

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電11 R <u>4</u>
提出年月日	令和 <u>4</u> 年 <u>1</u> 月 <u>20</u> 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

1. 文章中の下線部は、R 3 から R 4 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R 4）は、令和 3 年 10 月 12 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 3」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である、固有周期の記載とフロー図の明確化を踏まえた記載の見直しならびに記載内容の適正化を図ったものである。

## 目 次

1. 概要	1
2. 影響確認方針	1
3. 影響確認内容	2
4. 影響確認結果	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確認結果

後次回以降申請する機器・配管系については、各申請回次に影響確認結果を示す。

■: 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（令和 2 年 12 月 24 日申請）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-2-1-3-2-1（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。）に基づき建屋・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）及び地盤物性等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。）に示している評価結果に対して耐震裕度との関係性を踏まえた影響確認を行い耐震安全性に影響を与えないことの確認方針について示す。

## 2. 影響確認方針

設備の耐震評価については、複数ある基準地震動  $S_s$  若しくは弾性設計用地震動  $S_d$  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、「評価用地震力」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による建屋応答の影響確認は、耐震計算書に示している評価結果に影響を与えないことの確認として、評価用地震力と材料物性のばらつきによる建屋応答から作成した床応答曲線 (FRS) 又は最大床応答加速度 (ZPA) による地震力（以下、「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時刻歴応答波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時刻歴応答波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確認を実施する。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	—

