

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-6_改4
提出年月日	2021年11月4日

補足-600-6 設計用床応答曲線の作成方法

目次

1. 概要.....	1
2. 設計用床応答曲線の作成方法.....	1
2.1 基本方針.....	1
2.2 地震応答解析の実施.....	2
2.3 応答スペクトルの作成.....	5
2.4 機器の固有周期のずれ等の影響.....	5
2.5 材料物性の不確かさ等の影響の考慮.....	5
2.6 誘発上下動の考慮.....	7

1. 概要

機器・配管系の評価においては、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すとおり、設計用床応答曲線を用いる。

ここで、設計用床応答曲線は、その作成過程において、応答スペクトルの拡幅や複数の応答スペクトルの包絡等の処理を行うことで、材料物性の不確かさ等が機器・配管系の評価に及ぼす影響を予め織り込めるように配慮して作成するものである。

本資料は、設計用床応答曲線の作成方法について説明するものである。ここで、設計用床応答曲線を作成する建物・構築物等を表 1-1 に整理する。

表 1-1 設計用床応答曲線を作成する建物・構築物等

分類	施設名称
建物・構築物	原子炉建屋 制御建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋 大型機器系（原子炉本体の基礎等） 炉内構築物系（原子炉压力容器内部構築物等） サプレッションチェンバ*
土木構築物	復水貯蔵タンク基礎 海水ポンプ室 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） 軽油タンク室 軽油タンク室（H） ガスタービン発電設備軽油タンク室 軽油タンク連絡ダクト 排気筒基礎 排気筒連絡ダクト

注記*： サプレッションチェンバの構造強度評価は、スペクトルモーダル解析から得られた地震荷重を用いる。ただし、サプレッションチェンバに設置される設備の評価に用いる設計用地震力（最大応答加速度及び床応答曲線）を作成するために、原子炉建屋の加速度応答時刻歴を用いた時刻歴応答解析を実施している。

2. 設計用床応答曲線の作成方法

2.1 基本方針

設計用床応答曲線の作成方法は、図 2-1 に示すとおりである。以降、2.2 項から 2.5 項で各項目の詳細な説明を行う。ここで、本資料では、各建屋、土木構築物において考慮する標準の初期剛性、標準地盤の解析を「基本ケース」、材料物性の不確かさ等を考慮したケースを「不確かさケース」として扱う。

