

本資料のうち、枠囲みの内容は  
商業機密の観点から公開でき  
ません。

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-19-0600-7_改4
提出年月日	2021年12月6日

補足-600-7 機器・配管系の耐震設計における  
剛柔判定を行う固有周期について

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 剛柔判定を行う固有周期の考え方.....	1
3. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法.....	2
4. 実機に対する適用性.....	3
5. 剛柔判定に係る閾値の検討.....	10

別紙 緊急時対策建屋及び緊急用電気品建屋に設置される設備の高振動数領域の応答に係る影響検討

## 1. はじめに

女川原子力発電所第2号機における機器・配管系の耐震設計においては、当該設備が柔構造と判断される場合には、動的解析により地震力を算定し、剛構造と判断される場合には、機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を震度(1.2ZPA)とした静的解析により地震力を算定するが、この剛柔判定を行う閾値として固有周期0.05秒(20Hz)を適用している。

本検討においては、0.05秒以下の領域も考慮した地震応答解析を行い、剛柔判定を行う閾値として固有周期0.05秒を適用していることの妥当性を検討する。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2 耐震性に関する説明書」

## 2. 剛柔判定を行う固有周期の考え方

剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲の概要を図1に示す。剛柔判定の固有周期は、地震動による応答増幅が大きくなる建物・構築物の卓越周期から十分離隔した位置に設定し、動的解析の適用要否の決定に用いている。なお、この考え方は、J E A G 4 6 0 1 - 1970 に示されている。

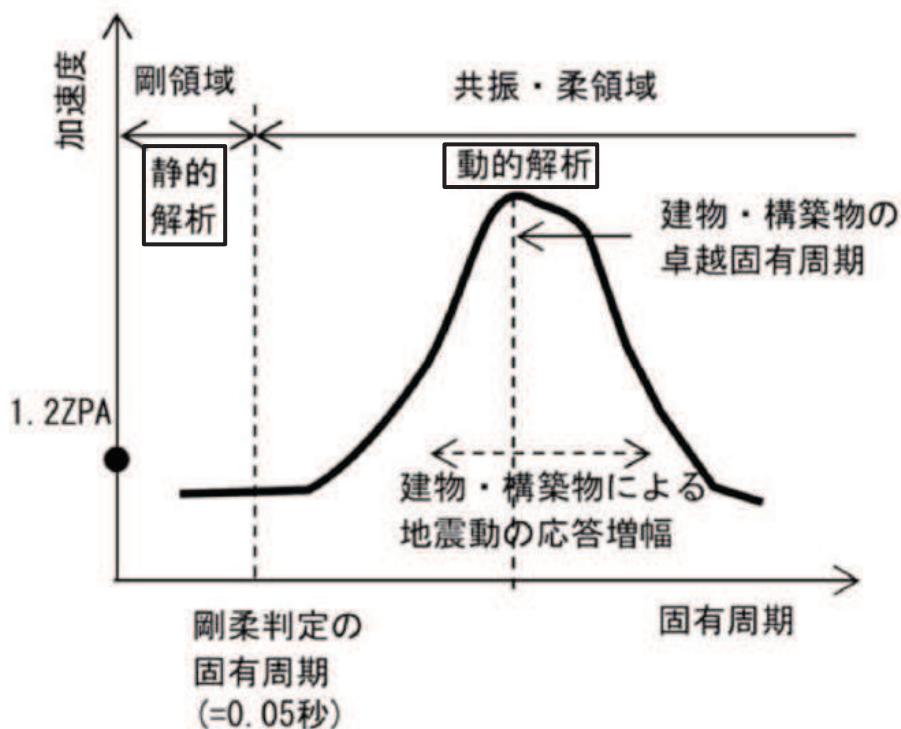


図1 床応答スペクトルにおける剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲の概要

### 3. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法

J E A G 4 6 0 1 -1987 の抜粋を図 2 に示す。機器・配管系の剛柔判定については、J E A G 4 6 0 1 -1987 に例示されているとおり、機器・配管系の 1 次固有周期が 0.05 秒以下の場合には剛構造、0.05 秒を超える場合には柔構造とする。この方針は、既工認と同じである。

機器・配管系の耐震設計では、剛柔判定の固有周期 0.05 秒を超える場合は、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  に対して動的解析により行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。固有周期が 0.05 秒以下の場合には、機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度 (1.2ZPA) とした静的解析により地震力を算定する。

#### 6.4.3 動的地震力の概要

機器・配管系の耐震設計に用いる動的地震力は、重要性の高い  $A_s$  クラス機器の地震力を基本に定めるものである。本項では、その概要を示し、地震力算定の詳細は「6.5 地震応答解析」に述べることとする。

##### (1) $A_s$ 及び A クラス機器

A クラス機器に関しては、基準地震動  $S_1$  に対し動的解析（地盤－建屋－機器連成の解析あるいは据付位置における設計用床応答スペクトルを用いた解析等）により算定される水平地震力を適用する。A クラス機器の中で特に重要な  $A_s$  クラス機器に関しては、さらに基準地震動  $S_2$  に対し動的解析によって得られる水平地震力をも適用する。ただし、その機器が剛構造と判断される場合（例えば機器の 1 次固有振動数が 20Hz 以上、あるいは、設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い固有振動数を有する場合）には、その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する。なお、 $A_s$ 、A クラスの機器については鉛直地震力をも考慮し、基準地震動の最大加速度を 1/2 とした鉛直震度（高さ方向については一定とする）より求まる鉛直地震力を水平地震力と同時に不利な方向で組合せる。

図 2 J E A G 4 6 0 1 -1987 (抜粋)

#### 4. 実機に対する適用性

J E A G 4 6 0 1 -1987 の記載は、水平方向の動的解析への適用として剛柔判定の固有周期 0.05 秒の考え方を示したものである。新規制基準においては、鉛直方向についても水平方向と同様に動的な扱いとするため、鉛直方向も含め剛柔判定の固有周期 0.05 秒が地震力算定に適用可能であることを検討した。本検討に際して参照した J E A G 4 6 0 1 -1970 の抜粋を図 3 に示す。J E A G 4 6 0 1 -1970 には建物・構築物の卓越固有周期の  $1/2$  を剛柔判定の固有周期とするとの考え方が示されており、原子力発電所の建物・構築物の卓越周期は一般に、0.1~0.5 秒(2~10Hz)であることを考慮して、0.05 秒を剛柔判定の固有周期とすれば十分であると記載されている。

女川原子力発電所第 2 号機の原子炉建屋地震応答解析モデルに基づく、水平方向及び鉛直方向における固有周期を表 1 及び表 2 並びに図 4~図 6 に示す。建屋の卓越固有周期は水平方向は 0.2 秒以上、鉛直方向は 0.1 秒以上であり、剛柔判定の固有周期 0.05 秒は、原子炉建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔(卓越固有周期の  $1/2$  以下)をもって設定されている。なお、表 1 及び表 2 並びに図 4~図 6 に示した固有周期に係る詳細は添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

加速度応答スペクトルを図 7 に、変位応答スペクトルを図 8 に示す。加速度応答スペクトルでは 0.05 秒未満で一定の加速度を有するが、変位応答スペクトルにおいては固有周期 0.05 秒で概ね収斂している。

上記の検討結果より、既工認と同じ剛柔判定の固有周期 0.05 秒は、建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔をもっており、女川原子力発電所第 2 号機の水平及び鉛直方向の地震力算定に適用可能であることを確認した。

原子力発電所の場合について一般的にみると、地盤の卓越振動数、構築物の固有振動数をあわせ考えて、2~10 Hz が取付け点の卓越振動数域すなわち床応答曲線が持ち上る領域と考えられる。したがって動特性がまったく不明な場合には一応これより共振領域としては 1~20 Hz を考えれば一応十分であろう。

そこで固有振動数の評価に当たって重要なことは、対象となっている機械系が固有振動数解析を必要とする範囲にあるか否かを判定することである。明らかに 20 Hz よりはるかに高い固有振動数を有すると推定される対象につき、多くの計算を行なう必要はない。その推定は在来の経験であってもよし、対象物あるいはそれと類似な機器についての試験の結果であってもよい。この試験もたとえば簡単に木槌でたたいてみるといったことであってもよいのである。ときには、これによって支持金具の不完全さなどを見出すことができる。

図 3 J E A G 4 6 0 1 -1970 (抜粋)

表 1 原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（水平方向）

次数	NS 方向		EW 方向	
	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1 次	0.237	4.21	0.230	4.36
2 次	0.123	8.12	0.125	8.01