※耐震計算書の耐震評価に用いたケース

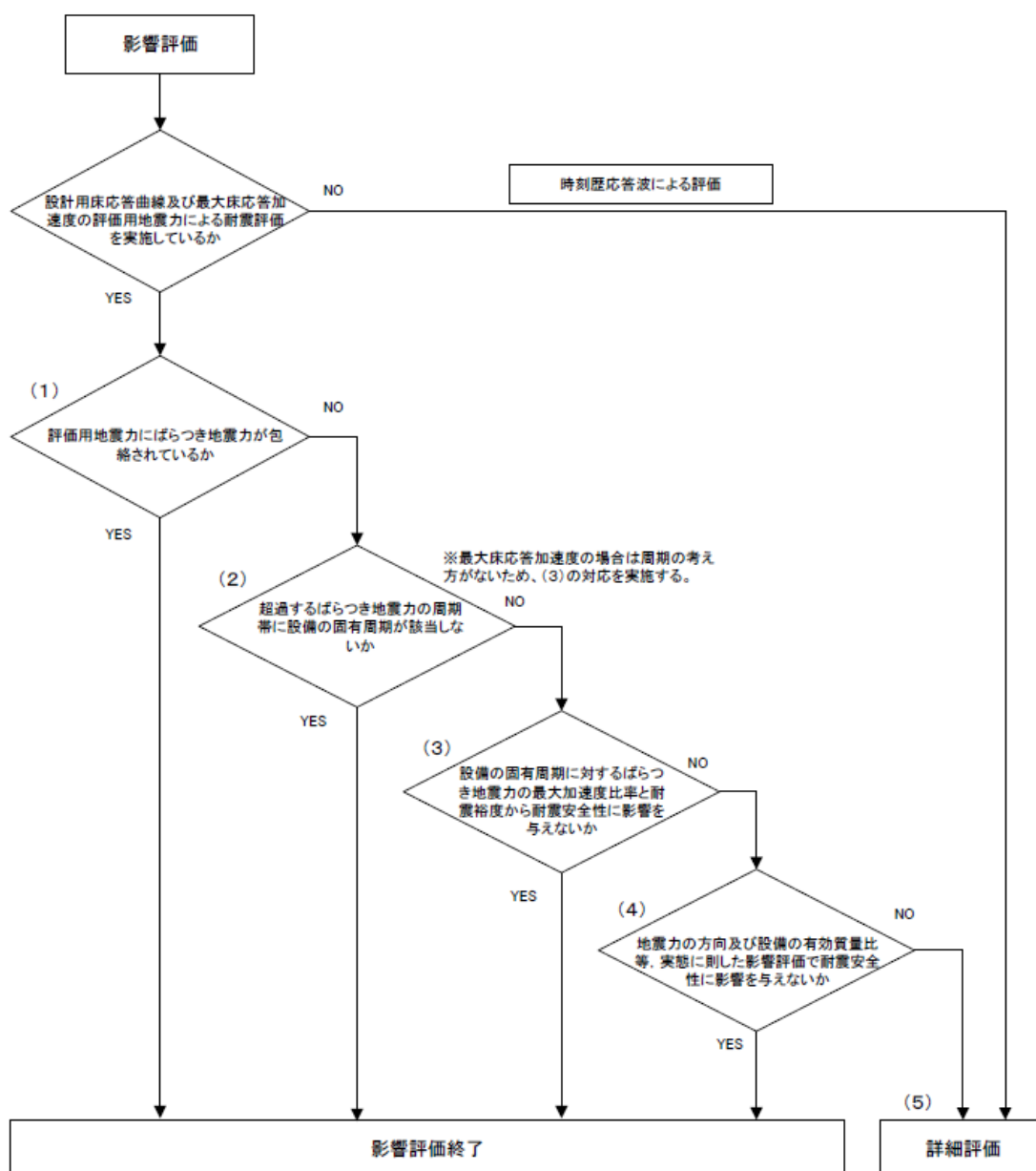
### 3. 影響確認内容

評価用地震力とばらつき地震力の比較による確認内容としては、評価用地震力とばらつき地震力との重ね合わせを行い、ばらつき地震力が評価用地震力に対して超過する場合には、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と耐震計算書の評価結果の耐震裕度を用いて耐震安全性に影響がないことを確認する。

なお、剛な機器においては、設計配慮として評価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確認を行う。

ばらつき地震力に対する影響確認対応フローを第3-1図に示し、影響確認における対応内容の例を第3-2図に示す。

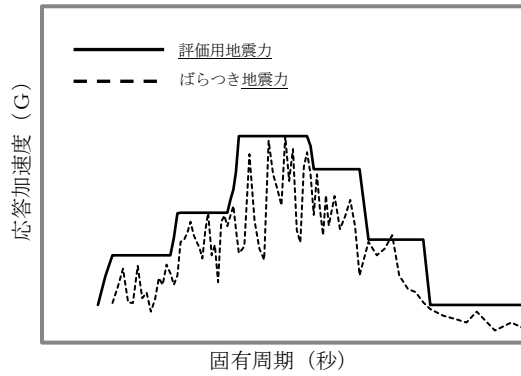
※最大床応答加速度の1.0倍を用いることに対する考え方については、別添「剛な設備のばらつき検討に用いる地震力について」を参照。



第 3 - 1 図 材料物性のばらつきの影響確認対応フロー

- (1) 評価用地震力とばらつき地震力（ばらつき CASE 1～3）との重ね合わせを行い包含されていることの確認を行う。  
「影響確認（1）：評価用地震力との重ね合わせ及び比較による影響確認」
- (2) 超過周期帯と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。  
「影響確認（2）：超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響確認」
- (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応力比に乘じ算出された応力比が 1.00 以下であることの影響確認を行う。  
「影響確認（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確認等，実態に則した影響確認で応力比が 1.00 以下であることを確認を行う。  
「影響確認（4）：地震力の方向等，耐震評価内容に応じた影響確認」
- (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を影響評価する。  
「影響確認（5）：詳細評価」

