

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電11 R <u>7</u>
提出年月日	令和4年 <u>11</u> 月 <u>29</u> 日

## 設工認に係る補足説明資料

### 地震応答計算書に関する

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，R 6 から R 7 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R 7)は，令和4年10月7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 R 6」に対し，他条文との紐づけに対する記載の拡充及び資料の体裁について見直しを行ったものである。

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 影響評価方針 .....	1
2.1 設計用床応答曲線を用いて設計している設備への影響評価 .....	2
2.2 最大床応答加速度を用いて設計している設備への影響評価 .....	2
2.3 加速度時刻歴を用いて設計している設備への影響評価 .....	2
3. 影響評価内容 .....	3
4. 影響評価結果 .....	7

添付 1 剛な設備のばらつき検討に用いる地震力について

後次回以降申請する機器・配管系については、各申請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（以下「当社施設」という。）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について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」

「基本設計方針」の建物・構築物の動的解析法において、地震応答解析に対する材料のばらつきの変動幅を適切に考慮することが記載しており、添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に示す動的解析法の記載内容には、設計用床応答曲線の作成方法として添付書類「IV-1-1-6 設計用床応答曲線の作成方針」に展開している。

展開先である添付書類「IV-1-1-6 設計用床応答曲線の作成方針」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することを踏まえ、床応答スペクトルを周期軸方向に±10%の拡幅処理した応答を設計用床応答曲線（FRS）とすることを示している。

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」及び添付書類「IV-4-2 火災防護設備の耐震性に関する計算書」（以下「耐震計算書」という。）、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法（以下「定ピッチスパン法」という。）の設計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。

なお、本資料で示す内容については当社施設の後次回申請設備についても適用するものとし、廃棄物管理施設については別途整理するものとする。

また、本資料は第 1 回申請範囲を対象とした説明内容を示しており、後次回申請範囲については当該申請時において記載を拡充していく。

## 2. 影響評価方針

材料物性のばらつきについては、設備の耐震設計に考慮していることから、耐震設計の妥当性確認を目的として、材料物性のばらつきを考慮した建物・構築物の地震応答解析の結果に対する設備の評価手法に合わせた影響評価を行う。

2.1 設計用床応答曲線を用いて設計している設備への影響評価

設計用地震力の設計用床応答曲線と材料物性のばらつきを考慮した建物・構築物の地震応答解析の結果から作成した床応答スペクトルの比較により影響評価を行う。

2.2 最大床応答加速度を用いて設計している設備への影響評価

最大床応答加速度を適用している剛な設備については、設計配慮として静的地震力に係数 1.2 倍していることに倣い、最大床応答加速度に 1.2 倍した値を用いた耐震設計を実施していることから、設計用地震力の最大床応答加速度と材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析による結果を用いた最大床応答加速度に 1.0 倍\*した値を用いて加速度比較により影響評価を行う。

注記 \*：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 1 「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。