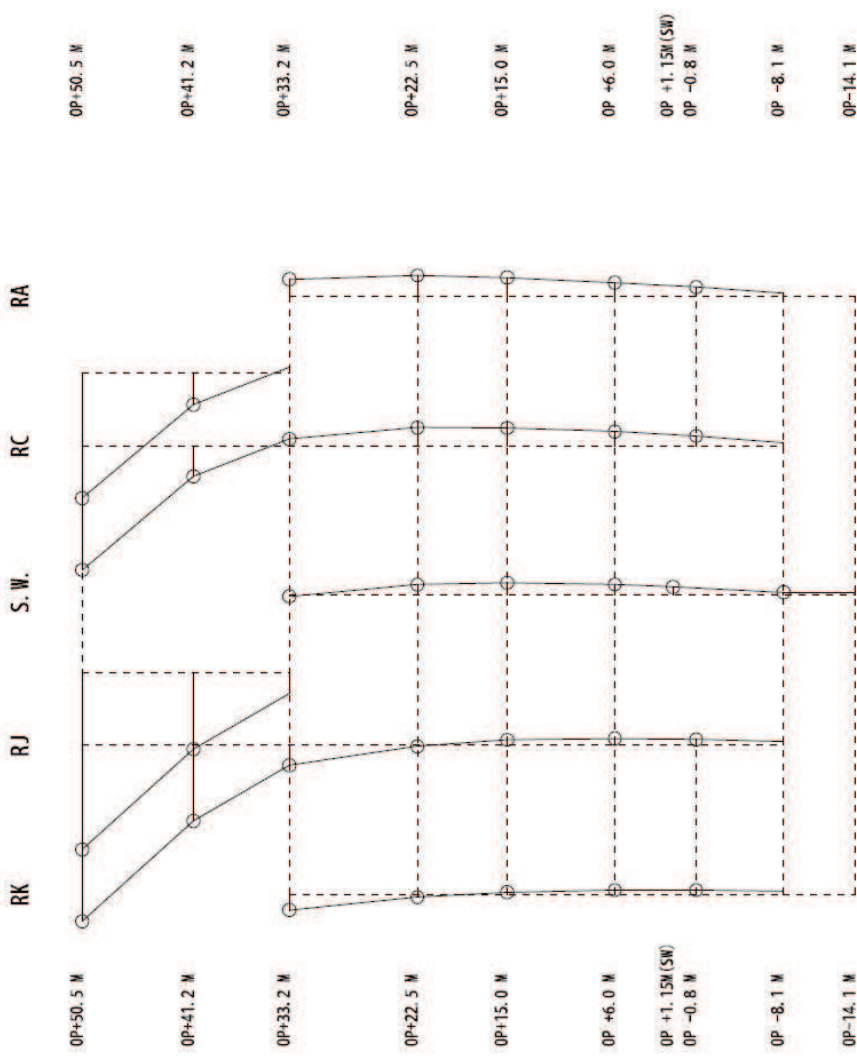
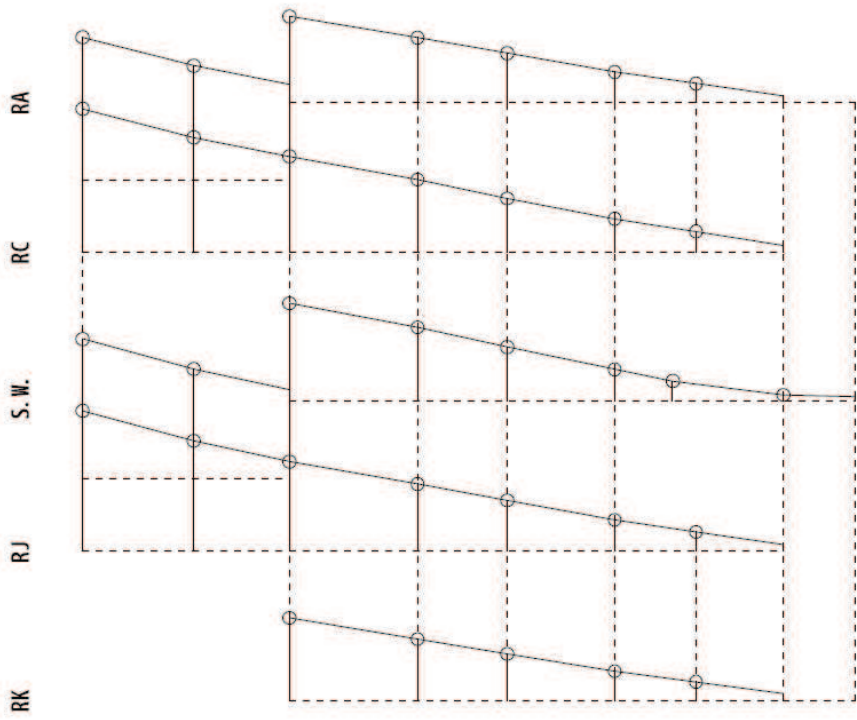
表 2 原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（鉛直方向）

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
2 次*	0.100	9.96

注記\*： 屋根トラス部が卓越するモード除く

固有周期 0.237 s  
固有振動数 4.21 Hz  
刺激係数 2.203

固有周期 0.123 s  
固有振動数 8.12 Hz  
刺激係数 2.718



1次モード

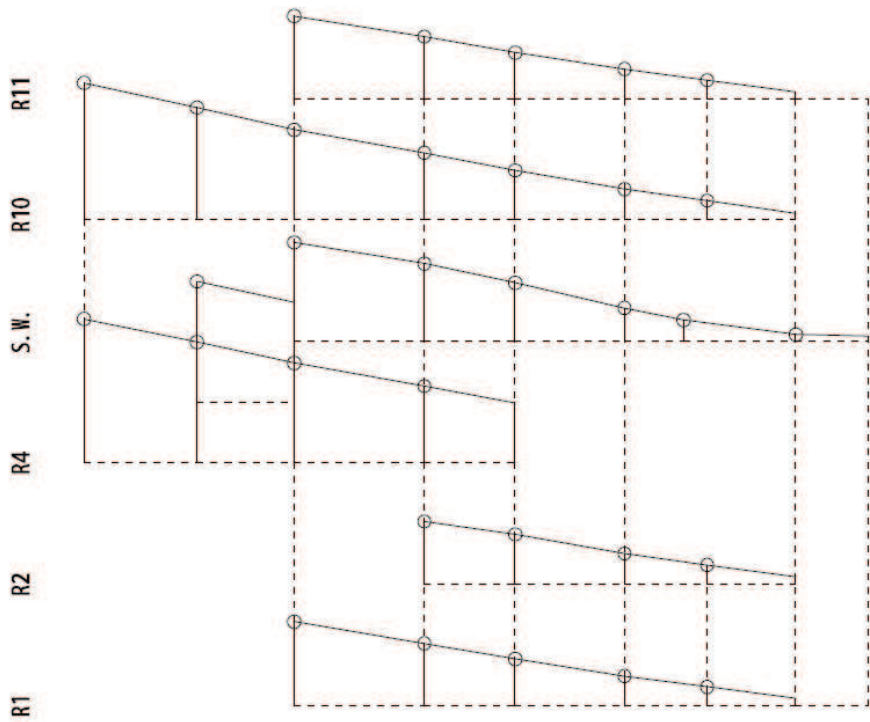
2次モード

図4 刺激関数図 (NS 方向)



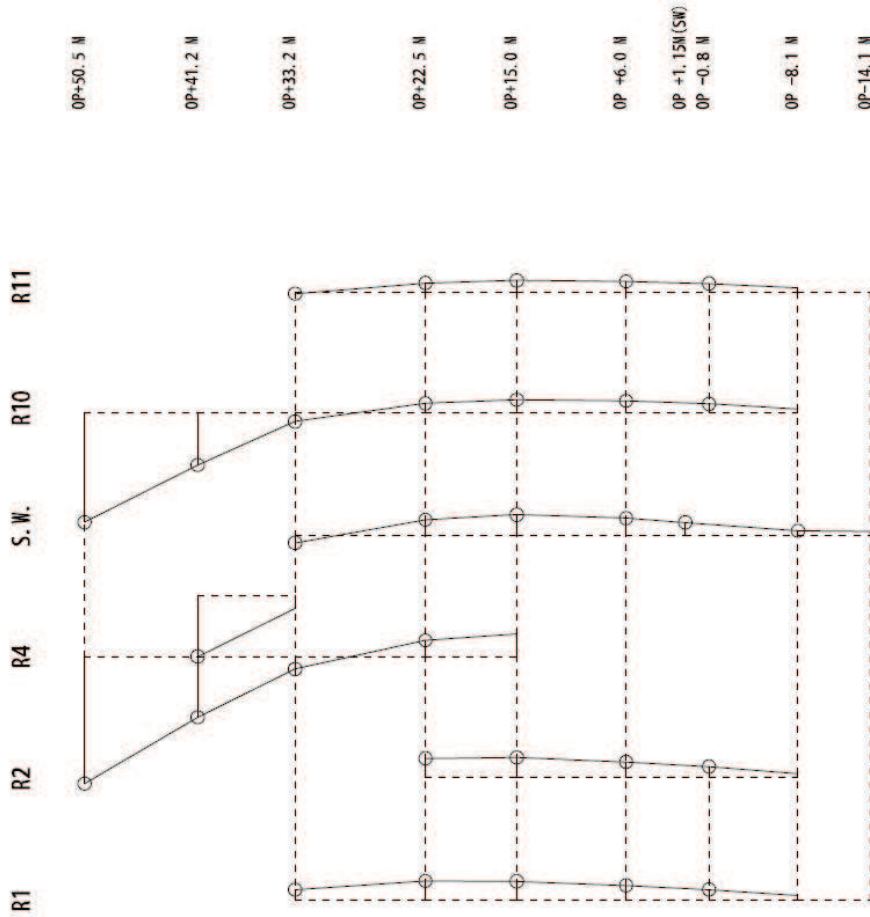
固有周期 0.230 s  
固有振動数 4.36 Hz  
刺激係数 2.179

-1 0 +1



固有周期 0.125 s  
固有振動数 8.01 Hz  
刺激係数 1.925

-1 0 +1



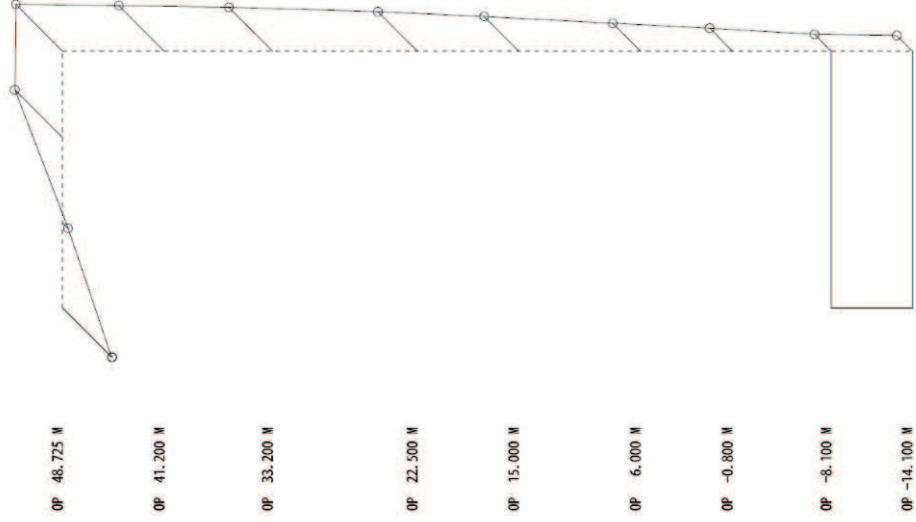
1次モード

2次モード

図5 刺激関数図 (EW 方向)



固有周期 0.100 s  
 固有振動数 9.96 Hz  
 刺激係数 1.586



## 2次モード

図6 刺激関数図 (鉛直方向)

