

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-360 (改1)
提出年月日	平成30年2月19日

東海第二発電所
耐震性に関する説明書に係る補足説明資料
(機電分耐震計算書の補足について)

平成30年2月
日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法

下線：ご提出資料

目 次

1. はじめに	1
2. 設計用床応答曲線の作成方法	1
3. 設計用床応答曲線の適用方法	1
3.1 設計用床応答曲線の適用について	1
3.2 耐震計算に用いる耐震評価条件の保守的な設定について	3
別紙1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針の計算結果フォーマット	

1. はじめに

本資料は、東海第二発電所で適用している設計用床応答曲線の作成方法及びその適用方法について纏めたものである。

2. 設計用床応答曲線の作成方法

床応答曲線の作成に係る方針については、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に記載しており、そこで設計用床応答曲線の作成手順、解析方法、解析モデル等について説明している。この設計用床応答曲線は、J E A G 4601-1987 に従い、周期 0.05 秒未満の領域は応答増幅を考慮しない剛な領域として扱い、周期 0.05 秒以上の領域について応答を求めている。固有周期の計算間隔は、表 2-1 に示す計算間隔を用いている。

表 2-1 円振動数の計算間隔

固有周期 (s)	計算間隔 ($\Delta \omega$: rad/s)
0.05 ~ 0.1	4.0
0.1 ~ 0.2	1.5
0.2 ~ 0.39	1.0
0.39 ~ 0.6	0.3
0.6 ~ 1.0	0.5

3. 設計用床応答曲線の適用方法

3.1 設計用床応答曲線の適用について

2. で作成した設計用床応答曲線は、評価する機器・配管系の固有周期における加速度を読み取ることを用いるが、解析モデルや固有周期により複数のケースがあることから、最大応答加速度（以下「ZPA (Zero Period Acceleration)」という。）を適用ケースも含めて表 3-1 にて整理する。

表 3-1 設計用床応答曲線の適用方法

モデル	1次固有周期	適用方法 (解法)	適用例
1質点系モデル	0.05秒以上	設計用床応答曲線 (静解析)	—
	0.05秒未満	1.2ZPA (静解析)	アキュムレータ
多質点系モデル*1	0.05秒以上	設計用床応答曲線 (スペクトルモーダ ル解析)	配管系
	0.05秒未満	1.2ZPA (静解析)	制御ユニット
有限要素モデル	0.05秒以上	設計用床応答曲線 (スペクトルモーダ ル解析)	使用済燃料貯蔵ラ ック
	0.05秒未満	1.2ZPA (静解析)	使用済燃料乾式貯 蔵容器

*1 時刻歴応答解析法を適用する設備もある。その場合は設計用床応答曲線を用いずに時刻歴波形を応答解析に用いるとともに、材料物性等のばらつきを適切に考慮している。

表 3-1 の整理において、1.2ZPA による静解析を実施する旨を整理しているが、これは設置変更許可申請書の添付書類八において、「剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍を震度として作用させて地震力を算定する。」との方針としていることから、1 次固有振動数が 20Hz 以上の機器に対して、設置床面の最大応答加速度 (ZPA) の 1.2 倍を震度として作用させた地震力にて評価を行う。

3.2 耐震計算に用いる耐震評価条件の保守的な設定について

今回工認の機器・配管系の耐震計算書の作成において「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線等の耐震評価条件に一定の保守的な設定したものを採用する。以下では、各建物・構築物、土木構造物における設定方法を説明する。

3.2.1 原子炉建屋

原子炉建屋の設計用床応答曲線は、「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による地震応答解析結果を用いて、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設計用床応答曲線の作成を行っている。

原子炉建屋床面に設置された機器・配管系については、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に記載された設計用床応答曲線に対して保守的な床応答曲線を適用した耐震計算を行い、その結果として耐震計算書を作成している。保守的な床応答曲線の適用に際しては、以下2つの方法の何れかにて実施している。

(1) 設計用床応答曲線に一律な保守性を考慮

「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線から得られる震度に一律（1.5倍）保守性を考慮する（図3-1）。また、1.2ZPAを採用する場合も同様に1.2ZPAに一律1.5倍の保守性を考慮する。