2.3 加速度時刻歴を用いて設計している設備への影響評価

加速度時刻歴を用いて評価している設備については、該当設備の申請に合わせて説明する予定であり次回以降に詳細を説明する。

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 2.3-1 表に示す。

第 2.3-1 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	-

注記 \*：耐震計算書の算出に用いている設計用地震力のケース

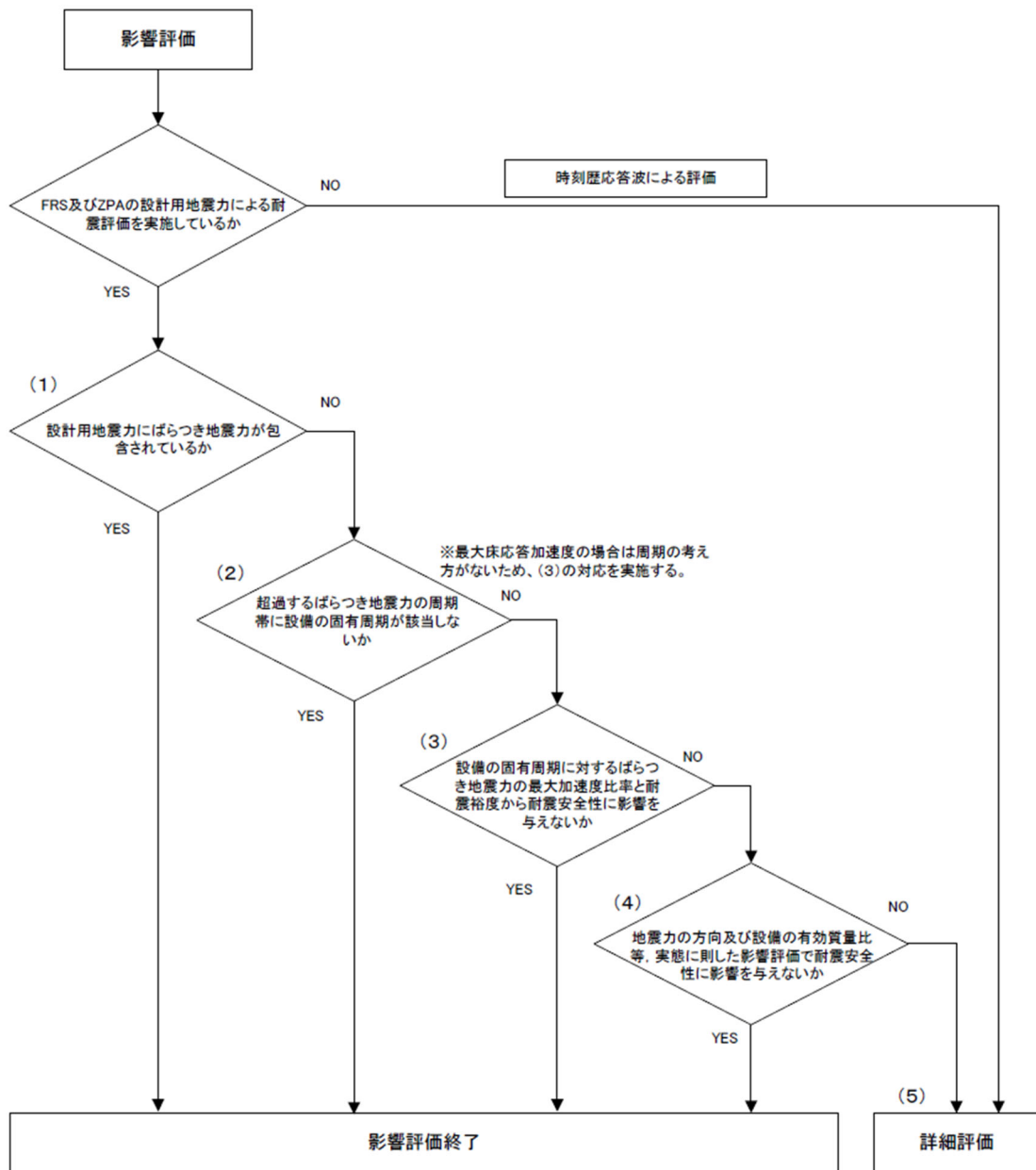
### 3. 影響評価内容

材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析の結果を踏まえた応答スペクトル及び最大床応答加速度(以下「ばらつき地震力」という。)に対する影響評価内容としては、設計用地震力とばらつき地震力の加速度比較を行い、設計用地震力に対してばらつき地震力の加速度が超過する場合は、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、超過周期帯の最大加速度比率を用いて耐震安全性に影響がないことの評価を行う。

機能維持が要求される設備に対して加速度が超過する場合は、超過周期帯に固有周期を有する設備を特定し、超過周期帯の最大加速度比率を用いて耐震安全性に影響がないことの評価を行う。