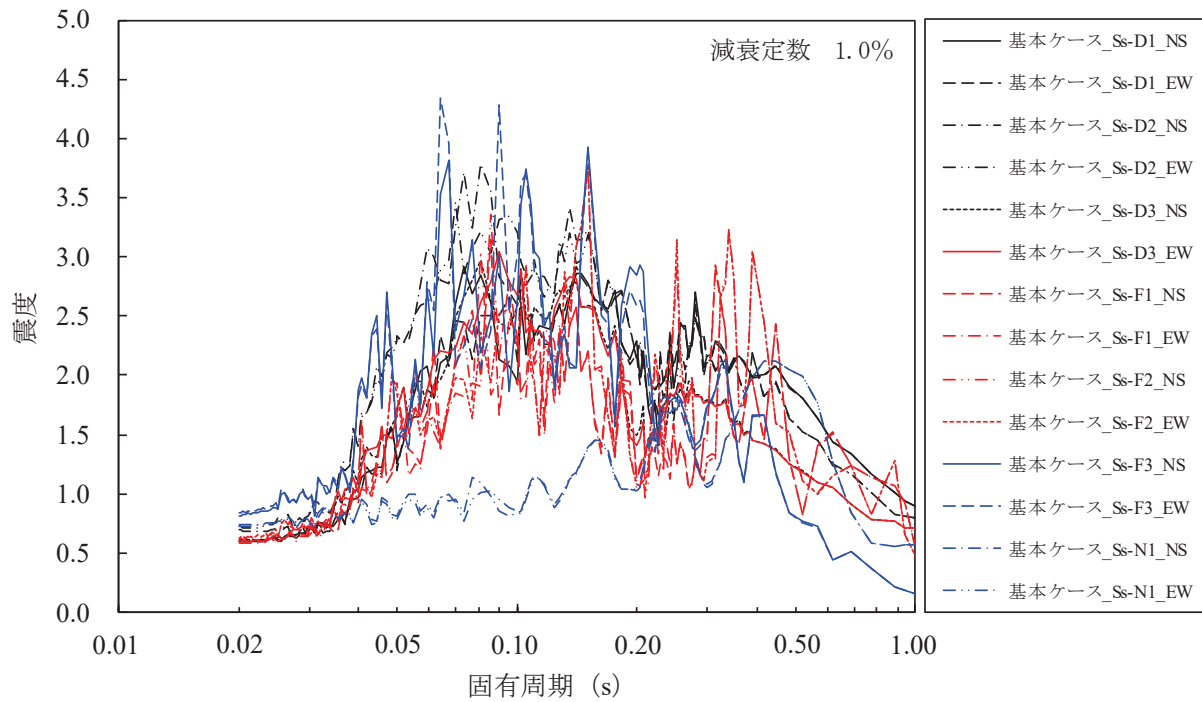


図 7-1 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

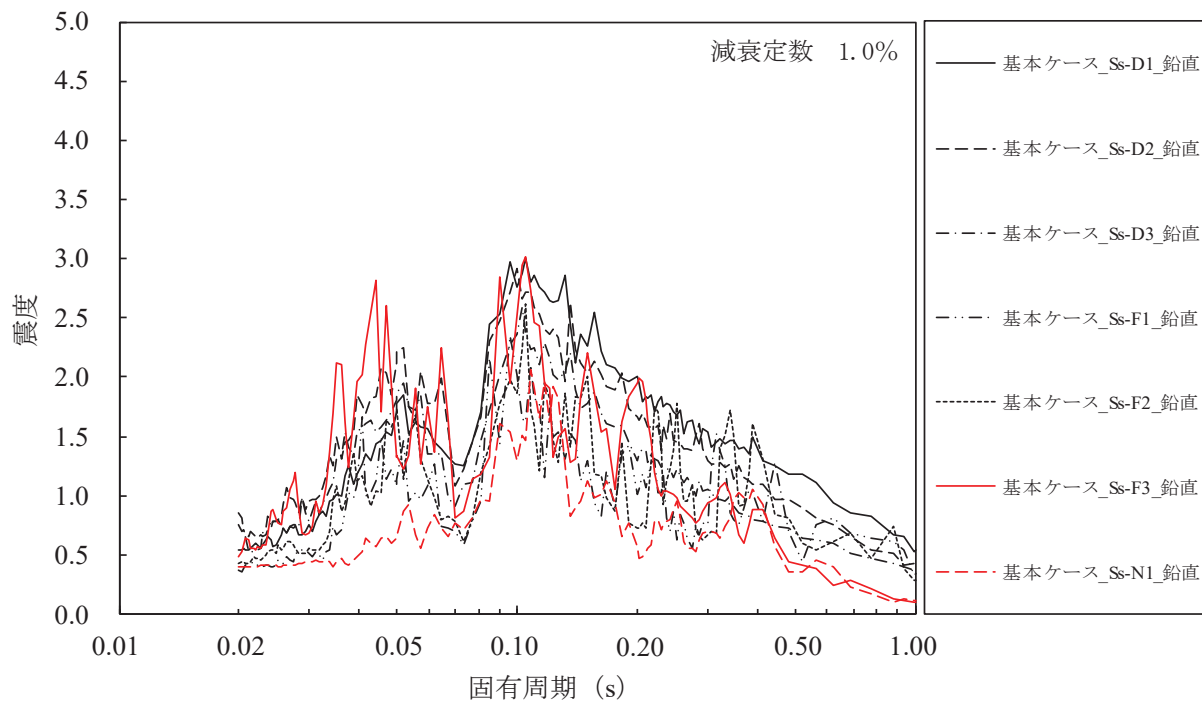


図 7-2 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

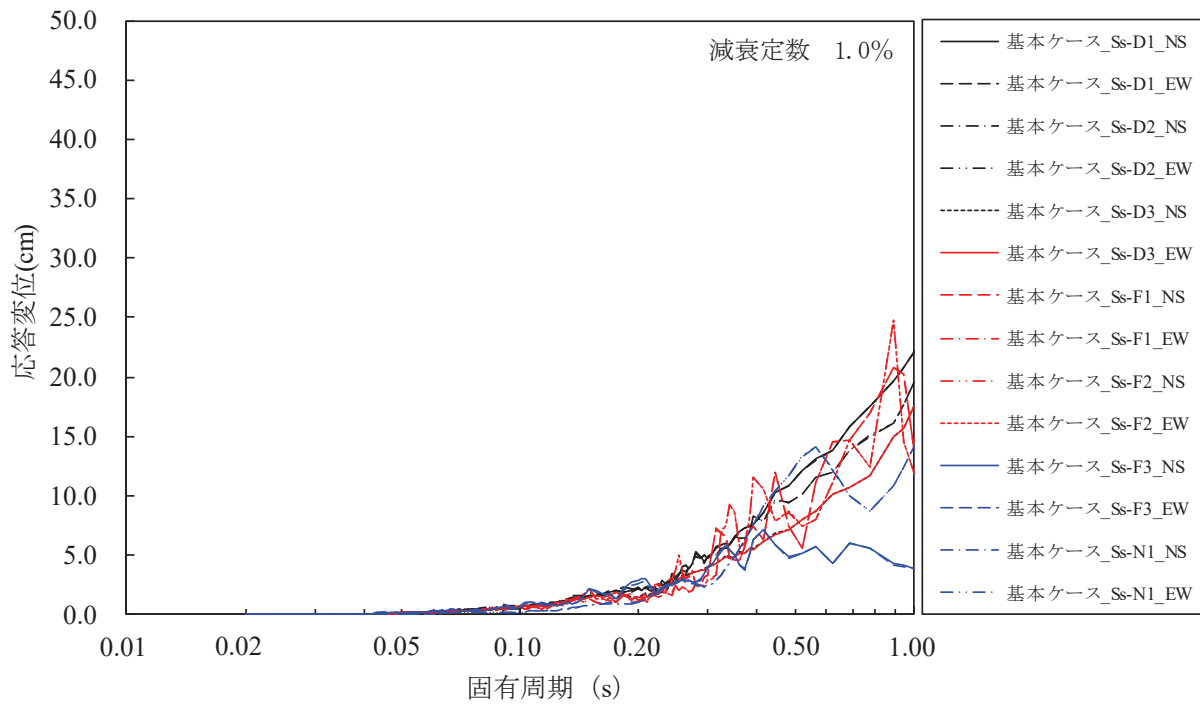


図 8-1 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の変位応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

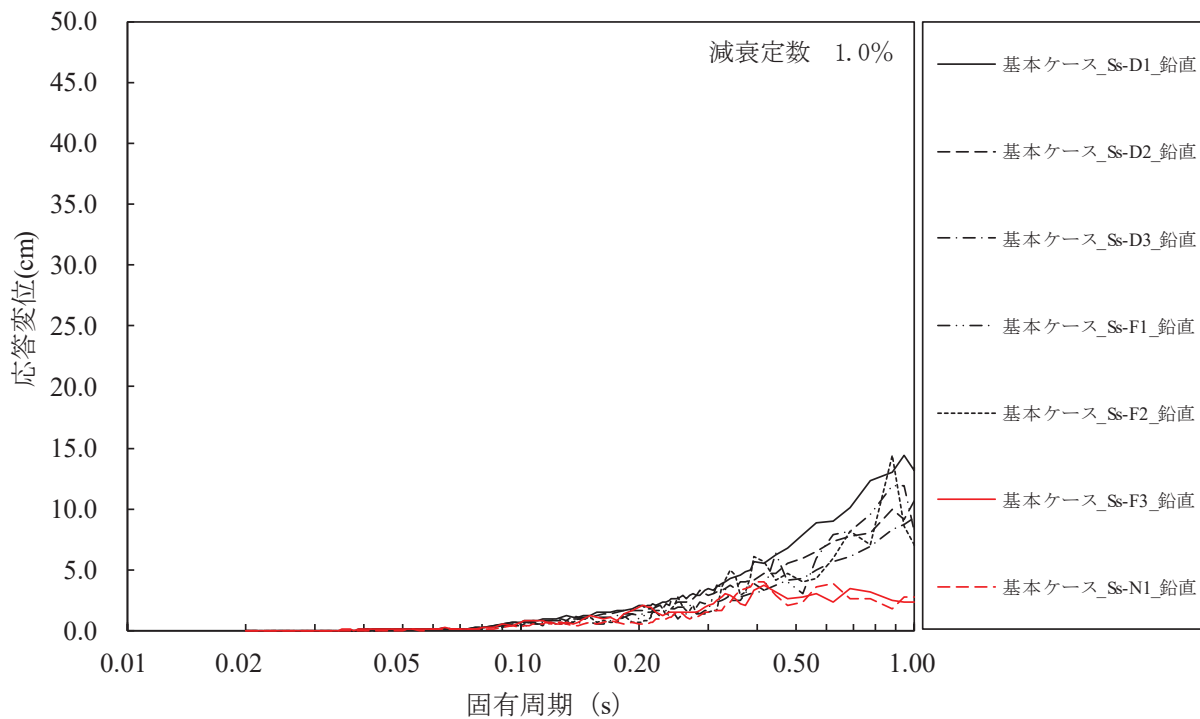


図 8-2 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の変位応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

## 5. 剛柔判定に係る閾値の検討

### (1) 剛柔判断の閾値を 0.05 秒とすることに関する知見

地震動の高振動数領域においては地震力が短い周期で交番することから地震による変位やエネルギーが小さくなる傾向があり、設備の損傷の観点からは影響は小さいと考えられることから、0.05 秒を剛柔判断の閾値としている。この地震動の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいとの考え方は、米国における地震時の点検・再起動等においても取り入れられている。

女川 2 号機の耐震評価において剛柔判断の閾値を 0.05 秒と設定することを踏まえ、地震動の 0.1 秒以下の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいと検討されている既往知見について以下に整理する。