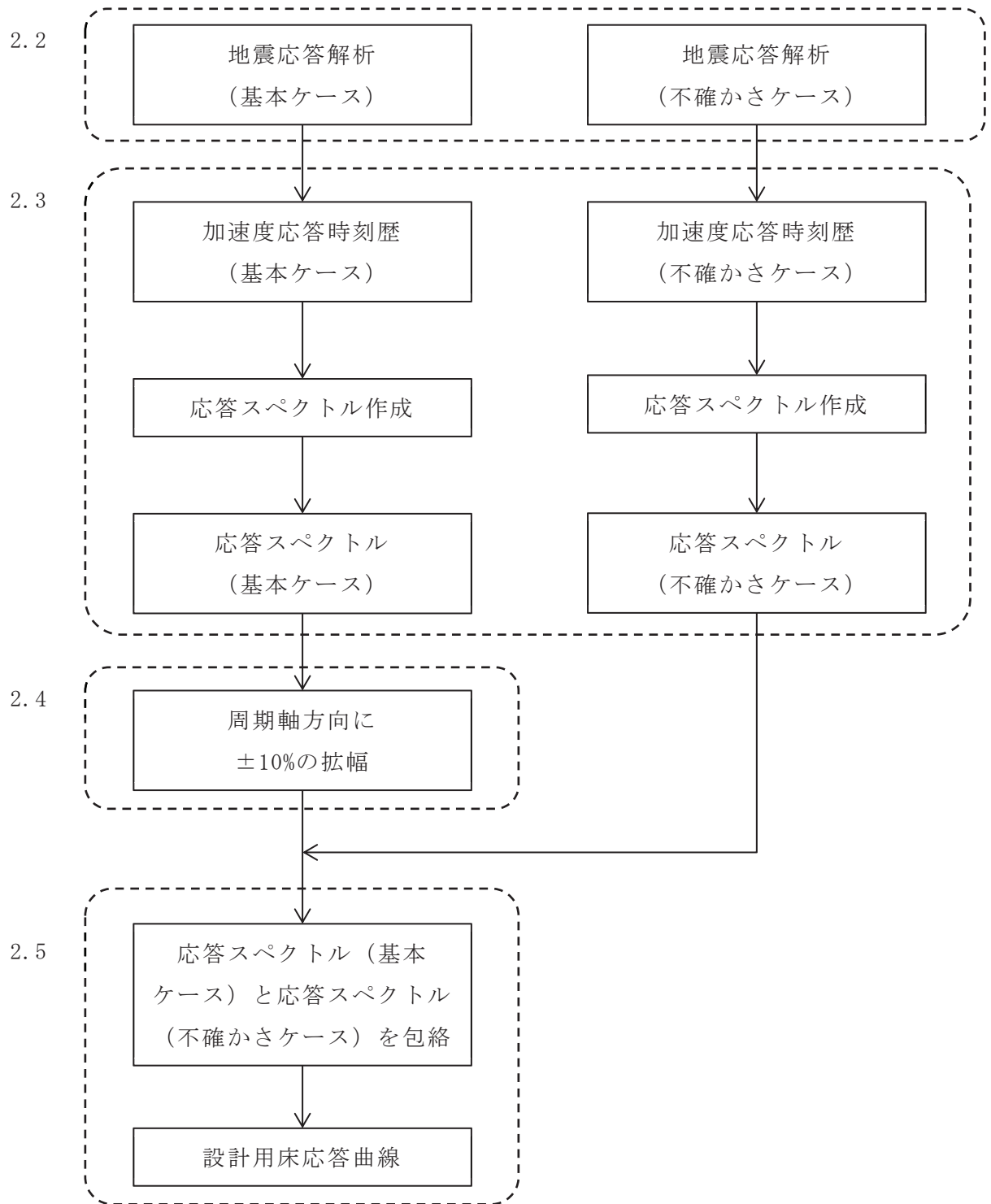


図 2-1 設計用床応答曲線の作成方法

2.2 地震応答解析の実施

地震応答解析は、表 2-2 及び表 2-3 の解析ケースで実施する。なお、表 2-2 及び表 2-3 は、各施設の地震応答計算書に記載される解析ケースを整理したものである。

表 2-2 地震応答解析を実施する解析ケースの整理（建物・構築物）

構造物名 ^{*1}	基本ケース		不確かさケース				
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
	・建屋初期剛性低下 ^{*3} ・標準地盤	・建屋初期剛性低下 ^{*3} ・地盤物性+ σ	・建屋初期剛性低下 ^{*3} ・地盤物性- σ	・基準地震動 S s 入力後のコンクリート剛性 ^{*5} ・標準地盤	・基準地震動 S s 入力後のコンクリート剛性 ^{*5} ・地盤物性+ σ	・基準地震動 S s 入力後のコンクリート剛性 ^{*5} ・地盤物性- σ	・建屋初期剛性低下 ^{*3} ・標準地盤 ・RPV ペDESTAL 初期剛性低下
原子炉建屋 (VI-2-2-1)	○	○	○	○	○	○	
制御建屋 (VI-2-2-3)	○	○	○	○	○	○	
緊急用電気品建屋 (VI-2-2-21)	○ ^{*4}	○ ^{*4}	○ ^{*4}	○	○	○	
緊急時対策建屋 (VI-2-2-23)	○ ^{*4}	○ ^{*4}	○ ^{*4}	○	○	○	
第 3 号機海水熱交換器建屋 (VI-2-2-29) ^{*2}	○	○	○	○	○	○	
大型機器系地震応答解析モデル (原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 原子炉本体の基礎) (VI-2-3-2)	○	○	○	○	○	○	○
炉内構築物系地震応答解析モデル (炉心, 原子炉内部構築物) (VI-2-3-2)	○	○	○	○	○	○	○
サブプレッションチェンバ (VI-2-9-2-1-2)	○	○	○	○	○	○	