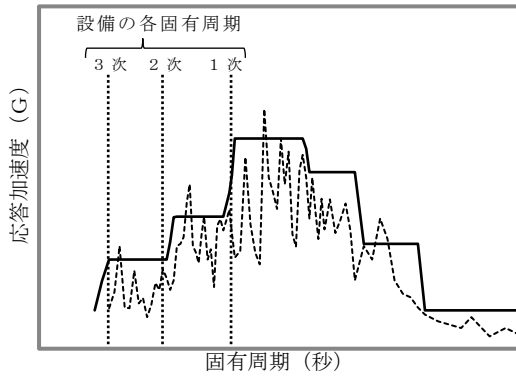
< (1) 評価用地震力との重ね合わせ及び比較による影響確認の例 >



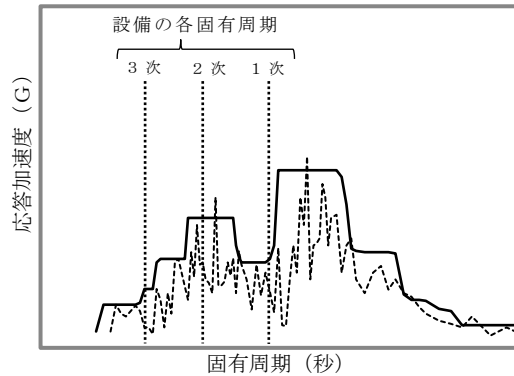
評価用地震力の全周期でばらつき地震力が包絡されていることの確認を行う。

< (2) 超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響確認の例 >

【水平方向】



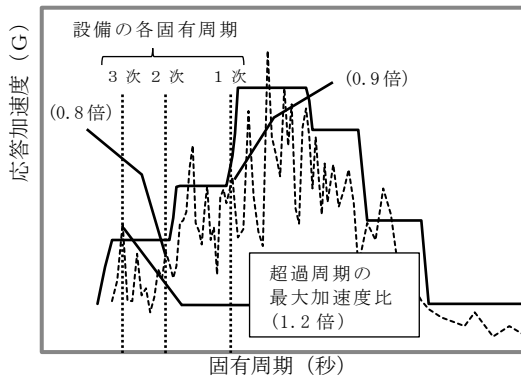
【鉛直方向】



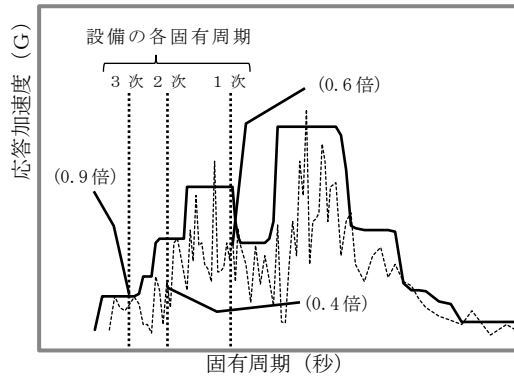
評価用地震力を超過する周期帯と設備の各次数における固有周期が合致しないことを確認する。

< (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 >

【水平方向】



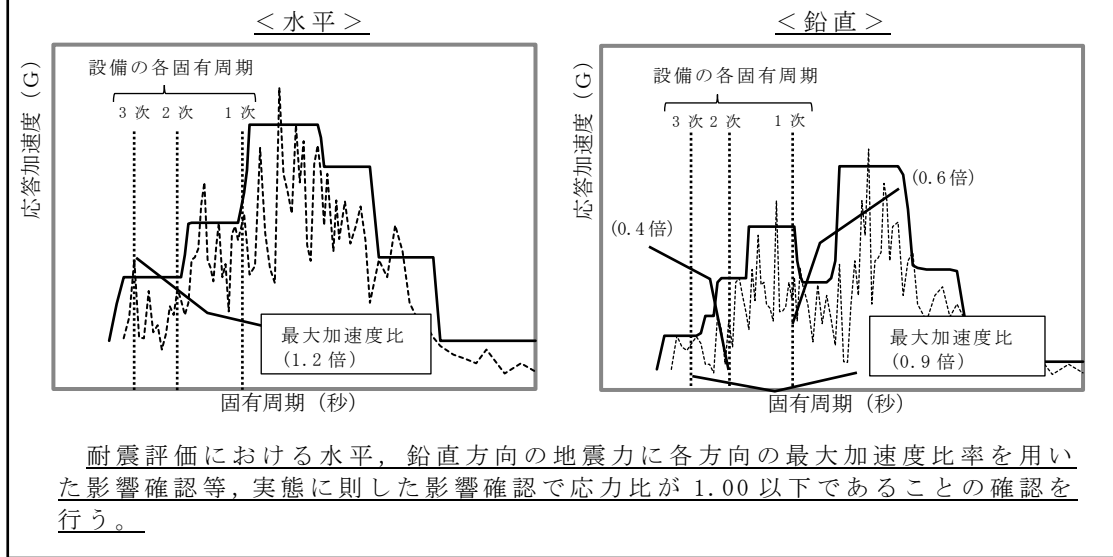
【鉛直方向】



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応力比に乘じ算出された応力比が1.00以下であることを確認する。

第3-2図 影響確認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確認の例>



※本例は機器の影響確認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確認を行う。

第3-2図 影響確認における対応内容の例 (2/2)

4. 影響確認結果

影響確認方針に基づく評価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を確認した結果を別紙に示す。



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 <sup>※</sup>
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補足説明 地震応答解析における材料物性のばらつきに伴う設備に対する影響確認方針について

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確認結果	1/20	4	
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確認結果

## 目 次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
2. 検討内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
3. 検討結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
4. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-11

参考資料 安全冷却水 B 冷却塔支持架構および支持架構搭載機器の固有周期  
について

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の安全冷却水 B 冷却塔に対して、建物・構築物の材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析の影響について示す。

ここでは、安全冷却水 B 冷却塔の耐震計算書の結果に対し、材料物性のばらつきを考慮した地震動による設備の耐震安全性への影響について示す。

## 2. 検討内容

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

なお、安全冷却水 B 冷却塔の支持架構及び支持架構搭載機器（配管含む）の固有周期については「参考資料 安全冷却水 B 冷却塔支持架構及び支持架構搭載機器の固有周期について」に示す。

## 3. 検討結果

### (1) 評価用地震力との重ね合わせ及び比較による影響確認『影響確認 (1)』

#### ① 剛ではない設備の影響確認について

本文に記載のフローに基づき安全冷却水 B 冷却塔のうち剛ではない支持架構については、評価用地震力と、ばらつき地震力（ばらつき CASE 1～3）との重ね合わせを行い、ばらつき地震力が評価用地震力の全周期で包絡されているか確認した。