(2) 地盤物性等のばらつきを踏まえた保守性の考慮

「V-2-1-2 耐震設計の基本方針」において、地盤物性等のばらつきを適切に考慮する方針としており、その対応としては、床応答曲線を周期軸方向に±10%拡幅することにより考慮している。

地盤物性等のばらつきの影響を確認するための検討ケースについて、床応答曲線を作成し「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線に加えることによる保守性として考慮する（図3-2）。

3.2.2 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計用床応答曲線は、「V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」による地震応答解析結果を用いて、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設計用床応答曲線の作成を行っている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋床面に設置された機器・配管系については、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に記載された設計用床応答曲線に対して保守的な床応答曲線を適用した耐震計算を行い、その結果として耐震計算書を作成している。保守的な床応答曲線の適用に際しては、以下2つの方法の何れかにて実施している。

(1) 設計用床応答曲線に一律な保守性を考慮

「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線から得られる震度に一律（1.5倍）保守性を考慮する。また、1.2ZPAを採用する場合も同様に1.2ZPAに一律1.5倍の保守性を考慮する。

(2) 地盤物性等のばらつきを踏まえた保守性の考慮

「V-2-1-2 耐震設計の基本方針」において、地盤物性等のばらつきを適切に考慮する方針としており、その対応としては、床応答曲線を周期軸方向に±10%拡幅する

ことにより考慮している。

地盤物性等のばらつきの影響を確認するための検討ケースについて、床応答曲線を作成し「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線に加えることによる保守性として考慮する。

構造物名 : 原子炉建屋
 方向 : 水平方向
 波形名 : Ss-D1、Ss-11、Ss-12、Ss-13、Ss-14、Ss-21、Ss-22及びSs-31
 標高 : EL-4.000m
 減衰 : 1.0 (%)

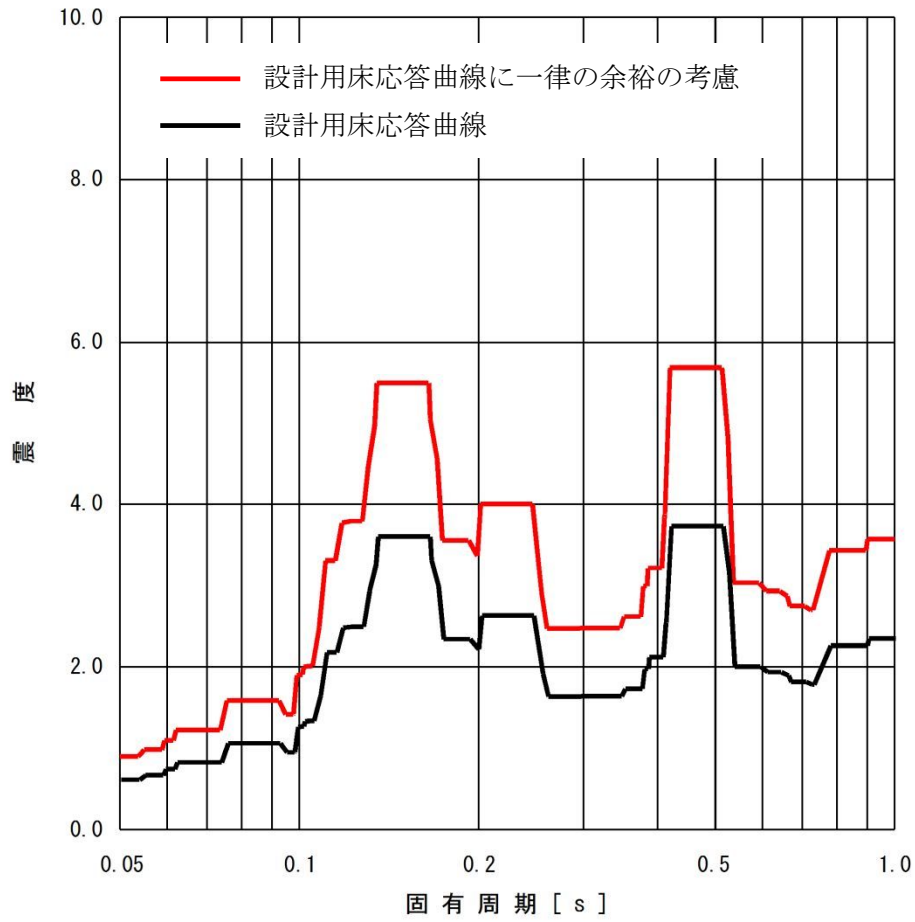


図 3-1 設計用床応答曲線に一律な保守性を考慮 (例)

