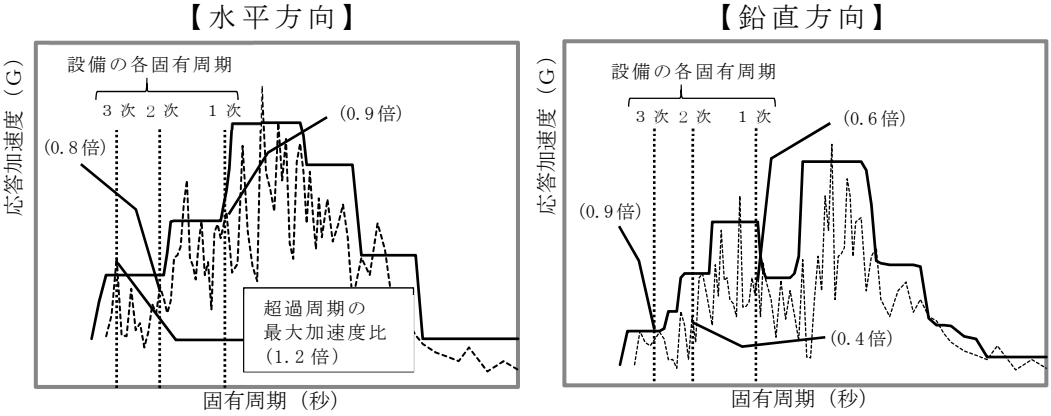
設計用地震力の全周期でばらつき地震力が包含されていることの確認を行う。包絡される場合は設備の耐震安全性に影響を与えない。

＜(2) 超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響評価の例＞



設計用地震力を超過する周期帯と設備の各次数における固有周期が該当しないことを確認する。

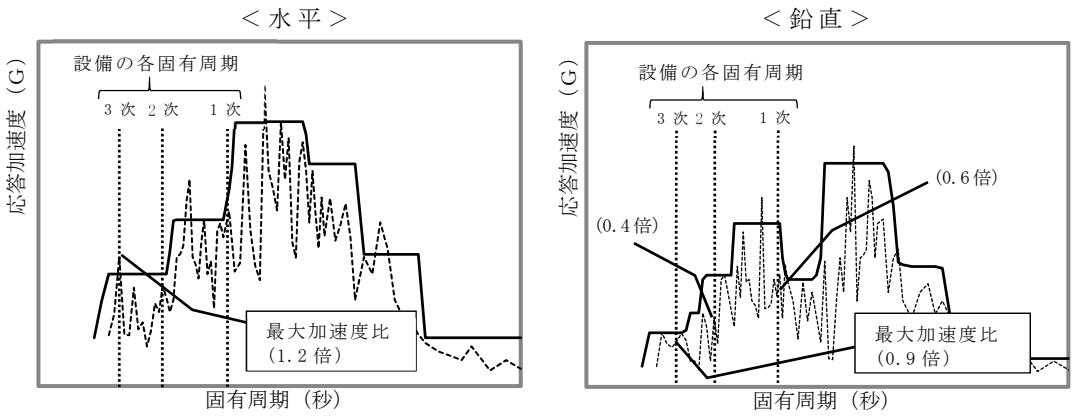
＜(3) 設備の固有周期の各次数における最大加速度比率を用いた影響評価の例＞



設備の固有周期の各次数における超過周期帯の最大加速度比率を用いて，耐震計算書に示す算出応力に乗じ算出された応力比（算出応力／許容応力）が 1.00 以下であることを確認する。

第３－２図　影響評価における対応内容の例（１/２）

＜(4) 地震力の方向等，耐震評価内容に応じた影響評価の例＞



耐震評価における水平，鉛直方向の地震力に各方向の最大加速度比率を用いた影響評価等，実態に則した影響評価で応力比（算出応力／許容応力）が 1.00 以下であることの確認を行う。

※本例は機器の影響評価方法の一例として示すものであって，具体的な対応は対象設備の評価内容に応じた影響評価を行う。

第３－２図　影響評価における対応内容の例（２／２）

4. 影響評価結果

影響評価方針に基づき，設計用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ及び比較による設備の耐震安全性に影響を与えないことの設備毎の影響評価の実施内容及び影響評価結果については別紙に示す。