注記*1：() 内に当該構造物の地震応答計算書の添付書類番号を記載する。

*2：今回工認においては、評価対象が剛である設備のみであり、床応答曲線を適用しないことから、最大応答加速度のみ整理

*3：既設建屋については、地震観測記録を踏まえたシミュレーション解析に基づく初期剛性低下を考慮

*4：新設建屋であることから、初期剛性低下は考慮せず、コンクリートの設計基準強度に基づく初期剛性を用いる。

*5：基準地震動 S s 入力前後の建屋の 1 次ピーク振動数の比から算定した剛性比によって補正

表 2-3 地震応答解析を実施する解析ケースの整理（土木構造物）

構造物名 *1	基本ケース		不確かさケース							
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7	ケース 8	ケース 9	ケース 10
	・設計基準強度 ・標準地盤 ・全応力解析	・設計基準強度 ・標準地盤 ・全応力解析 ・水平動位相反転	・設計基準強度 ・地盤物性+ σ ・全応力解析	・設計基準強度 ・地盤物性- σ ・全応力解析	・コンクリート実強度 ・標準地盤 ・全応力解析	・設計基準強度 ・地盤物性+ σ ・全応力解析 ・水平動位相反転	・設計基準強度 ・地盤物性- σ ・全応力解析 ・水平動位相反転	・コンクリート実強度 ・標準地盤 ・全応力解析 ・水平動位相反転	・設計基準強度 ・地盤物性- σ ・有効応力解析	・設計基準強度 ・地盤物性- σ ・有効応力解析 ・水平動位相反転
復水貯蔵タンク基礎 (VI-2-2-5)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
海水ポンプ室 (VI-2-2-7)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第 3 号機海水ポンプ室 (VI-2-2-9) *2	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
原子炉機器冷却海水 配管ダクト（水平部） (VI-2-2-11)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
軽油タンク室 (VI-2-2-13)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
軽油タンク室 (H) (VI-2-2-15)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
ガスタービン発電設備 軽油タンク室 (VI-2-2-17)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
軽油タンク連絡ダクト (VI-2-2-19)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
排気筒基礎 (VI-2-2-25)	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
排気筒連絡ダクト (VI-2-2-27)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注記*1：（ ）内に当該構造物の地震応答計算書の添付書類番号を記載する。

*2：今回工認においては、評価対象が剛である設備のみであり、床応答曲線を適用しないことから、最大応答加速度のみ整理

2.3 応答スペクトルの作成

2.2項で示した地震応答解析（基本ケース及び不確かさケース）から得られる加速度応答時刻歴を入力波として、応答スペクトルを作成する。以降、本資料では、基本ケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（基本ケース）」、不確かさケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（不確かさケース）」という。

2.4 機器の固有周期のずれ等の影響

2.3項で作成した応答スペクトル（基本ケース）に対して、J E A G 4 6 0 1 -1987を参照し、機器の固有周期のずれや地盤物性、建屋剛性、地盤ばね定数の算出式、減衰定数、模擬地震波の位相特性等といった因子の変動に伴う応答スペクトルの変動の影響をカバーすることを目的として、周期軸方向に±10%拡幅することとする（図2-2）。

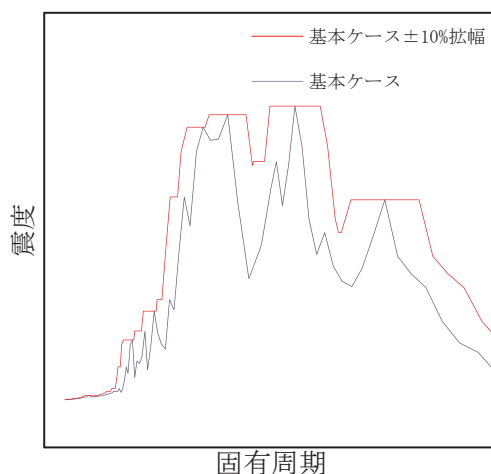


図 2-2 機器の固有周期のずれ等の影響を考慮した応答スペクトル

2.5 材料物性の不確かさ等の影響の考慮

2.4項で作成したものと、2.3項で作成した応答スペクトル（不確かさケース）を包絡させることにより、材料物性の不確かさ等の影響について配慮を行い、これを設計用床応答曲線とする（図2-3）。