構造物名 : 原子炉建屋
 方向 : 水平方向
 波形名 : Ss-D1、Ss-11、Ss-12、Ss-13、Ss-14、Ss-21、Ss-22及びSs-31
 標高 : EL-4.000m
 減衰 : 1.0 (%)

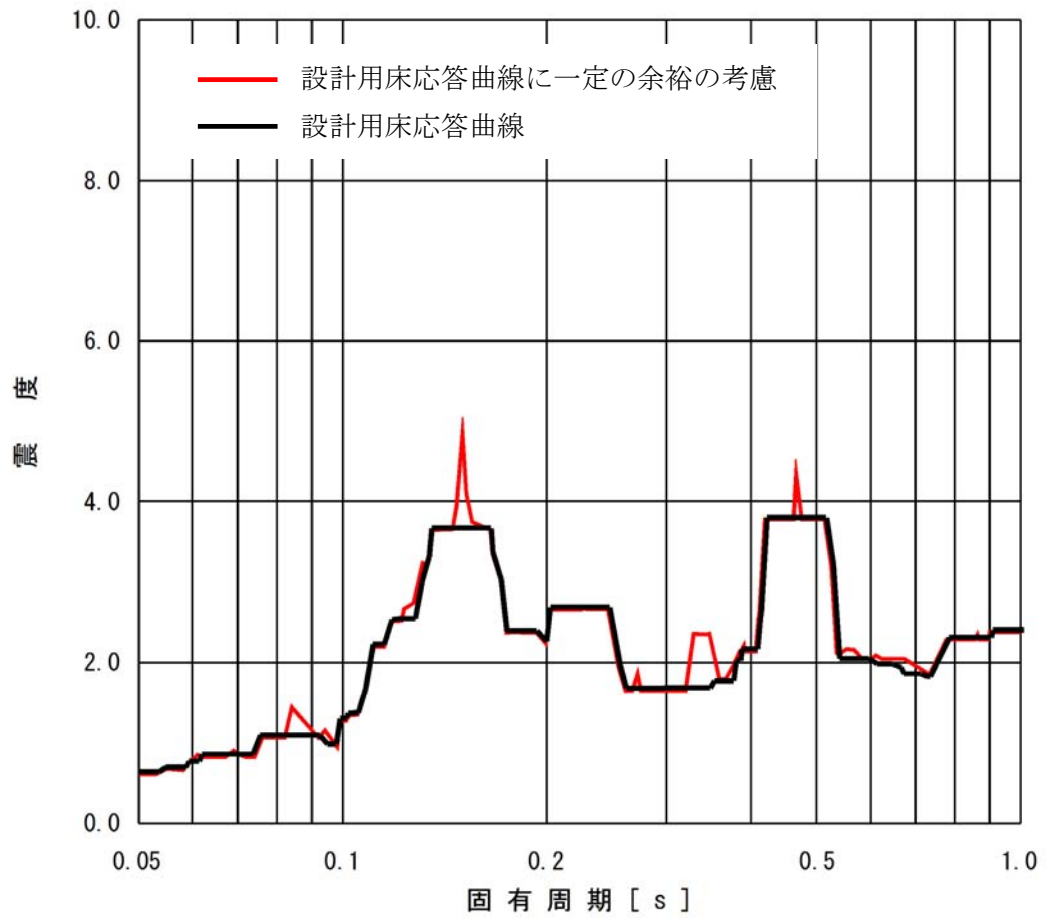


図 3-2 地盤物性等のばらつきを踏まえた保守性の考慮 (例)

(2) 個別の耐震計算書への記載方法

耐震計算に用いる耐震評価条件について保守的な設定を行った値を適用し評価を実施した設備の個別の耐震計算書に対する対応を示す。

評価対象設備の具体的評価方針については、付録 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」、付録 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」、付録 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」、付録 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」、付録 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」、付録 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」、付録 7「盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」、付録 8「計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」、付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で述べており、その計算結果のフォーマットについても添付している。