- a. J E A G 4 6 0 1 -1987 版で機器が剛構造と判断される場合の例示として、1 次固有振数が 20Hz 以上、あるいは、設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い振動数を有する場合を掲示している。また、J E A G 4 6 0 1 -1970 では、一般的なものとして、2~10Hz が取付け点の卓越振動数域と考えられ、共振領域としては 1~20Hz を考えれば十分であろうとしている。(当該部分の抜粋は図 2, 3 に示す。)

J E A G 4 6 0 1 -1987 における剛柔判断の固有振動数 20Hz 以上の考え方は、水平方向の動的解析への適用として示したものであるが、鉛直方向においても J E A G 4 6 0 1 -1970 の考え方にに基づき、原子炉建屋の卓越固有周期が剛柔判断の固有周期 0.05 秒に対して、十分な離隔を有することを確認している。また、構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトルにおける 0.1 秒での応答について概ね収斂していることを確認している。

- b. 過去に、観測された地震動が 0.1 秒以下の周期領域のみで設計時に適用した地震応答スペクトルを超えた原子力発電所では、耐震設計上重要な施設（女川 2 号機においては耐震 S クラス及び波及的影響を考慮する設備）に対して被害の発生が無い。

#### 【周期 0.1 秒以下で設計時の想定を超える地震動が観測された原子力発電所】

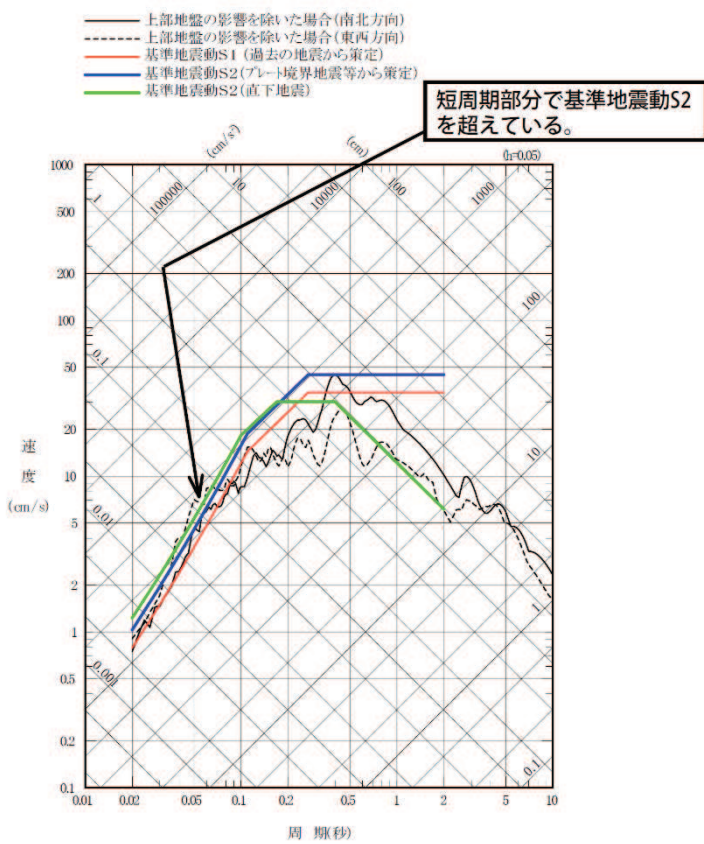
女川原子力発電所（2005 年宮城県沖地震，2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震）\*1

米国 Perry 原子力発電所（1986 年 Leroy 地震）\*2

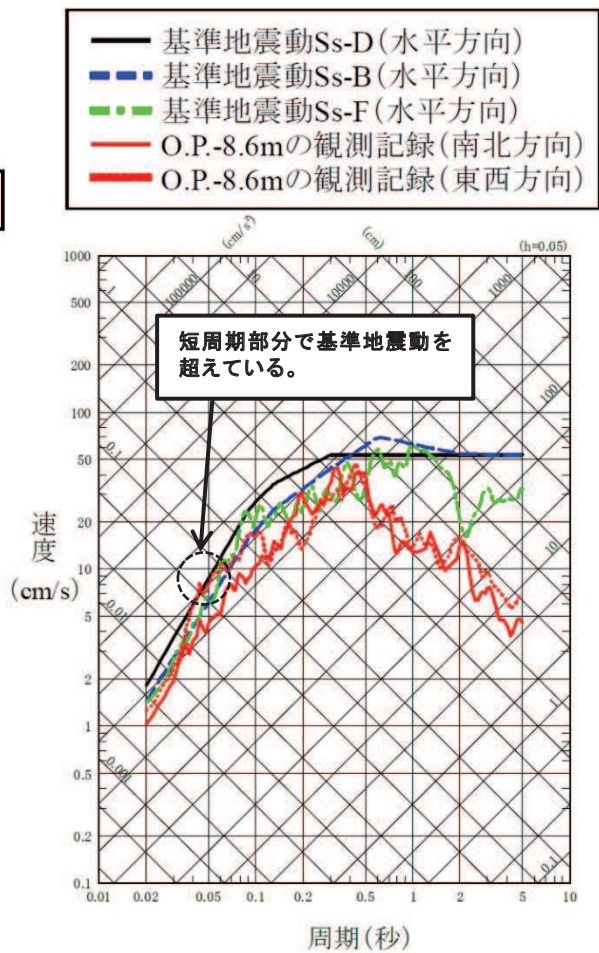
米国 Summer 原子力発電所（1978 年小規模地震多数）\*2

\*1：観測記録の分析結果について図 9 に示す。

\*2：(出典) EPRI 1988.7 A Criterion for Determining Exceedance of the  
Operating Basis Earthquake



(2005年宮城県沖地震)



(2011年4月7日宮城県沖の地震)

図9 女川原子力発電所における過去の地震の観測記録分析結果



- c. 気象庁の震度階： 近地地震などでは短周期成分が多く含まれており、日本では経験的に地振動と破壊の状態との関係を震度で示している。気象庁震度階の元となっている計測震度では、周期 0.1 秒よりも短周期側の地震動成分をフィルタでカットしている。計測震度の算出方法について、図 10 に気象庁ホームページに公開されている内容の抜粋を示す。

### 計測震度の算出方法

1 経緯

震度観測のあり方について検討するため、昭和60年3月、気象庁に発足した震度観測検討委員会は、昭和63年2月にとりまとめられた検討結果報告において、震度観測を計測化する場合の算出式を提案している。それは、河角による震度と最大加速度の関係式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 \quad (1)$$

に、体感による震度とより一致するよう周期の影響を考慮した項を加えた式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 + \log(k \cdot t) \quad (2)$$

で、更に継続時間的要素についても考慮するとしている。ここで、

I : 震度(四捨五入にして整数値とする、また、この式を用いるのは震度6までで、震度7の判定は被害状況の調査による)

$a_m$  : 最大加速度 (gal = cm/sec<sup>2</sup>)

t : 周期(sec) (0.1 ≤ t ≤ 1.0の範囲に限る)

k : 係数

である。

図 10 計測震度の算出方法 (抜粋)

(<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/shindo-kentokai/hensen.pdf>)  
より転載

- d. 米国の規格： 地震後の対応に関する米国の規格：Nuclear Plant Response to an Earthquake (ANSI/ANS-2.23-2002) では、観測された地震が設計用の地震動を超えたか否かの判定 (OBE Exceedance Criteria) で、応答スペクトルで 0.1 秒以下の周期帯について考慮外としている。本規格では、CAV (Cumulative Absolute Velocity) という指標を導入して観測された地震動の有効性 (構造物の破壊に対する影響度) を判定している。

原波形と 0.1 秒のフィルタを掛けた波形について各々 CAV を算出し、その比を地震による影響の程度を示す震度 (米国では修正メルカリ震度を使用している) に対してプロットすると、破損が生じるといわれる修正メルカリ震度 VII 程度以上で安定し、0.1 秒のフィルタを掛けた波形が破損との関係をより良く表している。

- e. 米国電力研究所の調査\*： 10Hz を超える振動数領域における高加速度振動による設備の影響について調査を行い、一部の設備を除き影響は無視できると結論付けている。

固有振動数が低い設備は高振動数領域の加速度には影響を受けず、また、固有振動数が



高い設備についても、高振動数領域における加速度では変位や応力が小さくなるため、高振動数領域で SSE (Safety Shutdown Earthquake) を超える地震動に見舞われた米国内の発電所（上記 b. の発電所）において、設備に影響が無かったことも紹介されている。

\*出典： EPRI 2006.12 Program on Criterion Technology Innovation: The Effects of High-Frequency Ground Motion on Structures, Components, and Equipment in Nuclear Power Plants

なお、b. ～d. についての情報は、一般社団法人日本原子力技術協会（現一般社団法人原子力安全推進協会）地震後の機器健全性評価ガイドライン（平成 24 年 3 月）にまとめて記述されている。

(<http://www.gengikyo.jp/archive/pdf/JANTI-SANE-G1.pdf>)

(2) 変位応答スペクトルを踏まえた剛柔判定の検討

女川原子力発電所第2号機の原子炉压力容器（O.P. 28.600m）における基準地震動  $S_s$  による加速度応答スペクトルを図 11 に示す。また、同様に変位応答スペクトルを図 12 に示す。

加速度応答スペクトルでは 0.05 秒未満で一定の加速度を有するが、構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトル\*の卓越周期に対し、剛柔判定の固有周期 0.05 秒は、十分な離隔をもって設定されていることが分かる。

\*： 機器・配管系の動的解析に適用されるスペクトルモーダル解析（J E A G 4 6 0 1 -1987 P565, 567）では、加速度応答スペクトルから各モードに対応する応答変位を求め、この応答変位に剛性を乗じて部材力（曲げモーメント、せん断力等）を算出している。