定ピッチスパン法による標準支持間隔については、添付書類「IV-1-1-11-1 配管の耐震支持方針」において谷埋め及びピーク保持を考慮した設計用床応答曲線(FRS)により設計していることから、谷埋め及びピーク保持した設計用床応答曲線とばらつき地震力の床応答スペクトルの加速度比較を行い、上述と同様に超過する場合は、超過周期帯の最大加速度比率を用いて耐震安全性に影響がないことの評価を行う。

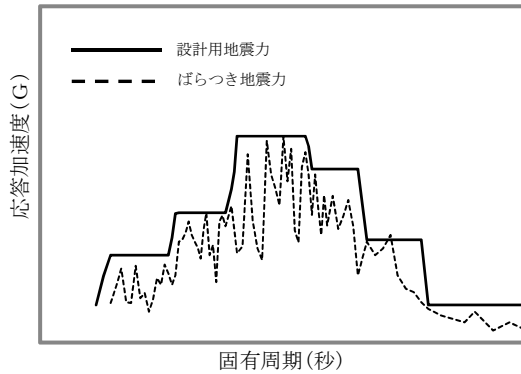
具体的なばらつき地震力に対する影響評価の対応については、第3-1図に示し、影響評価における対応内容の例を第3-2図に示す。



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含ま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、設備の各次数の固有周期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) 設備の各次数の固有周期で超過周期帯に合致する最大加速度比率を算出して、耐震計算書に示す荷重の組合せによって求められた算出応力又は評価用地震力に乘じ、許容応力以下又は機能確認済加速度以下であることの影響評価を行う。  
「影響評価(3): 設備の各次数の固有周期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求められた算出応力が許容応力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、評価結果が許容応力以下であることの確認を行う。  
「影響評価(5): 詳細評価」

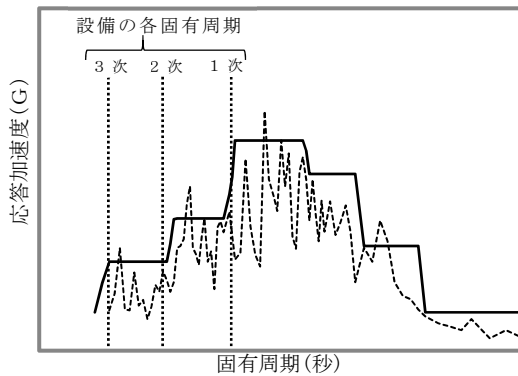
< (1) 設計用地震力との重ね合わせ及び比較による影響評価の例 >



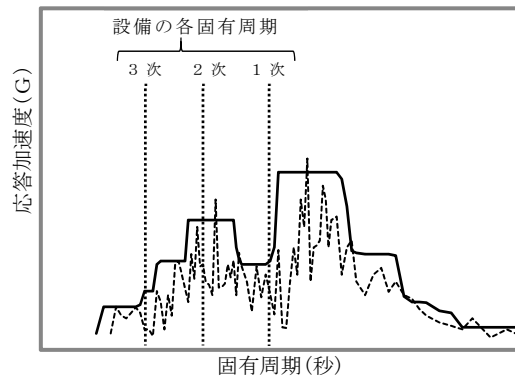
設計用地震力の全周期でばらつき地震力が含まれていることの確認を行う。含まれる場合は設備の耐震安全性に影響を与えない。