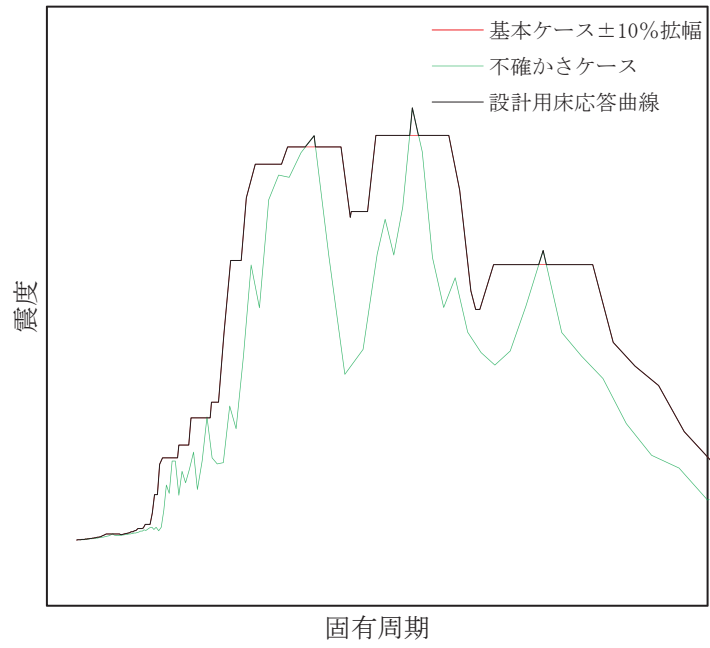


図 2-3 材料物性の不確かさ等の影響を考慮した応答スペクトル

2.6 誘発上下動の考慮

添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、地盤ばねには必要に応じて基礎浮上りによる非線形を考慮した解析を行うが、接地率が65%未満の場合は、誘発上下動を考慮できる浮上り非線形解析を行う。誘発上下動を考慮する場合、水平加振により励起される上下応答を評価するため、水平方向と鉛直方向の地震応答解析モデルを、基礎底面で回転・鉛直連成ばねを用いて連成した解析モデルを用い、水平方向の地震動を入力とした浮上り非線形地震応答解析を行う。

鉛直方向地震動に対する鉛直方向の応答時刻歴に、以下のとおり誘発上下動の応答時刻歴を時々刻々加算及び減算をする。

- ・ $V + V_{NS}$
- ・ $V - V_{NS}$
- ・ $V + V_{EW}$
- ・ $V - V_{EW}$

ここで、

V : 鉛直方向地震動に対する鉛直方向の応答時刻歴

V_{NS} : NS方向地震動に対する誘発上下動の応答時刻歴

V_{EW} : EW方向地震動に対する誘発上下動の応答時刻歴

上記で得られた応答加速度時刻歴から最大応答加速度及び床応答曲線を算出し、包絡したものを設計に適用する。

基準地震動 S_s に対して誘発上下動を考慮した解析ケースを表 2-4～表 2-6 に示す。緊急用電気品建屋及び緊急時対策建屋については、すべての解析ケース及び入力地震動に対して接地率が65%以上となるため、誘発上下動は考慮しない。

また、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析においては、すべての解析ケース及び入力地震動に対して接地率が65%以上となるため、誘発上下動は考慮しない。

なお、建屋－大型機器連成地震応答解析においては、補足説明資料「補足-600-8-1 建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」に示すとおり、不確かさケースでは、鉛直方向は基準地震動 $S_s - D2$ の解析のみ実施しているが、 $S_s - D2$ において誘発上下動を考慮するケースはないため、誘発上下動は考慮しない。

表 2-4 原子炉建屋の解析において誘発上下動を考慮するケース及び地震動

地震動	ケース 1		ケース 2		ケース 3		ケース 4		ケース 5		ケース 6	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
S s - D 1	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
S s - D 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - D 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - F 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - F 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - F 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - N 1	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-

○：誘発上下動を考慮 -：誘発上下動を考慮しない

8

表 2-5 制御建屋の解析において誘発上下動を考慮する解析ケース及び地震動

地震動	ケース 1		ケース 2		ケース 3		ケース 4		ケース 5		ケース 6	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
S s - D 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
S s - D 2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
S s - D 3	-	○	-	○	-	○	-	○	-	○	-	○
S s - F 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S s - F 2	○	-	-	-	-	-	-	○	-	○	-	○
S s - F 3	-	○	-	-	-	-	-	○	-	○	-	○
S s - N 1	○	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○

○：誘発上下動を考慮 -：誘発上下動を考慮しない

表 2-6 第 3 号機海水熱交換器建屋の解析において誘発上下動を考慮する解析ケース及び地震動

地震動	ケース 1		ケース 2		ケース 3		ケース 4		ケース 5		ケース 6	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
S s - D 1	○	○	○	○	○	○	—	○	—	○	—	○
S s - D 2	○	○	○	○	○	○	—	○	—	○	—	○
S s - D 3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
S s - F 1	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S s - F 2	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S s - F 3	○	○	○	○	○	○	—	○	—	○	—	○
S s - N 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

○：誘発上下動を考慮 —：誘発上下動を考慮しない