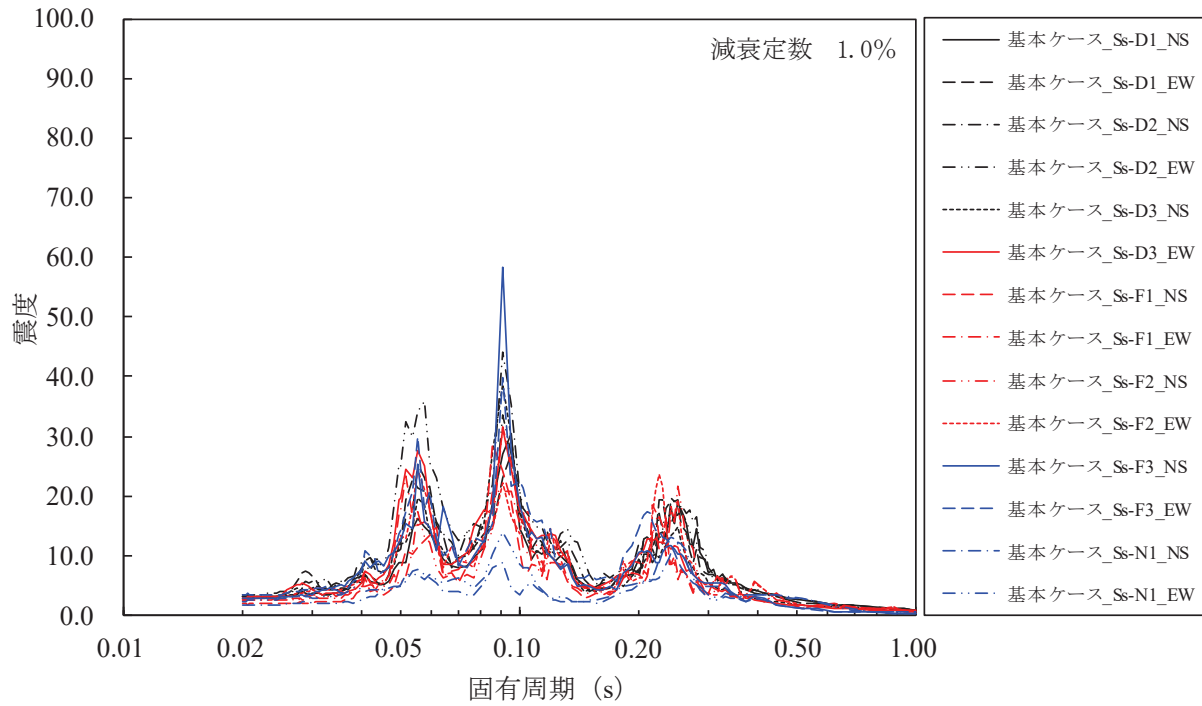


図 11-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

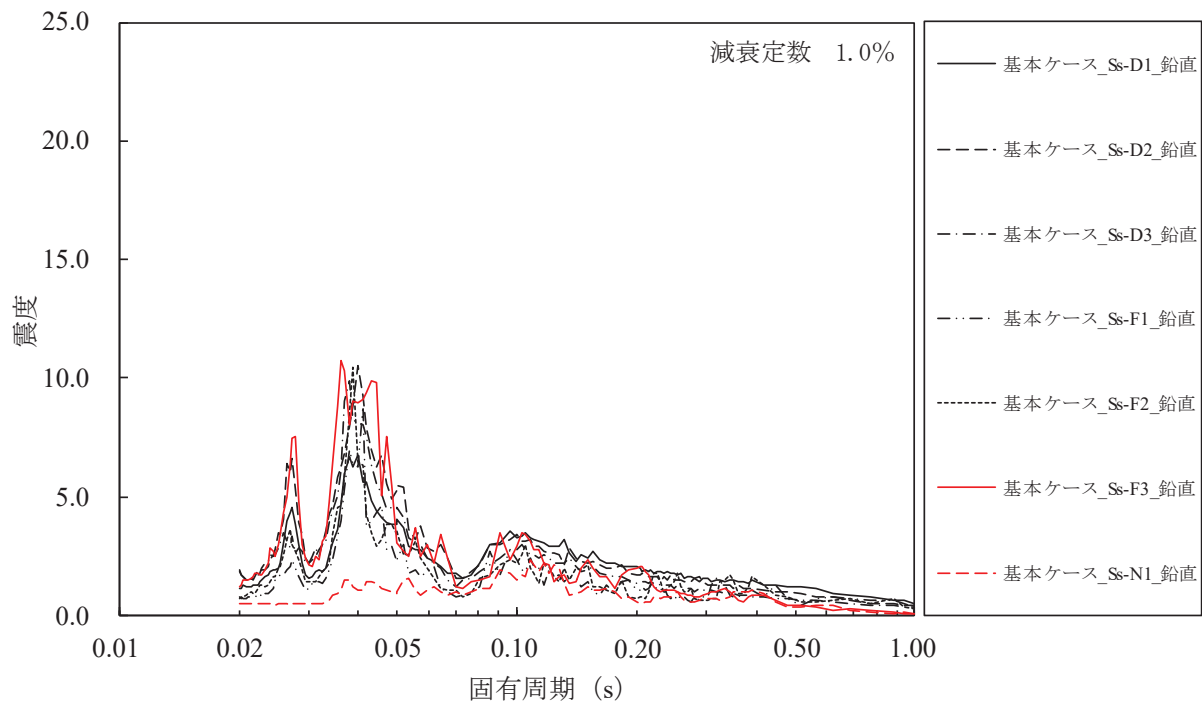


図 11-2 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

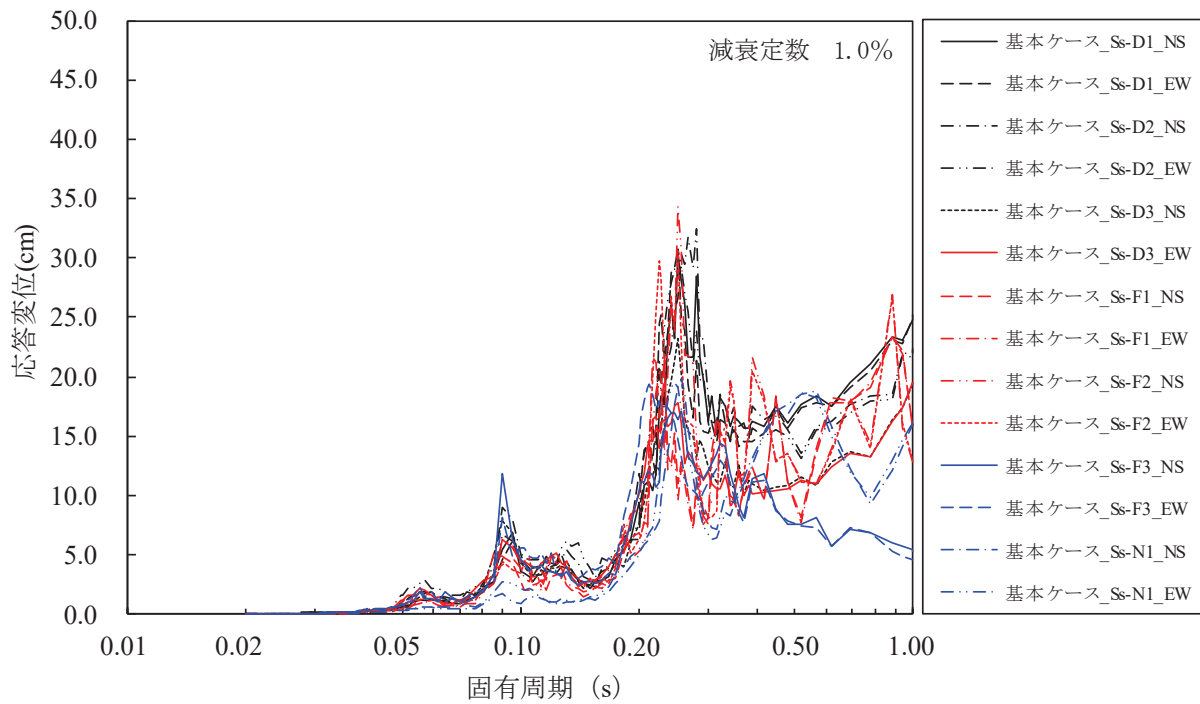


図 12-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の変位応答ペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

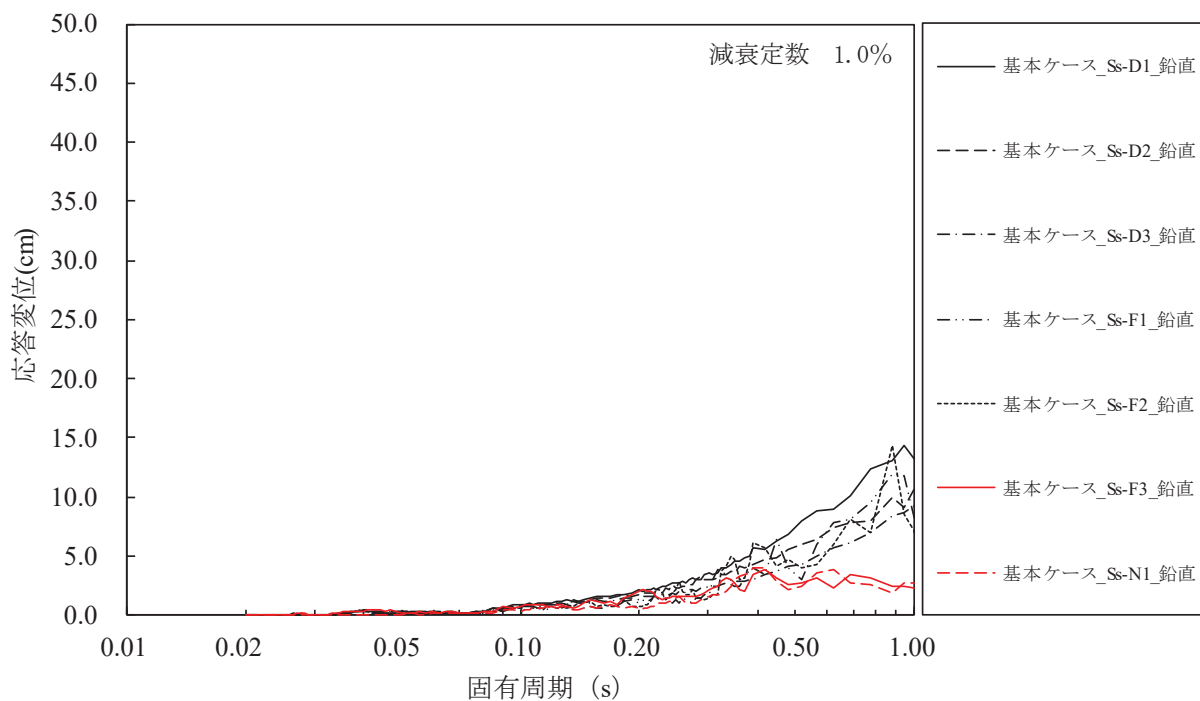


図 12-2 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の変位応答ペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

(3) 動的解析において0.05秒を超える（20Hz未満）範囲を考慮することの妥当性確認

本項では現行の動的解析において考慮する固有振動数の範囲は0.05秒を超える（20Hz未満）範囲としていることについて、構造強度設計を行う上で妥当であること、すなわち、変位応答スペクトルをベースに設定した剛柔判定の固有周期が耐震設計を行う上で妥当性を有していることを確認する。なお、弁の動的機能維持評価に適用する加速度の算定方法については、「補足-600-14-2 弁の動的機能維持評価について」に示す。

a. 検討対象設備

検討対象設備は、20Hz近傍に卓越する応答に対する検討を行う観点から20Hz近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備を選定する。また、設計用床応答曲線を20Hzまでを使用していることを踏まえて、1次固有振動数が20Hz近傍に有する設備を選定する。