添付

剛な設備のばらつき検討に用いる
地震力について

1. はじめに

機電設備の耐震設計において用いる地震動は，設備の固有周期が剛ではない場合と，剛である場合によって異なる。剛ではない設備は設計用床応答曲線（以降「FRS」と称す。）を用い，剛な設備は最大床加速度（以降「ZPA」と称す。）を用いている。

剛ではない設備の設計用地震力は，地盤物性や建屋剛性などの床応答スペクトルに変動を与える因子の変動をカバーするため，周期軸方向に±10%の拡幅を行ったFRSを用いている。

一方，剛な設備の構造強度評価に用いる設計用地震力はZPAを1.2倍にした1.2ZPAを用いており，1.2倍の設計余裕を考慮している。

本資料では，剛な設備に用いる 1.2ZPA に対する見解及び地震動のばらつき検討における検討地震力についてまとめたものである。

2. 剛な設備に適用する1.2ZPAに対する見解

2.1 剛な設備に適用する地震力

剛な設備に適用する地震力について，JEAG4601の年度版によって表現が異なることから，第2-1表に整理を行った。

第2-1表　剛な設備に適用する動的地震力

出典	動的地震力
JEAG4601-1970（P.100）	1.2ZPA以上
JEAG4601・補-1984（P.29）	具体的な記述無し
JEAG4601-1987（P.511）	1.0ZPA※
JEAG4601-1991追補版（P.203）	1.0ZPA

※　「機器の据付位置における建物の応答加速度を基に定まる震度により地震力を算定」との記載。

2.2 1.2ZPAに対する見解

原子力発電所導入当時においては，動的解析が発展途上でありかつ基準地震動による動的地震力が静的地震力と大差なく，更に剛性が高い機器においては静的解析が基本であったことから，動的解析を省略するための設計の方法（簡便法）として，静的地震力と1.2ZPAの大きい方で静的に耐震設計を実施していた。

その後，動的解析の適用を重ね信頼性が確認されるとともにJEAG4601-1987では剛な設備に適用する動的地震力として1.2ZPAの記載

はなくなったが，当社は剛な設備に対する静的な解析において，従来にならい静的地震力と 1.2ZPA の大きい方で静的な耐震計算を実施している。

また，JEAG4601-1991 において剛な機器の動的機能維持評価に用いる地震力が，1.0ZPA とする旨の記載となっており，これは動的機能維持評価法が加振試験等の詳細検討において確認された機能確認済み加速度又は詳細評価法によるものであることから，評価法に対する設計余裕を考慮する必要がないものと判断されたものと解釈している。

これらより，1.2ZPA において考慮している 1.2 の係数は，従来から慣例的に事業者が設計配慮として考慮している係数であり，設計地震力に対し設定している設計余裕である。

3. 地震動のばらつき検討について

設計用床応答曲線に対するばらつきの検討は，設計用地震力に対しての影響確認を行っているものである。

影響確認としては，ばらつきの影響が設計余裕に収まっているかの確認を行うことにより，設計用地震力に対しての影響有無を判断するものであることから，設計用地震力の 1.2ZPA とばらつき検討の ZPA を比較することで目的に沿うものと考える。

4. まとめ

剛な機電設備の設計用地震力として考慮している 1.2ZPA は，規格基準上で求められたものではなく事業者が慣例により設定している設計余裕であることから，設計用地震力に対するばらつきの検討に用いる地震力に対して 1.2 を乗じる必要はなく 1.0ZPA との比較で問題ない。

別紙

再処理施設 設工認に係る補足説明資料 別紙リスト

設工認に係る補足説明資料 地震応答解析における材料物性のばらつきに伴う影響確認について（機器，配管系）

資料No.	名称	提出日	Rev	備考
別紙-1	再処理施設 安全冷却水B冷却塔における材料物性のばらつきに伴う影響評価結果	9/16	5	
別紙-2				
別紙-3				
別紙-4				
別紙-5				
別紙-6				
別紙-7				
別紙-8				
別紙-9				
別紙-10				
別紙-11				
別紙-12				
別紙-13				
別紙-14				
別紙-15				

別紙 1

再処理施設　安全冷却水Ｂ冷却塔における材料物性のばらつきに伴う影響評価結果

目　次

1.　概要 ····· 別紙 1-1
2.　影響評価方針 ····· 別紙 1-1
3.　影響評価の実施内容 ····· 別紙 1-1
4.　影響評価結果 ····· 別紙 1-5
5.　まとめ ····· 別紙 1-5