評価用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ結果を第 3-1 図及び第 3-2 図に示す。

そのため、支持架構については本文に記載のフローに基づき、「超過周期帯と設備の固有周期を踏まえた影響確認『影響確認 (2)』」にて影響確認を行う。確認した結果を 3. (2) 項に示す。

#### ② 剛な設備の影響確認について

安全冷却水 B 冷却塔のうち、剛な支持架構搭載機器については、評価用地震力とばらつき地震力との最大床応答加速度の加速度比率を用いて影響確認した。

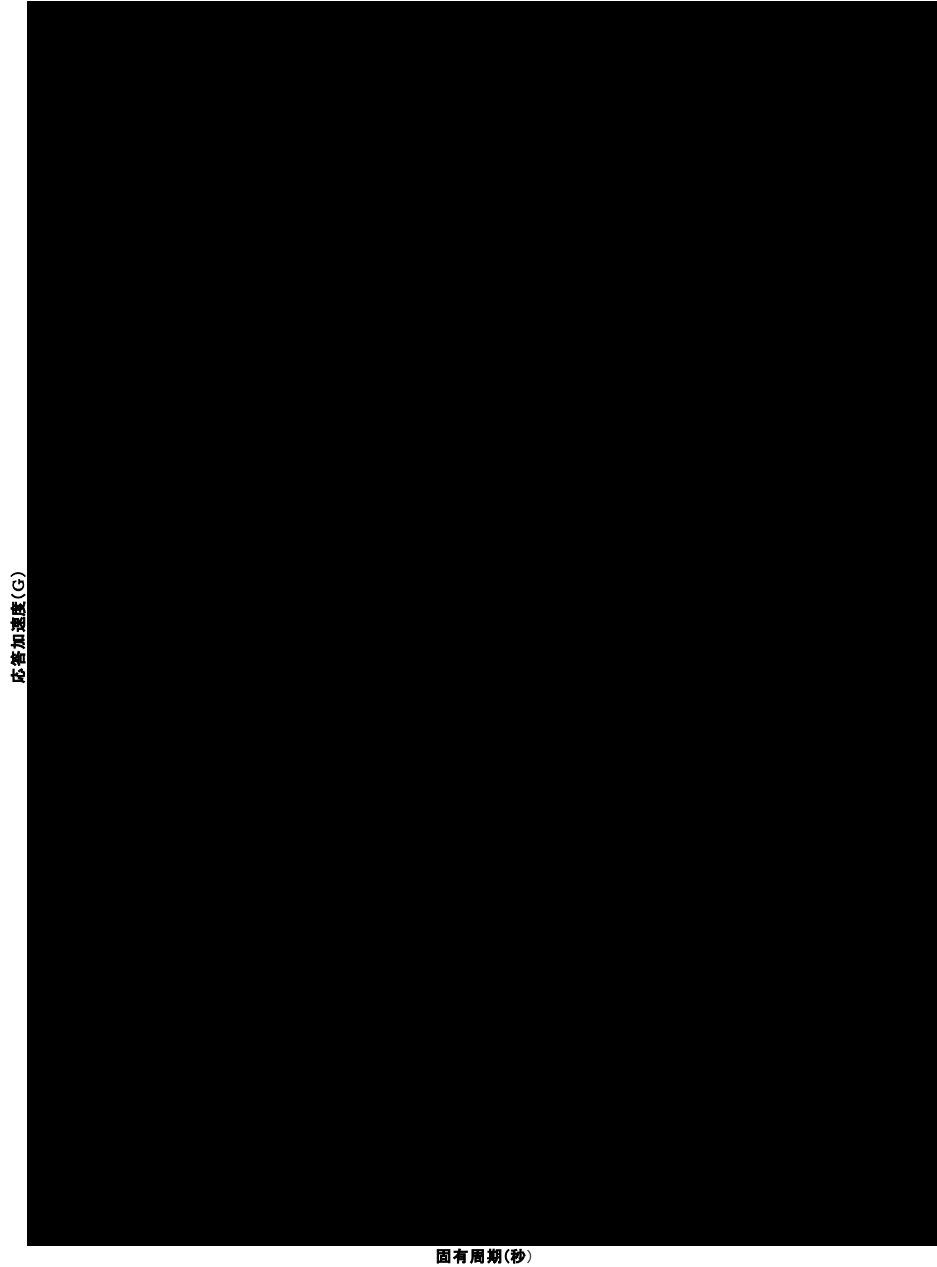
評価用地震力とばらつき地震力との比較結果を第 3-1 表及び第 3-2 表に示す。

最大床応答加速度の加速度比率を確認した結果、第 3-1 表及び第 3-2 表に示すとおり、双方の比較結果において、全ての加速度比率が 1.00 以下であることから、支持架構搭載機器については影響がないことを確認した。