計算結果のフォーマットの例示として付録 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」を別紙 1 に示す。別紙 1 に示すとおり、耐震計算の耐震評価条件として保守的な設定を行った場合については、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度と同等以上の設計震度を用いていることを明記する。

床応答スペクトル固有周期計算間隔について

固有周期計算間隔の設定手順は①、②のとおりである。また、設定手順のイメージを図-1に示す。

- ① 固有周期 T の計算間隔は、0.05～1.0秒の間を固有周期で分けし、各区分の間を円振動数の計算間隔 $\Delta\omega$ =一定の間隔で刻むこととしている。ここで $\Delta\omega$ =一定で刻むのは $T=2\pi/\omega$ の関係から同一の $\Delta\omega$ に対して短周期になるほど計算間隔が密になるためである。これは、床応答スペクトルは一般的に短周期（建屋の高次モード）において加速度の変化が大きいこと、また、床応答スペクトルを用いて耐震解析を行う機器・配管系の固有周期は短周期側にあるため、短周期でより精度よく応答スペクトルを計算する必要があることになる。
- ② 床応答スペクトルを作成する周期範囲0.05～1.0秒において、短周期側の区分が狭くなるように領域分けを行い、建屋の卓越周期にあたる区間の計算間隔が比較的細かくなるように $\Delta\omega$ を設定する。なお、東海第二原子力発電所のSs8波に対する原子炉建屋1次固有周期は0.42～0.39秒である。図-2に床応答スペクトル固有周期計算間隔の設定手順を示す。

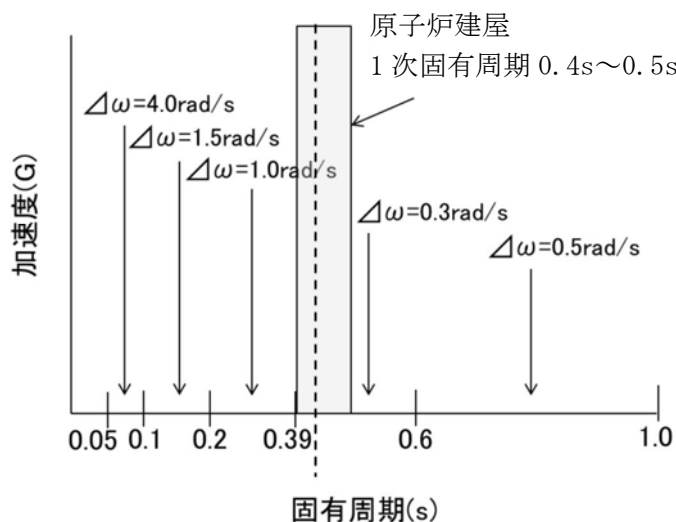


図-1 床応答スペクトル固有周期の計算間隔

表-2 床応答曲線作成に用いる固有周期計算間隔の設定手順

表 2-1 で定義した固有周期と計算間隔

固有周期 T (s)	計算間隔 $\Delta \omega$ (rad/s)	円振動数 ω (rad/s)	床応答曲線作成 に用いる 固有周期 T(= $2\pi / \omega$) (s)
1.000	—	6.283185	1.000
	0.500	6.783185	0.926
		7.283185	0.863
	0.500	7.783185	0.807
	0.500	8.283185	0.759
	0.500	8.783185	0.715
	0.500	9.283185	0.677
	0.500	9.783185	0.642
	0.500	10.283185	0.611
	0.600	0.300	10.471976
0.300		10.771976	0.583
0.300		11.071976	0.567
•		•	•
•		•	•

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL.	—*2	—*2	C _H =*3	C _V =*3	C _H =*4	C _V =*4	C _P =		

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 弾性設計用地震動 S d又は静的震度と同等以上の設計震度

*4: 基準地震動 S sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	λ _{1i} *3 (mm)	λ _{2i} *3 (mm)	A _{bi} (mm)	n _{fi}	
						n _i	弾性設計用地震動 S d又は静的震度
基礎ボルト (i=1)							基準地震動 S s
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)		
原動機取付ボルト (i=3)					(M)		
減速機取付ボルト (i=4)					(M)		

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i (MPa)	F _i (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
						弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)								弾性設計用地震動 S d又は静的震度
ポンプ取付ボルト (i=2)								基準地震動 S s
原動機取付ボルト (i=3)								
減速機取付ボルト (i=4)								

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N=