(a) 20Hz近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備

耐震評価対象設備が最も多い原子炉建屋及び原子炉圧力容器等の大型機器類を代表として、以下の部位の床応答スペクトルについて確認した。加速度応答スペクトルを添付図1～4、最大応答加速度（1.2ZPA）を添付表1、2に示す。

- ・原子炉建屋
- ・原子炉圧力容器
- ・原子炉格納容器
- ・原子炉しゃへい壁
- ・原子炉本体の基礎

添付図1～4より、水平及び鉛直方向ともに高振動数領域（50Hz）へ向かうにつれて加速度は低下傾向にあるものの、20Hz近傍で応答が卓越している質点が複数あることが分かる。

そこで、各加速度応答スペクトルの結果から、20Hz近傍で最も加速度が大きい原子炉圧力容器 O.P. 28.600（水平方向）及び原子炉しゃへい壁 O.P. 21.550（鉛直方向）の設計用床応答曲線を適用するもののうち、一次応力の裕度が最も小さい残留熱除去系配管（モデル No. RHR-004, No. RHR-005）を対象として検討する。

なお、原子炉圧力容器（水平方向）及び原子炉しゃへい壁（鉛直方向）の設計用床応答曲線を適用し耐震評価を実施する設備を表3に示す。

表3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (1/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	1次固有周期 (s)
主蒸気系配管 (MS-001)		
主蒸気系配管 (MS-002)		
主蒸気系配管 (MS-003)		
主蒸気系配管 (MS-004)		
原子炉再循環系配管 (PLR-001)		
原子炉再循環系配管 (PLR-002)		
復水給水系配管 (FDW-001)		
残留熱除去系配管 (RHR-001)		
残留熱除去系配管 (RHR-002)		
残留熱除去系配管 (RHR-003)		
残留熱除去系配管 (RHR-004)		
残留熱除去系配管 (RHR-005)		
高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-001)		
低圧炉心スプレイ系配管 (LPCS-001)		
原子炉冷却材浄化系配管 (CUW-001)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (2/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	1次固有周期 (s)
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-004-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-005-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-006-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-003-3)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-017-3)		
放射性ドレン移送系配管 (RD-001)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (3/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	1次固有周期 (s)
放射性ドレン移送系配管 (RD-002)		
ほう酸水注入系配管 (SLC-003)		
ほう酸水注入系配管 (SLC-004)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-01A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-02A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-03A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-04A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-05A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-06A)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (4/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	1次固有周期 (s)
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN1014)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN1033)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN2033)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 1次固有振動数が20Hz近傍に有する設備

20Hz未満の範囲で20Hz近傍に1次固有振動数を有し、2次固有振動数が20Hz以上となる場合、2次以降の固有振動数が耐震評価に及ぼす影響が大きい可能性があることから、この条件に該当する設備を検討対象として選定する。20Hz近傍に1次固有振動数を有する配管系として、1次として□(Hz)、2次として□(Hz)の振動モードを有する制御棒駆動水圧系配管(モデルNo. CRD-007-3)を選定する。なお、CRD-007-3は原子炉格納容器内に設置された配管系であり、原子炉本体の基礎O.P. 4.950~7.040と制御棒駆動機構ハウジングO.P. 3.258の設計用床応答を適用する設備となっている。

また、20Hz以上の地震応答が剛性の大きい部位へ影響を及ぼす可能性を検討するため、サポートが多数設置され剛性が比較的大きくなる設備として弁を設置している配管を選定する。弁が設置された配管から1次固有振動数が20Hz近傍となっている残留熱除去系配管(モデルNo. RHR-009)を選定する。

b. 確認方法

図13に検討における地震応答解析で考慮する固有振動数領域を示す。本検討は、50Hzの領域まで作成した検討用の床応答曲線を適用した地震応答解析結果を用いて行う。

また、従来の耐震設計で適用している20Hzまでの領域を考慮した地震応答解析結果と比較する。なお、本検討における地震応答解析においては、水平2方向及び鉛直1方向を考慮した解析を実施する。

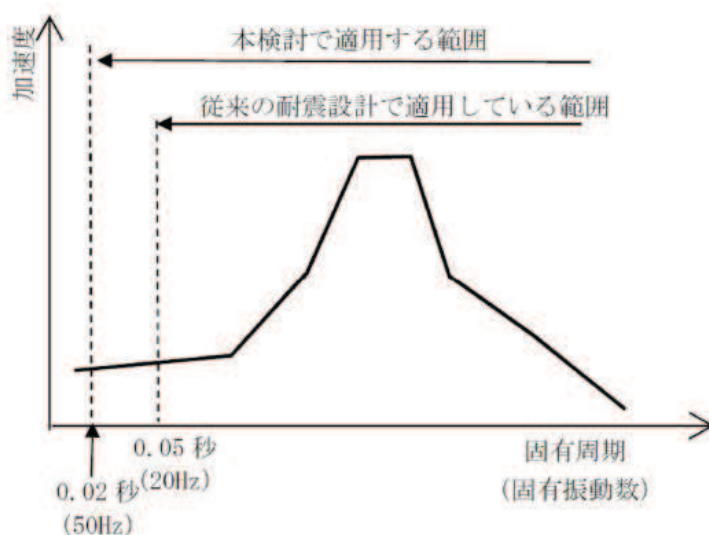


図13 地震応答解析で考慮する固有振動数領域

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. 検討用床応答曲線

地震応答解析に適用する検討用床応答曲線を図 14～図 16 に、検討用床応答曲線を包絡し解析に入力している包絡スペクトルを図 17 に示す。剛領域の設備応答の影響を確認する観点から、固有周期 0.02 秒 (50Hz) まで作成するとともに、設計用床応答曲線と同様に基本ケースについては周期軸方向に 10% 拡幅する。また、検討用床応答曲線の固有周期の計算間隔は、表 4 に示す計算間隔を用いる。

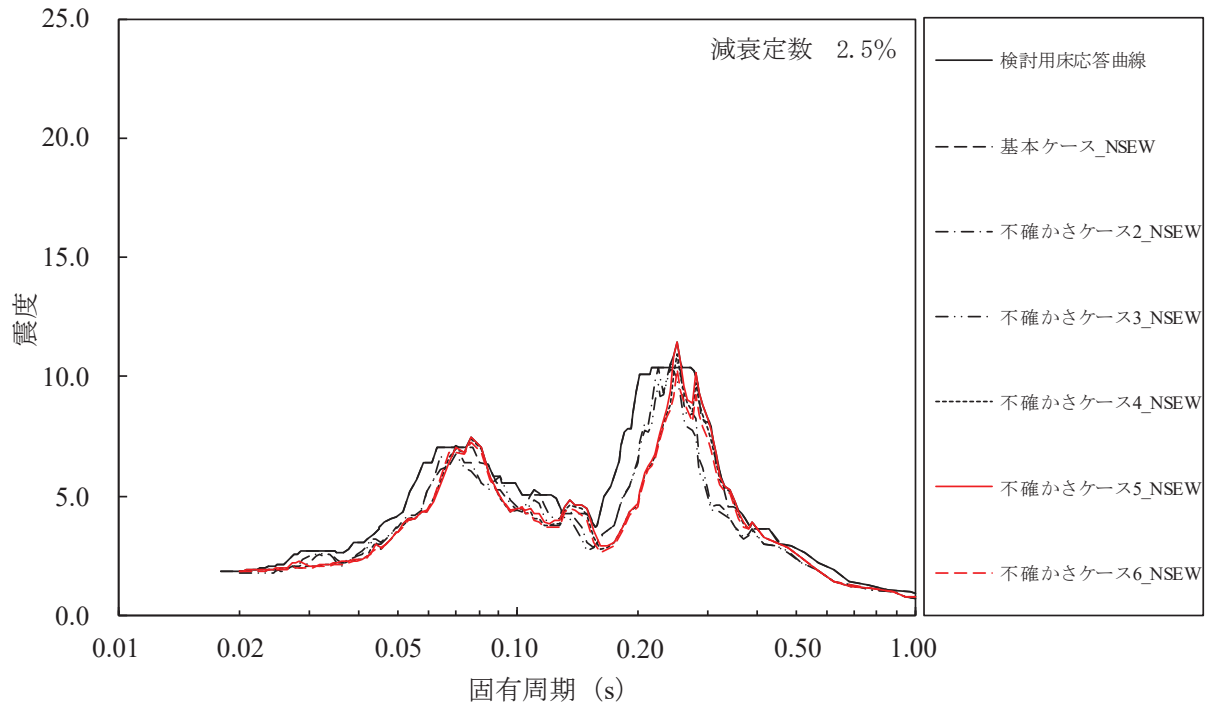


図 14-1 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉建屋（O.P. 22.500m，水平方向，減衰定数 2.5%）

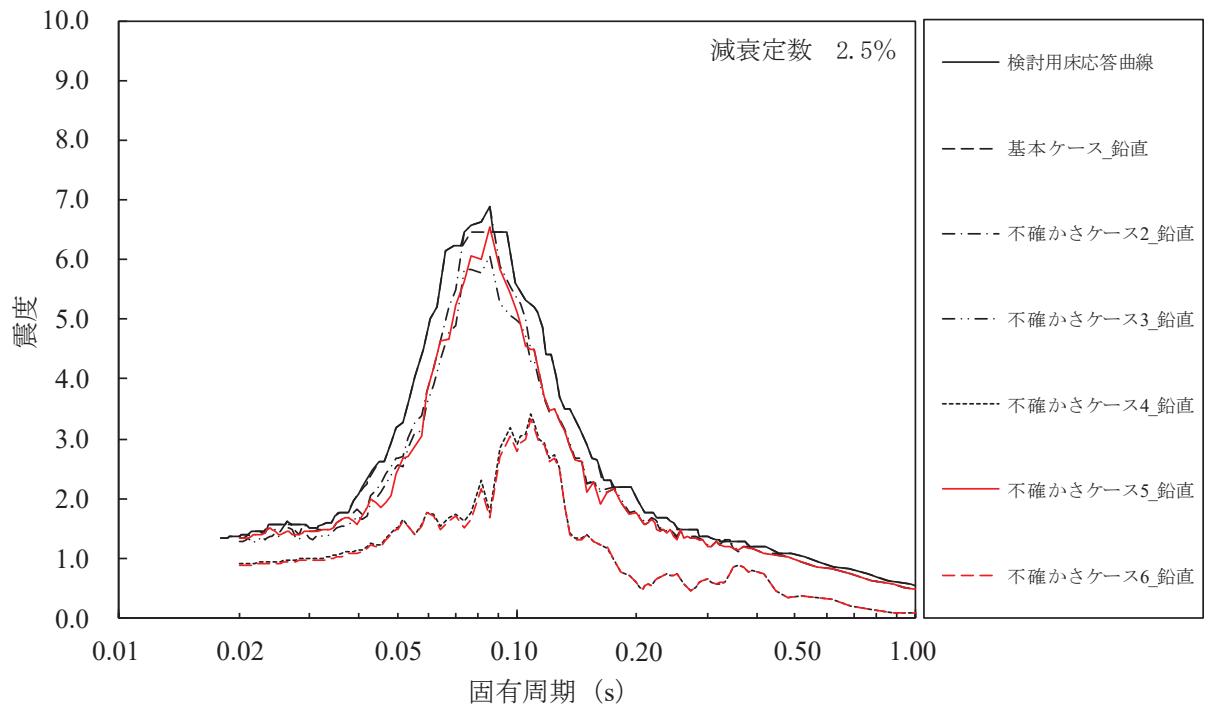


図 14-2 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉建屋（O.P. 22.500m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）