## 設計用床応答曲線

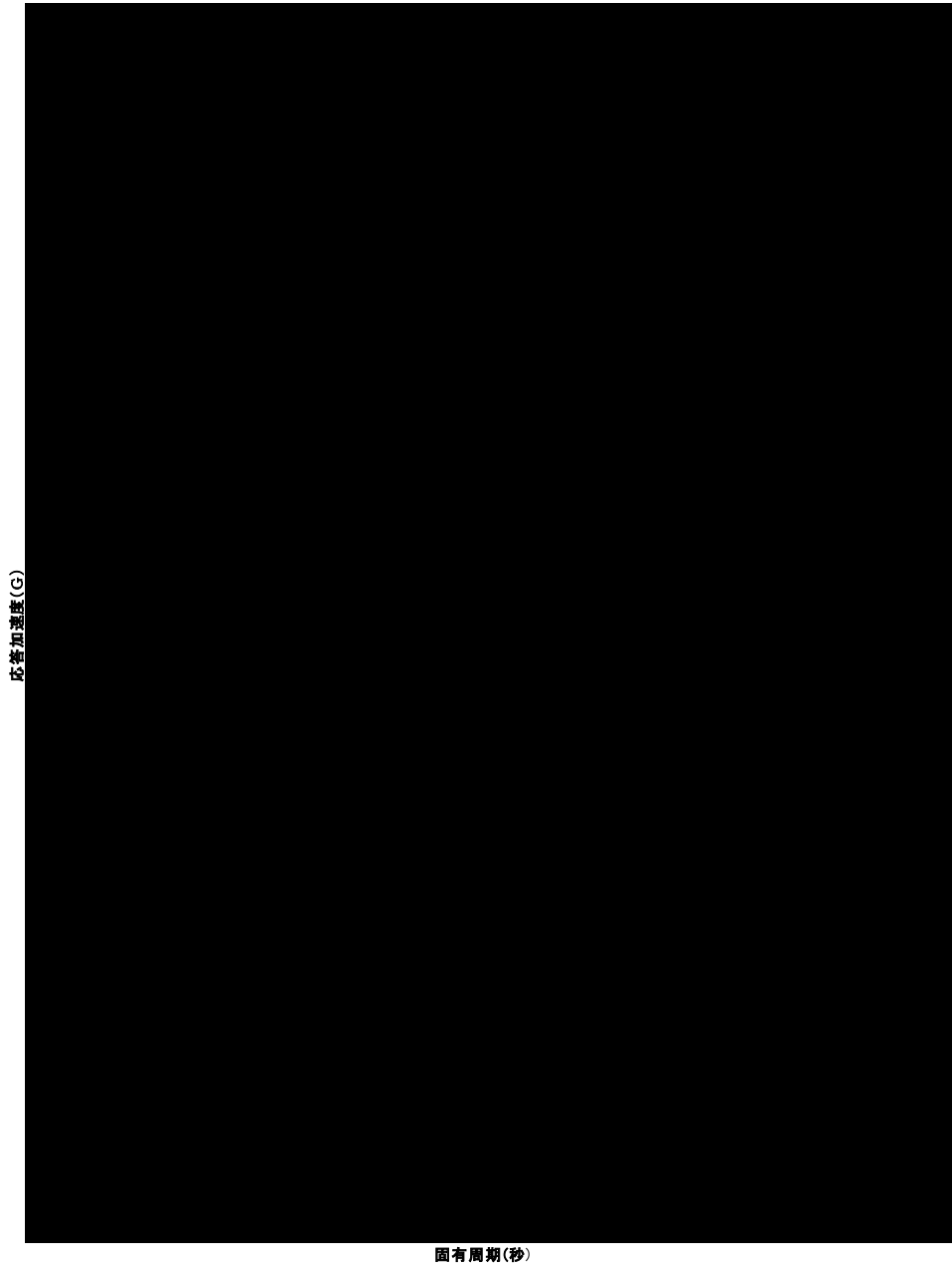
建屋名： 安全冷却水B冷却塔基礎  
地震波名： SsD\_Case1, 2, 3  
方向： EW/NS  
床レベル：            (M)  
減衰定数：            (%)