1. 概要

本資料は,再処理施設の安全冷却水Ｂ冷却塔に対する材料物性のばらつきの影響評価の実施内容及び評価結果について示すものである。

2. 影響評価方針

安全冷却水Ｂ冷却塔において,本文記載の「２．影響評価方針」及び「３．影響評価内容」に示す材料物性のばらつきの影響評価フローに従い,耐震安全性に影響を与えないことを確認する。

3. 影響評価の実施内容

安全冷却水Ｂ冷却塔のうち,剛ではない支持架構については設計用地震力とばらつき地震力の重ね合わせによる比較を行い,剛である支持架構搭載機器については設計用地震力の最大床応答加速度を 1.2 倍した加速度とばらつき地震力の最大床応答加速度の比較を行う。

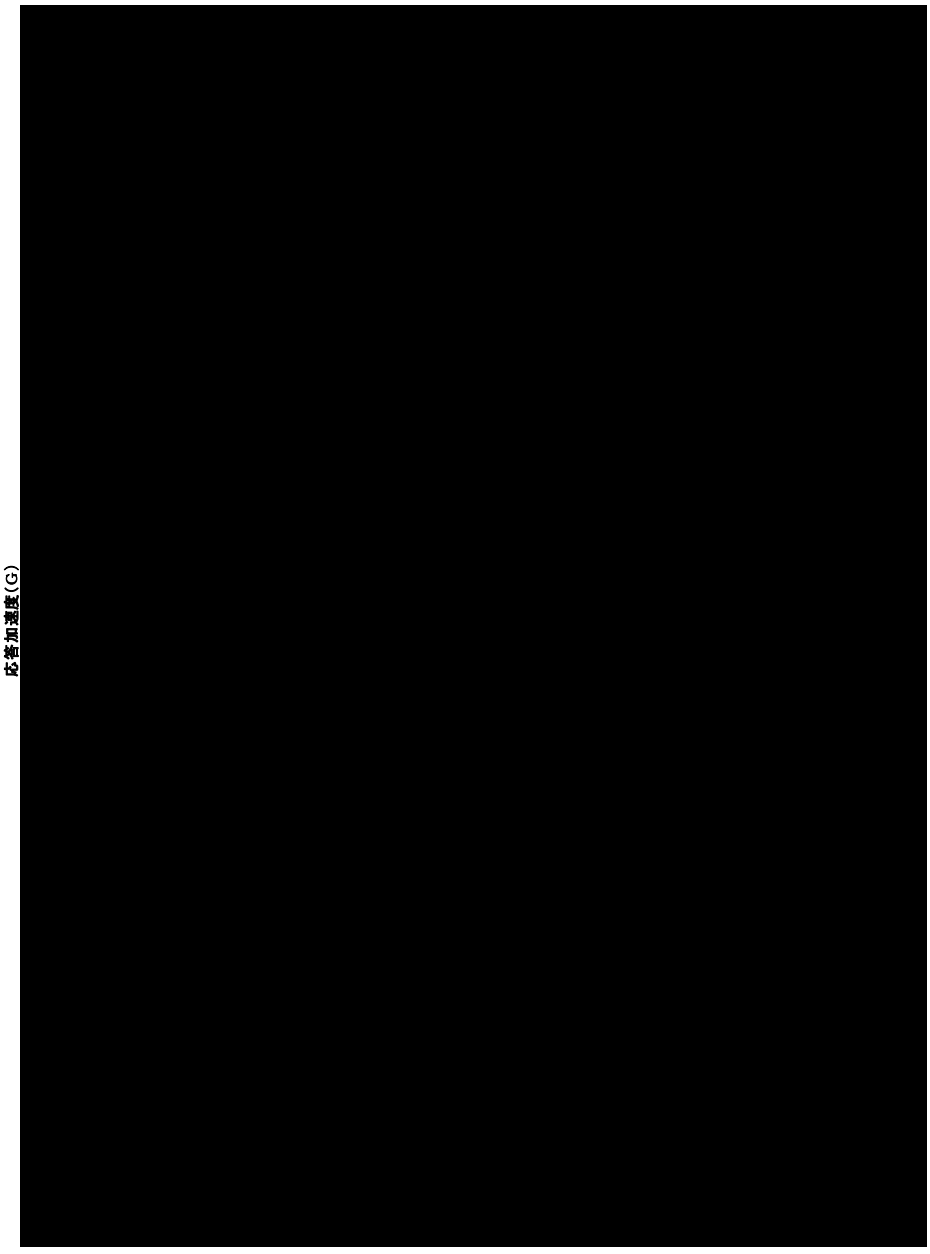
（１）設計用地震力との重ね合わせ及び比較による評価『影響評価（１）』

支持架構については，第３－１図に示すとおり，設計用地震力とばらつき地震力の重ね合わせを行った結果，[redacted]を確認した。

また，支持架構搭載機器については，第３－１表に示すとおり，最大床応答加速度の比較を行った結果，全ての加速度比率が 1.00 以下であることから，支持架構搭載機器への影響がないことを確認した。

設計用床応答曲線

建屋名： 安全冷却水B冷却塔基礎
地震波名 :SsD_Case1,2,3
方向： EW/NS
床レベル [redacted] (M)
減衰定数 [redacted] (%)