< (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 >

【水平方向】



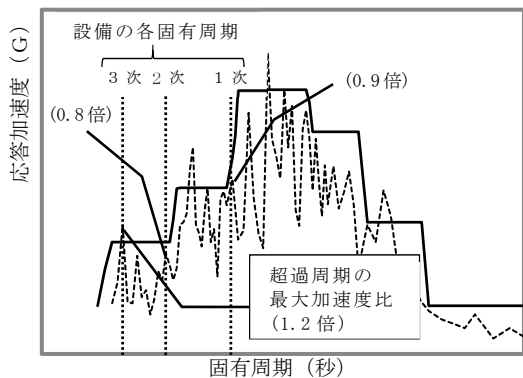
【鉛直方向】



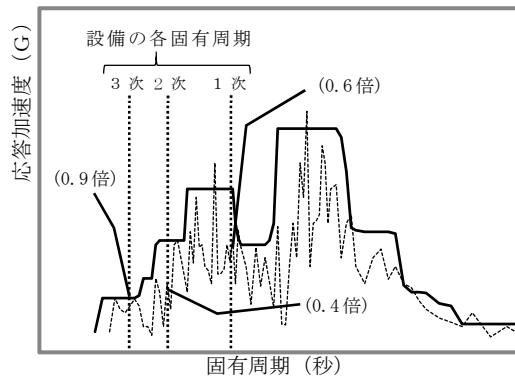
設計用地震力を超過する周期帯と設備の各次数における固有周期が該当しないことを確認する。

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

【水平方向】



【鉛直方向】



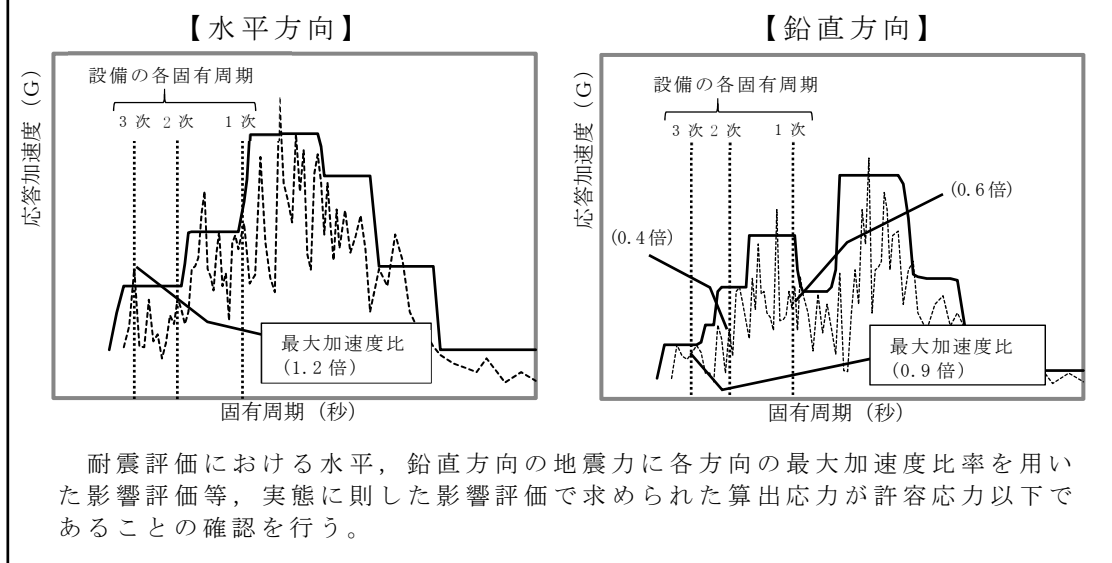
設備の各次数の固有周期で超過周期帯に合致する最大加速度比率を算出して、耐震計算書に示す荷重の組合せによって求められた算出応力又は評価用地震力に乘じ、許容応力以下又は機能確認済加速度応以下であることの影響評価を行う。

注記 \* : 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 (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 >



注記 \* : 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比較による設備の耐震安全性に対して影響評価した結果，影響がないことを確認した。各建屋の影響評価の実施内容及び評価結果については別紙に示す。

なお，影響評価結果の示し方については，耐震計算書に示す設備ごとの評価結果に対して最大応力比(算出応力/許容応力)の結果について示す。

設計方針である定ピッチスパン法による標準支持間隔については，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。