第 3 - 1 図 基準地震動 Ss における評価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

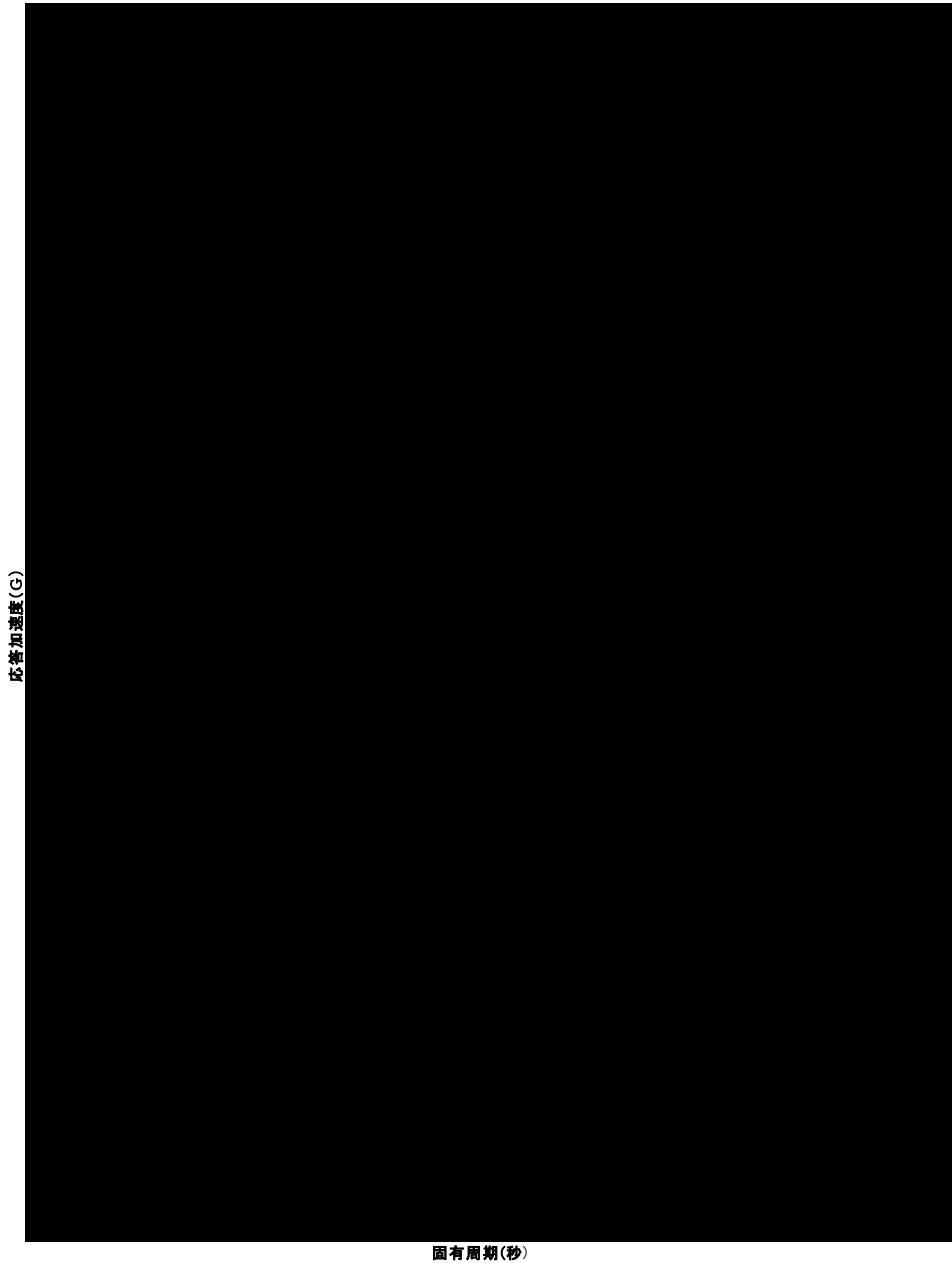
建屋名：安全冷却水B冷却塔基礎  
地震波名：SsD\_Case1, 2, 3  
方向：UD  
床レベル：[ ] (M)  
減衰定数：[ ] (%)



第 3 - 1 図 基準地震動 Ss における評価用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ結果 (2 / 2)