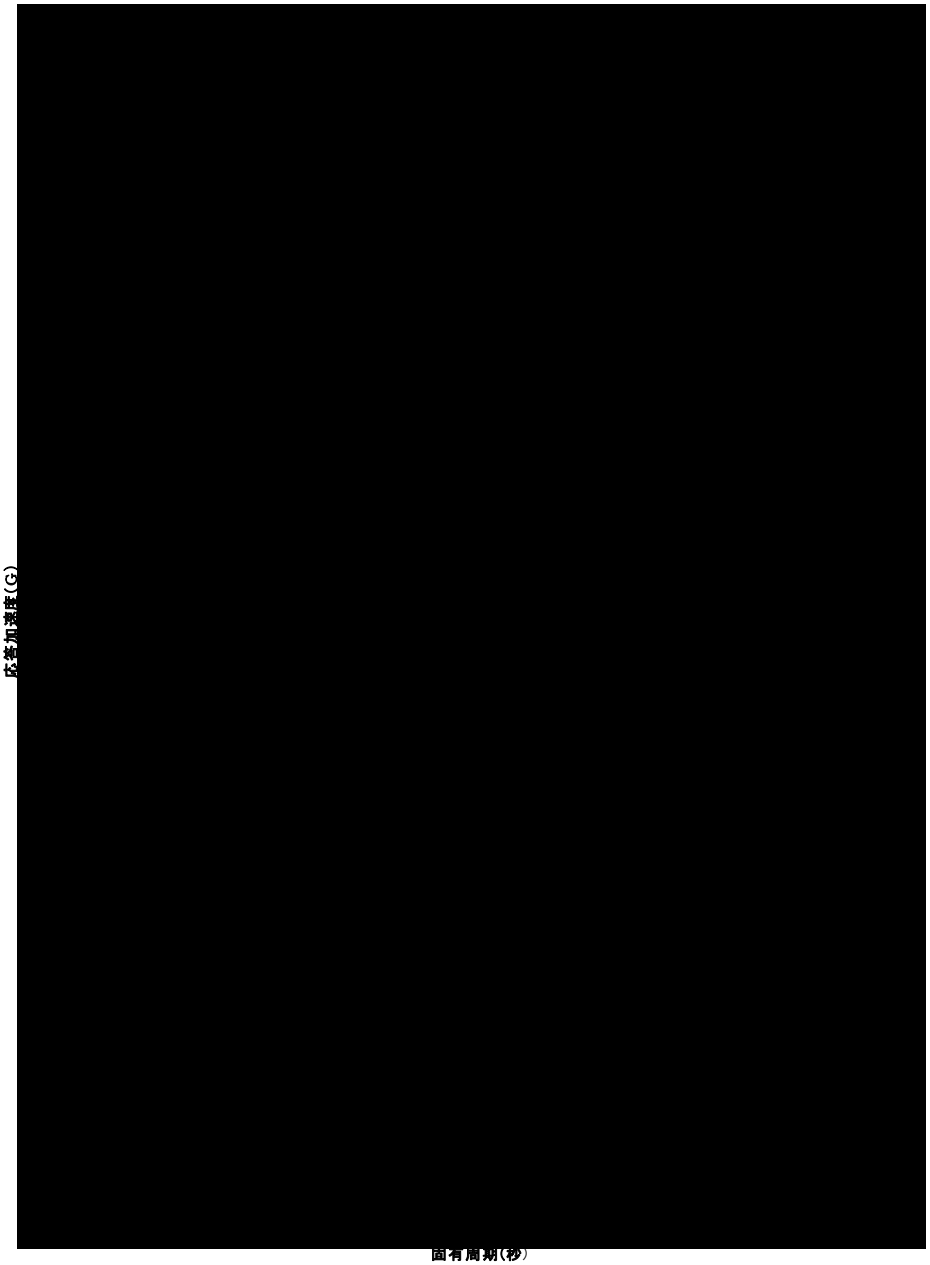


第３－１図　設計用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ結果（１／２）

別紙 1-2

設計用床応答曲線

建屋名： 安全冷却水B冷却塔基礎
地震波名 :SsD_Case1,2,3
方向： UD
床レベル [redacted] (M)
減衰定数 [redacted] (%)



第３－１図　設計用とばらつき地震力との重ね合わせ結果（２／２）

別紙 1-3

第３－１表　基準地震動 Ss における最大床応答加速度(ZPA)の比較結果

	EL（m）	方向	設計用地震力（ZPA×1.2）	ばらつき地震力（ZPA×1.0）			加速度比率
				ばらつき CASE１	ばらつき CASE2	ばらつき CASE3	
冬期運転側ベイ	[redacted]	EW	[redacted]				
		NS					
		UD					
	[redacted]	EW					
		NS					
		UD					
	[redacted]	EW					
		NS					
		UD					
	[redacted]	EW					
		NS					
		UD					
冬期休止側ベイ	[redacted]	EW					
		NS					
		UD					
	[redacted]	EW					
		NS					
		UD					

別紙 1-4

（２）超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響評価『影響評価（２）』

支持架構について，[redacted]を確認した。

（３）設備の固有周期の各次数における最大加速度比率を用いた影響評価『影響評価（３）』

支持架構について，設備の固有周期の各次数と超過周期帯が合致する場合，合致する箇所の最大応力加速度比率を耐震計算書に示す最大算出応力に乗じ算出された応力比が 1.00 以下であることの確認を行った。

4. 影響評価結果

影響評価の実施内容を踏まえた設備の耐震安全性の耐震評価の結果を第３－３表に示す。

5. まとめ