添付 1

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(以下「FRS」という。)を用い、剛な設備は最大床加速度(以下「ZPA」という。)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 2.1-1 表に整理を行った。

第 2.1-1 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

注記 \* : 「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  
ならない静的地震力と 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する。

### 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

## 設工認に係る補足説明資料 地震応答計算書に関する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	11/29	1	

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(火災感知器含む)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(火災感知器含む)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対応フローに従い、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(火災感知器含む)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。

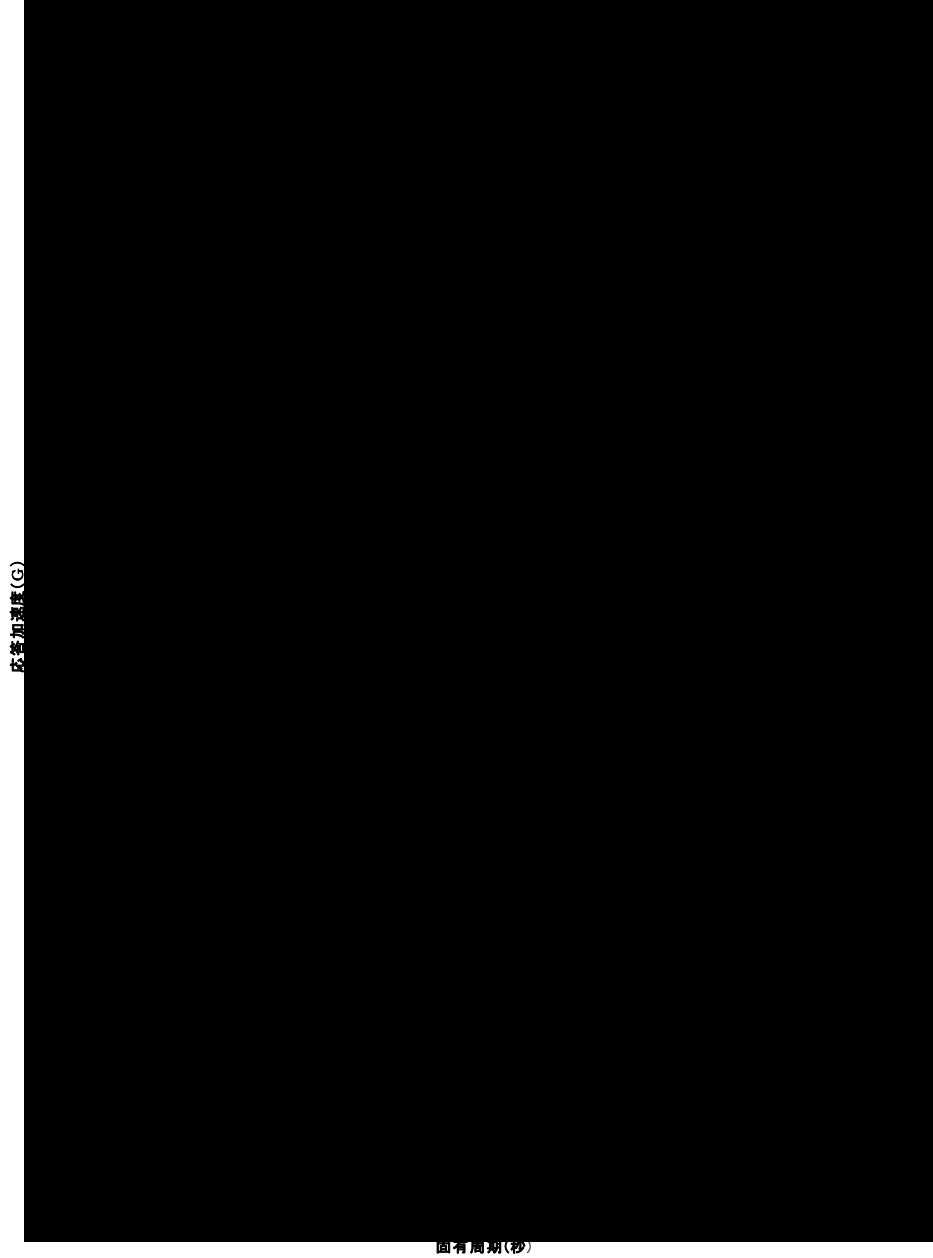
### (1) 設計用地震力との重ね合わせ及び比較による評価『影響評価(1)』

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、ばらつき地震力が設計用地震力の一部の周期帯で超過していることを確認した。