## 設計用床応答曲線

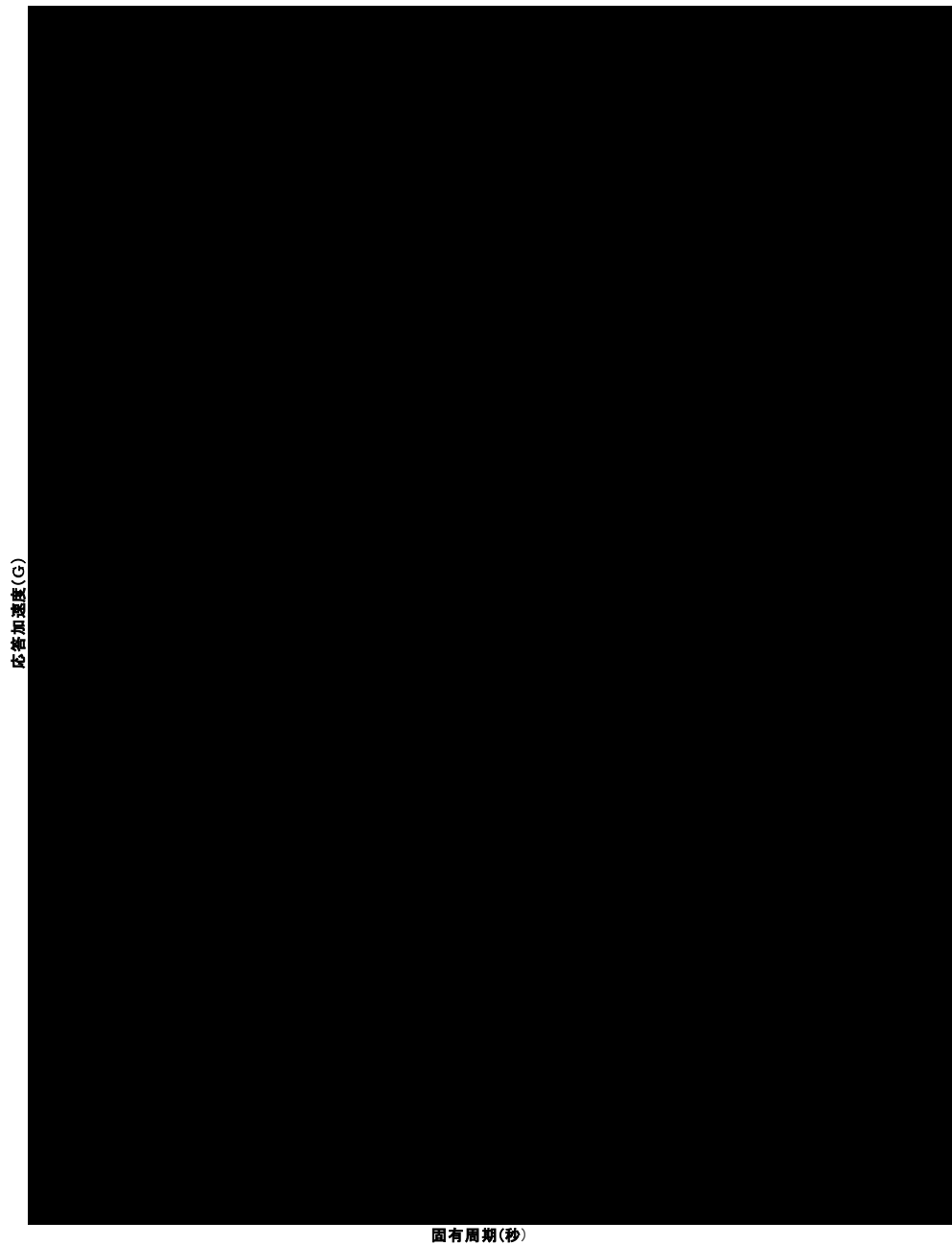
建屋名：安全冷却水B冷却塔基礎  
地震波名：Sd\_Case1, 2, 3  
方向：EW/NS  
床レベル： (M)  
減衰定数： (%)



第 3 - 2 図 弾性設計用地震力 Sd における評価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：Sd\_Case1, 2, 3  
方向：UD  
床レベル：[ ] (M)  
減衰定数：[ ] (%)



第 3 - 2 図 弾性設計用地震力 Sd における評価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	評価用地震力 (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					

第3-2表 弾性設計用地震力  $S_d$  における最大床応答加速度 (ZPA) の比較結果

	EL (m)	方向	評価用地震力 (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 CASE 2	ばらつき CASE 3	
冬期 運転 側 ベイ	■	EW	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
	■	EW					
		NS					
		UD					
冬期 休 止 側 ベイ	■	EW	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		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確認『影響確認(2)』

上記の3.(1)項に示す確認結果のとおり、

超過周期帯と支持架構の耐震計算書に示す各次数の固有周期が合致するか確認した。

確認した結果、双方の確認結果において超過周期帯と支持架構の固有周期が合致することを確認した。

そのため、支持架構については本文に記載のフローに基づき、「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確認『影響確認(3)』」にて影響確認を行う。確認した結果を次項に示す。

(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確認『影響確認(3)』

上記(2)の結果に示すとおり、評価用地震力に対する超過周期帯と支持架構の固有周期が合致することから、その超過周期帯における最大加速度比率を、評価用地震力(基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$ )により算出した最大応力比に乘じ、算出された応力比を用いて影響確認を行い、算出した応力比が1.00以下であるか確認した。