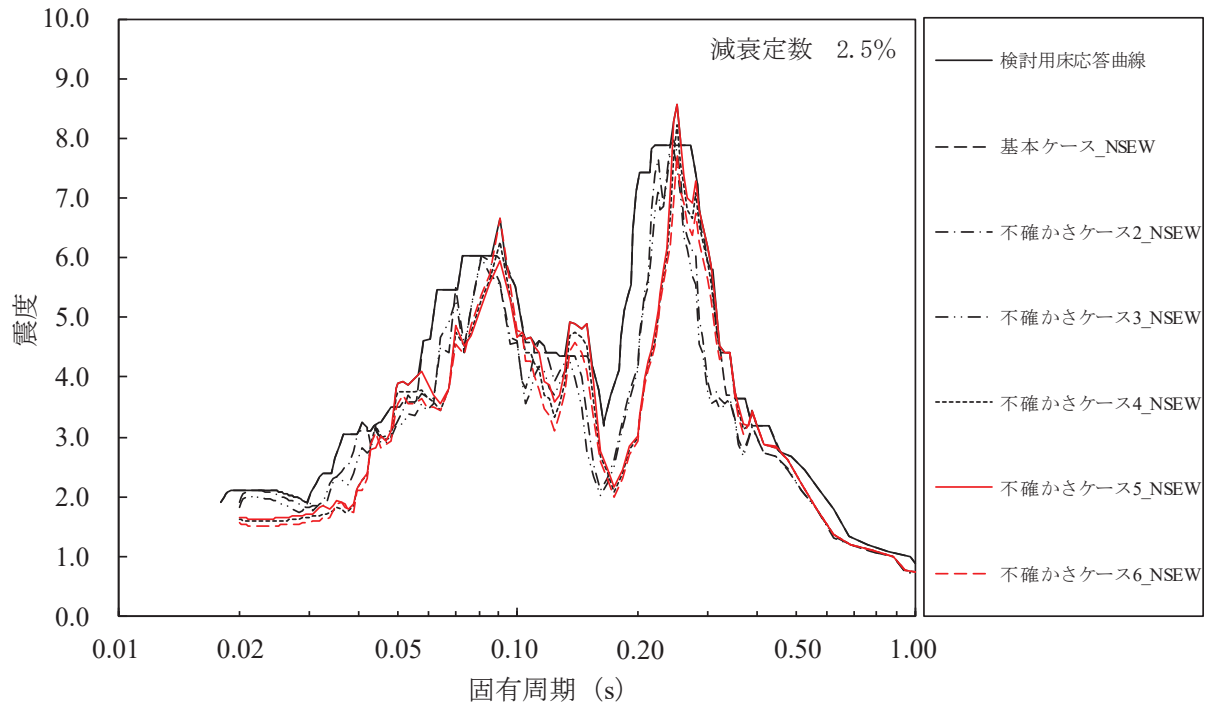


図 14-3 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉建屋（O.P. 15.000m，水平方向，減衰定数 2.5%）

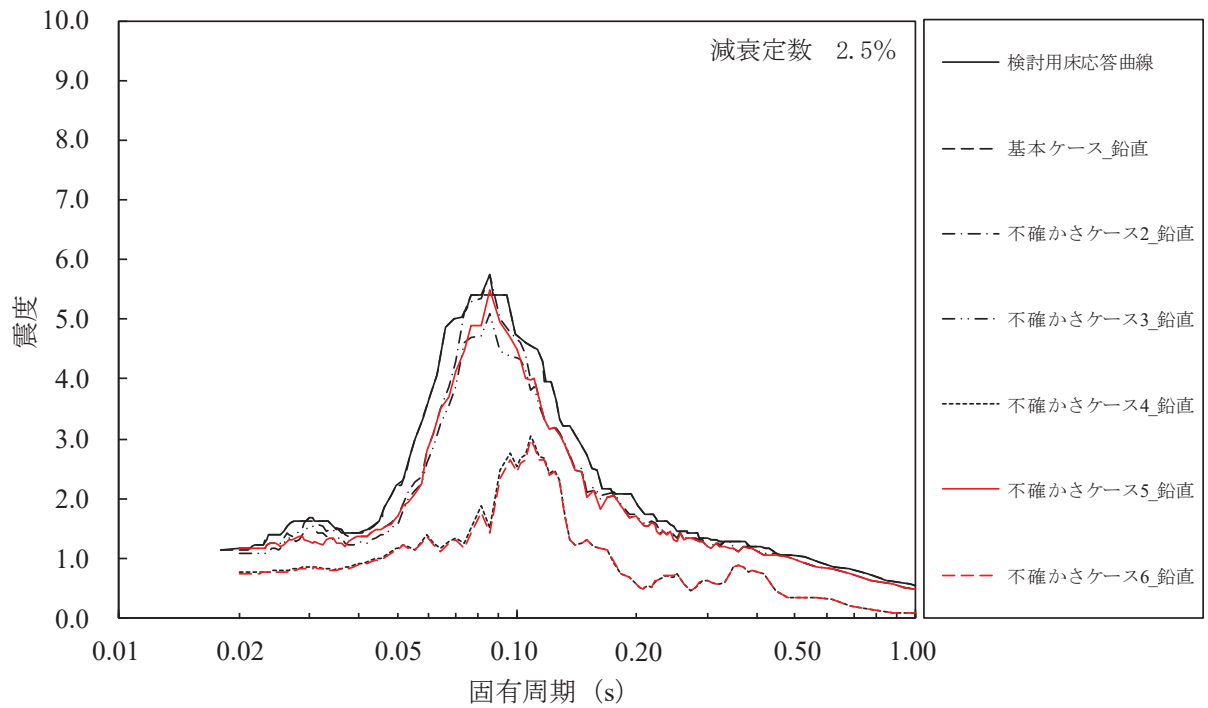


図 14-4 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉建屋（O.P. 15.000m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

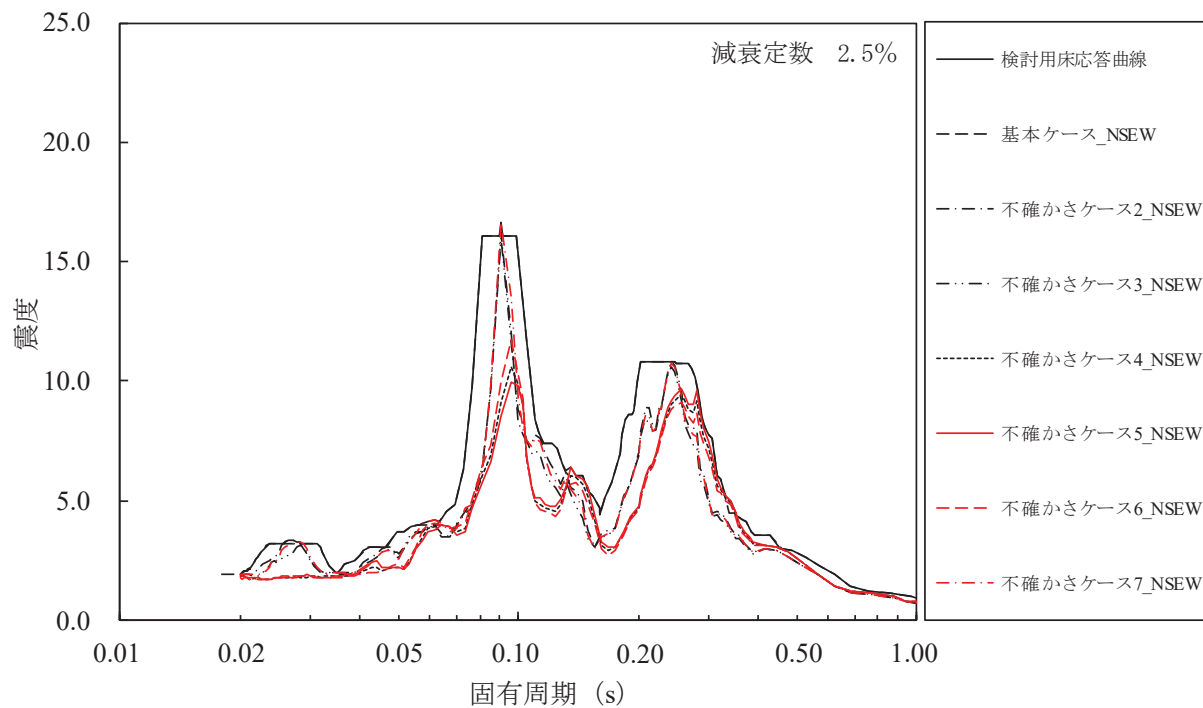


図 14-5 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉しゃへい壁（O.P. 21.550m，水平方向，減衰定数 2.5%）