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

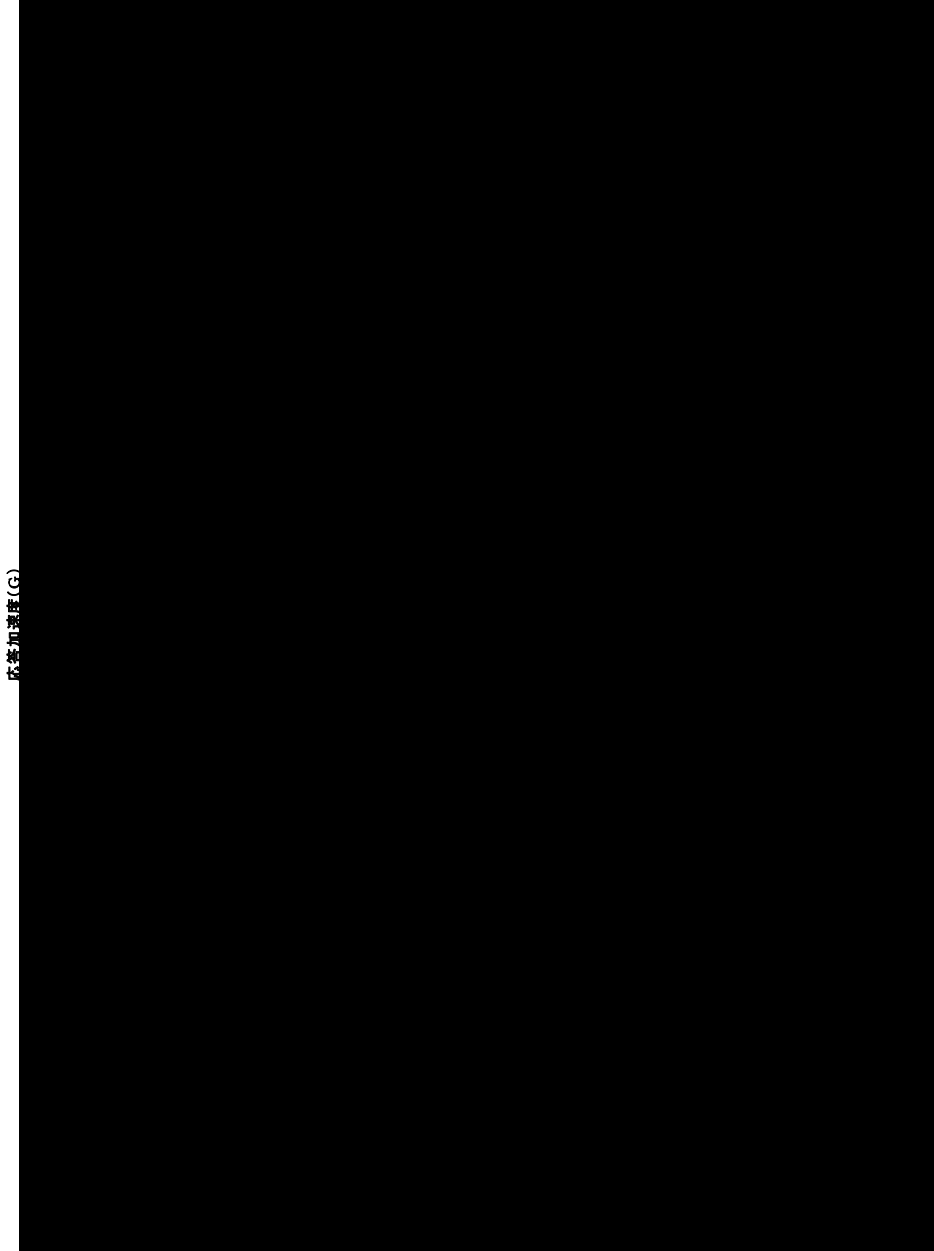
建屋名： 安全冷却水B冷却塔基礎  
地震波名： SsD\_Case1, 2, 3  
方向： EW/NS  
床レベル：            (M)  
減衰定数：            (%)