支持架構の固有周期と合致した超過周期帯における最大加速度比率を耐震計算書に示す最大応力比に乘じ、算出した結果を第3-3表及び第3-4表に示す。

第3-3表及び第3-4表に示すとおり、双方の確認結果において、応力比は1.00以下であることから、支持架構については影響がないことを確認した。

第 3-3 表 基準地震動 S<sub>s</sub> における評価用地震力により算出した  
応力比を用いた影響確認結果

< 冬期運転側ベイ >

建屋名	機器名称	評価部位	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	一次 固有周期 (s)	a. 最大 応力比	b. 加速度 比率	影響確認 方法	応力比 確認結果 (a×b)
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構	基礎ボルト						(3)	

< 冬期休止側ベイ >

建屋名	機器名称	評価部位	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	一次 固有周期 (s)	a. 最大 応力比	b. 加速度 比率	影響確認 方法	応力比 確認結果 (a×b)
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構	基礎ボルト						(3)	



第3-4表 弾性設計用地震動 Sd における評価用地震力により算出した  
応力比を用いた影響確認結果

< 冬期運転側ベイ >

建屋名	機器名称	評価部位	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	一次 固有周期 (s)	a. 最大 応力比	b. 加速度 比率	影響確認 方法	応力比 確認結果 (a×b)
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構	基礎ボルト						(3)	

< 冬期休止側ベイ >

建屋名	機器名称	評価部位	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	一次 固有周期 (s)	a. 最大 応力比	b. 加速度 比率	影響確認 方法	応力比 確認結果 (a×b)
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構	基礎ボルト						(3)	

#### 4. まとめ

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、評価用地震力とばらつき地震力との重ね合わせ結果において、超過周期帯と支持架構の固有周期が合致することから、その超過周期帯における最大加速度比率を、耐震計算書に示す最大応力比に乘じ算出した結果、応力比が 1.00 以下であることを確認した。

また、安全冷却水 B 冷却塔のうち剛な支持架構搭載機器については、評価用地震力とばらつき地震力を比較した結果、全ての最大床応答加速度比率が 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の影響を考慮しても耐震安全性に影響を与えないことを確認した。

## 参考資料

安全冷却水 B 冷却塔支持架構及び  
支持架構搭載機器の固有周期について

1. 支持架構及び支持架構搭載機器の固有周期について  
安全冷却水B冷却塔の支持架構及び支持架構搭載機器の固有周期を，以下の第1-1表及び第1-2表に示す。

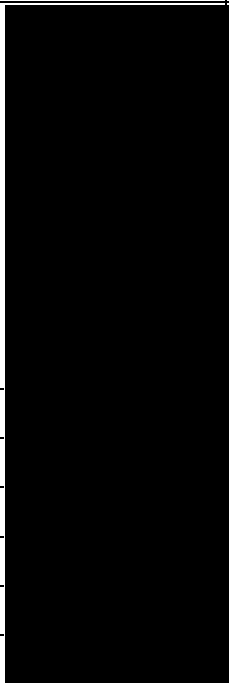
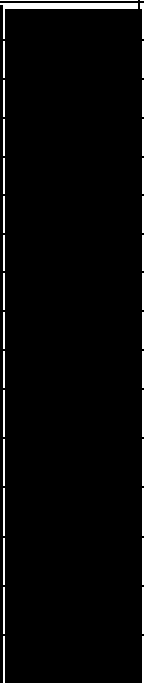

第 1 - 1 表 安全冷却水 B 冷却塔 冬期運転ベイの固有周期一覧

添付書類番号 名称	評価部位		E.L	次数	固有周期
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	二	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		原動機 * 1			— * 2
	支持架構 搭載機器	減速機 * 1			— * 2
		遮熱板			[Redacted]
		ファンリング			
		管束/伝熱管			
		ルーバ			
配管	[Redacted]				
IV-1-11-1 別紙 各施設の配管標 準支持間隔 安全冷却水 B 冷却塔の直管部 標準支持間隔	配管	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	

注記 \* 1 : 固有周期の算出を行わず、剛な設備と判定を行っている設備。  
\* 2 「-」の固有周期については補足説明資料「耐震機電 17 : 剛な設備の固有周期の算出について」に示す。

参考-2

第 1 - 2 表 安全冷却水 B 冷却塔 冬期休止ベイの固有周期一覧

添付書類番号 名称	評価部位		E.L	次数	固有周期
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	-			
IV-1-11-1 別紙  各施設の配管標 準支持間隔 安全冷却水 B 冷却塔の直管部 標準支持間隔	支持架構 搭載機器	原動機 *1			
		減速機 *1			
		遮熱板			
		ファンリング			
		管束/伝熱管			
		ルーバ			

注記 \*1：固有周期の算出を行わず、剛な設備と判定を行っている設備。

\*2：「-」の固有周期については補足説明資料「耐震機電 17：剛な設備の固有周期の算出について」に示す。