安全冷却水Ｂ冷却塔のうち，支持架構については，影響評価フローに示す「(3) 設備の固有周期の各次数における最大加速度比率を用いた影響評価」にて耐震計算書に示す最大算出応力に加速度比率を乗じた結果，応力比が 1.00 以下であることを確認した。

また，支持架構搭載機器については，影響評価フローに示す「(1) 設計用地震力との重ね合わせ及び比較による評価」にて加速度比率が 1.00 以下であることを確認した。

以上のことから，材料物性のばらつきを考慮した場合においても，耐震安全性に影響がないことを確認した。

第３－３表　『影響評価(3)』設備の固有周期の各次数における最大加速度比率を用いた影響評価結果

Ⅳ－2　再処理施設の耐震性に関する計算書 Ⅳ－1－1－11　配管系の耐震支持方針＊1						確認結果＊1＊2											
添付書類番号	添付書類名称		算出応力(MPa)	許容応力(MPa)	固有周期(s)	簡易評価									（５）詳細評価		
						設計用地震力	ばらつき地震力	加速度比率	（１）	（２）	（３）		（４）		算出応力(MPa)	応力比	
											算出応力(MPa)	応力比	算出応力(MPa)	応力比			
Ⅳ－2－1－2－1－1－1	安全冷却水Ｂ冷却塔の耐震計算書	支持架構	[redacted]														
		支持架構搭載機器＊3															
Ⅳ－1－1－11－1 別紙 1	安全機能を有する施設の直管部標準支持間隔「安全冷却水Ｂ冷却塔」																

注＊1：　「Ⅳ－1－1－11　配管系の耐震支持方針」にうち，ダクトの標準支持間隔については，発生応力を「発生曲げモーメント」，許容応力を「許容座屈モーメント」と読み替え，また，機能維持要求のある設備については，算出応力を「評価用加速度」，許容応力を「機能確認済加速度」と読み替える。

注＊2：　「第３－１図　材料物性のばらつきの影響評価対応フロー」に基づき実施した影響評価の対応項目に対する結果を示す。

注＊3：　支持架構搭載機器については，すべて剛な設備であることから支持架構搭載機器のうち最大の応力が発生している設備の結果を示す。