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)

## 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 設計用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ結果 (2/2)

第 3-1 表 基準地震動  $S_s$  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 CASE 1	ばらつき CASE2	ばらつき CASE3	
冬期 運転側 ベイ	■	EW	■	■	■	■	■
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
冬期 休止側 ベイ	■	EW	■	■	■	■	
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					

- (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、設計用地震力を超過する周期帯に設備の固有周期が合致することを確認した。  
また、火災感知器については、設計用地震力を超過する周期帯に設備の固有周期が合致しないことを確認した。
- (3) 設備の各次数の固有周期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、設備の各次数の固有周期と超過周期帯が合致する場合、合致する箇所の最大加速度比率を耐震計算書に示す最大算出応力に乘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 3-2 表に示す。
5. まとめ  
安全冷却水 B 冷却塔(火災感知器含む)のうち、支持架構については、影響評価対応フローに示す「(3) 設備の各次数の固有周期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、影響評価対応フローに示す「(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。  
火災感知器については、影響評価対応フローに示す「(2) 超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響評価」にて設計用地震力を超過する周期帯に設備の固有周期が合致しないことを確認した。  
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 3-2 表 設備ごとの影響評価の実施内容及び評価結果

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 IV-4-1 火災防護設備の耐震計算の基本方針				影響評価結果*2													
添付書類番号	添付書類名称		算出 応力*1 (MPa)	許容 応力*1 (MPa)	固有周期 (s)*3	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*5 (MPa)	応力比 *5	
											算出 応力*5 (MPa)	応力比 *5	算出 応力*5 (MPa)	応力比 *5			
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]	-	-	-	-	-	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
						支持架 構搭載 機器*4	構造強度	-	-	-	○	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		動的機能 維持	-	-		-	○	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]			
IV-1-1-11-1 別紙 1-1	安全冷却水 B 冷却塔の 直管部標準支持間隔				[Redacted]	-	-	-	○	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
IV-4-2-1-1	火災感知器の耐 震性についての 計算書		構造強 度	固定架台	[Redacted]	-	-	-	-	○	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
			電氣的 機能維 持	炎感知器	[Redacted]	-	-	-	-	○	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

注記\*1：算出応力及び許容応力については、各設備の評価内容に応じて次のとおり読み替えること。「ダクトの標準支持間隔：算出応力(発生曲げモーメント)、許容応力(許容座屈モーメント)」、「機能維持要求(加速度評価)：算出応力(評価用加速度)、許容応力(機能確認済加速度)」、「機能維持要求(変位量)：算出応力(算出変位)、許容応力(許容変位)」、「機能維持要求(荷重)：算出応力(算出荷重)、許容応力(許容荷重)」

\*2：本紙に記載の「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。

\*3：固有周期欄については 5 次までの固有周期を示し、5 次までに剛領域となった場合は、剛領域となった次数まで示す。また、(3)及び(4)については、最大の加速度比率の次数及び固有周期を( )内に示す」

\*4：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。

\*5：算出応力及び応力比については、「機能維持要求(加速度評価)：算出応力(ばらつき評価用加速度)、応力比(加速度比)」に読み替える。