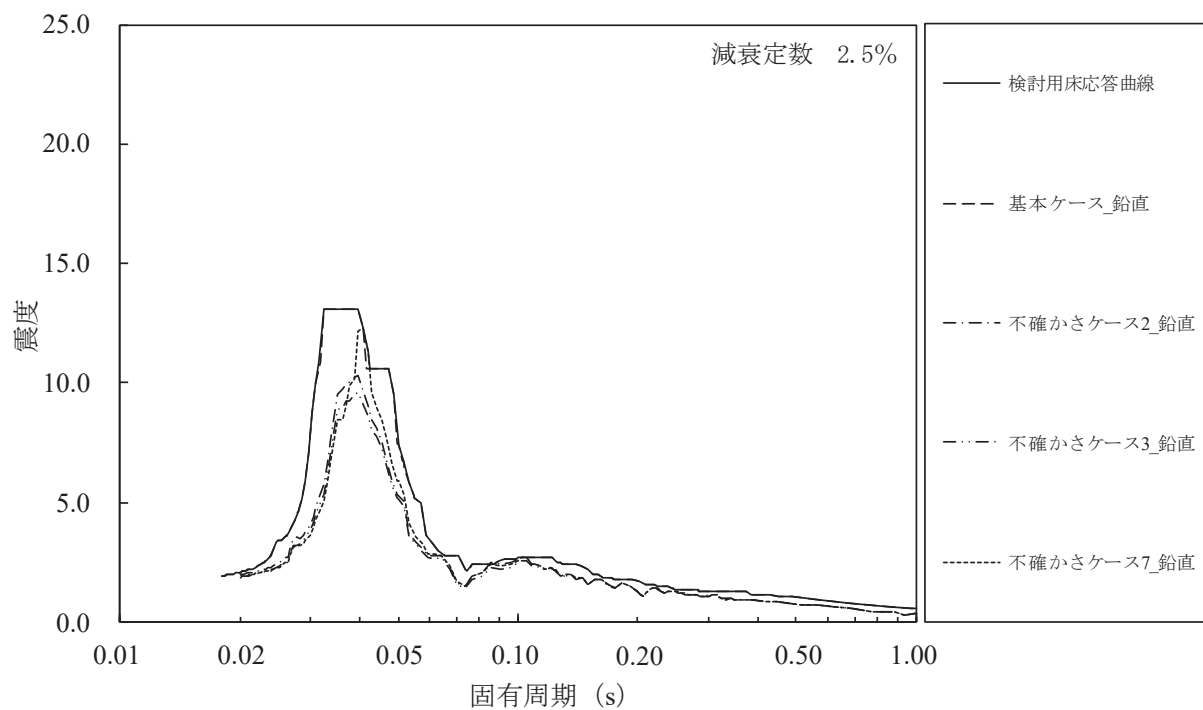


図 14-6 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉しゃへい壁（O.P. 21.550m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

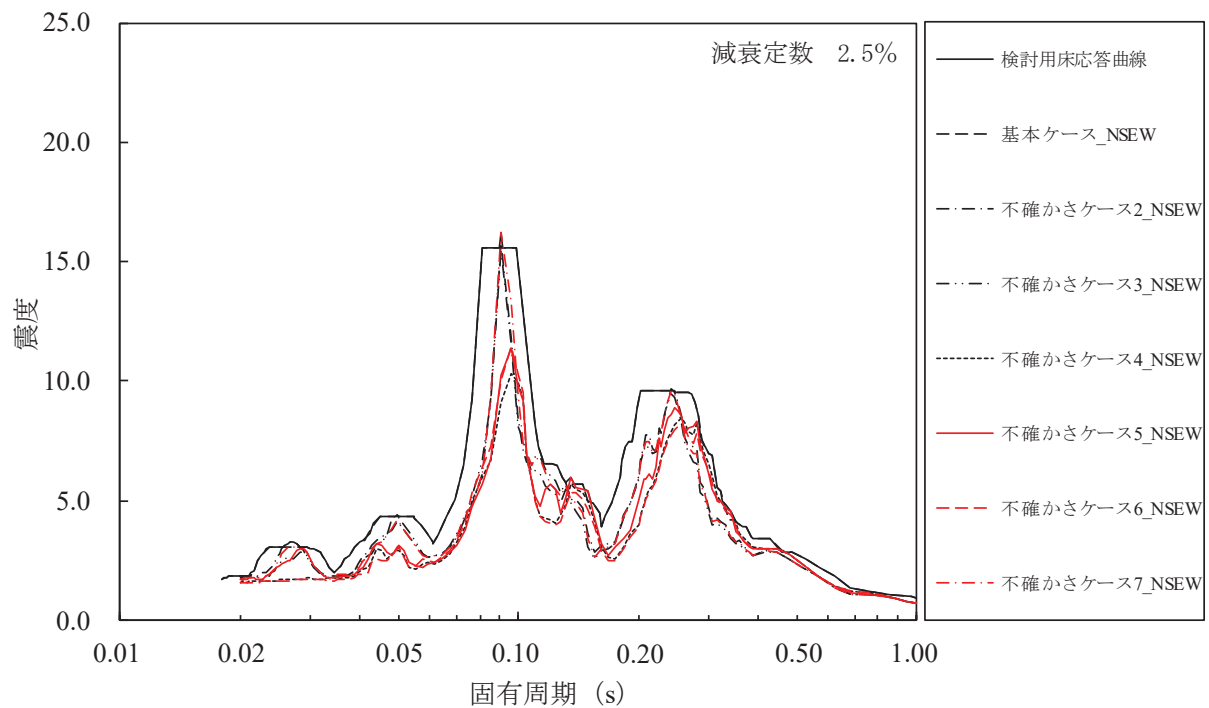


図 14-7 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉しゃへい壁（O.P. 18.790m，水平方向，減衰定数 2.5%）

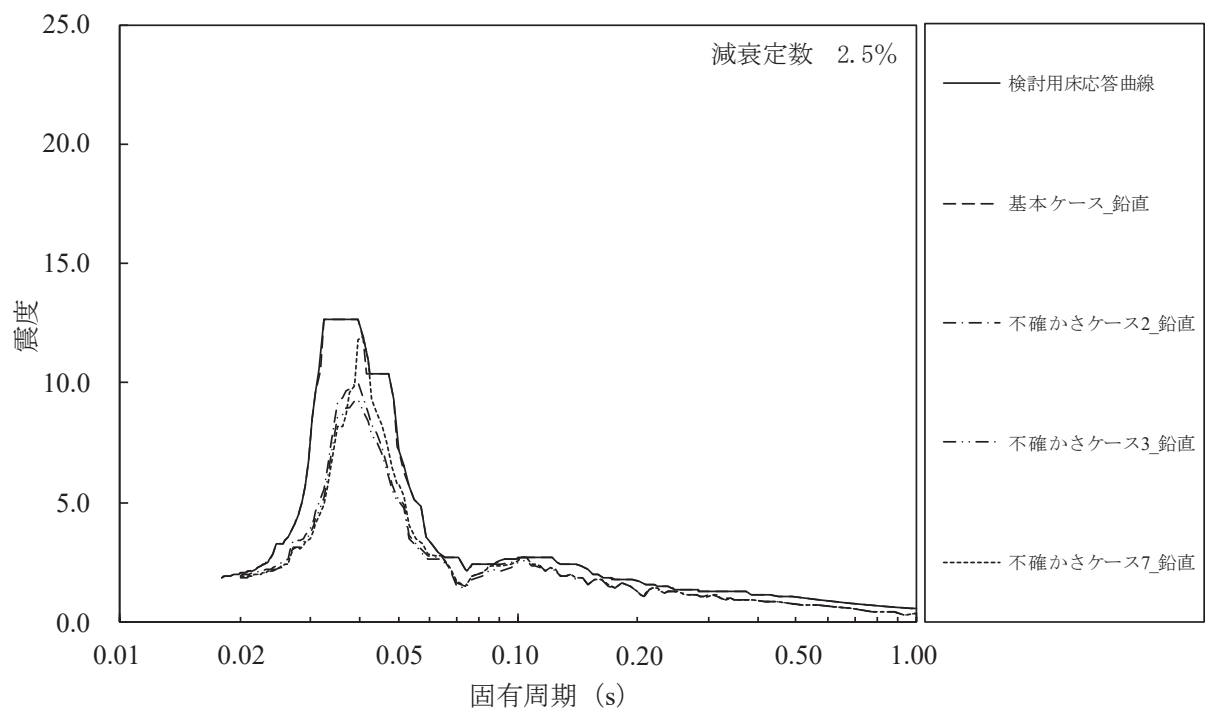


図 14-8 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）  
原子炉しゃへい壁（O.P. 18.790m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

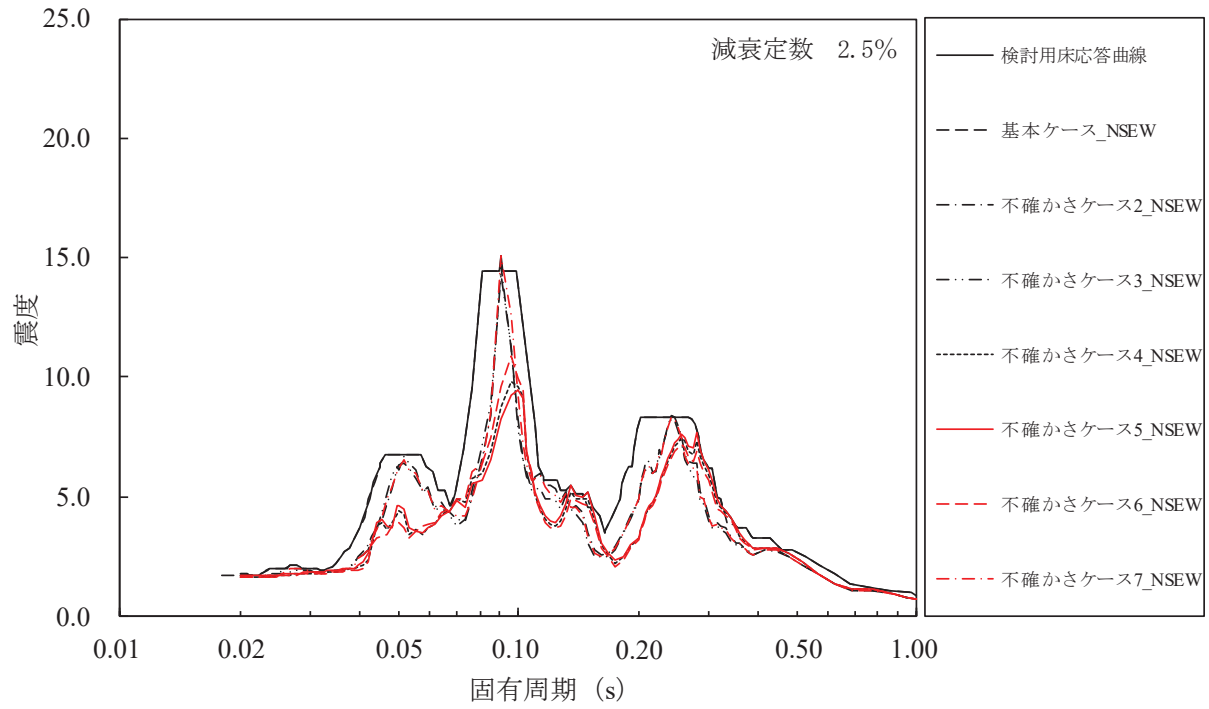


図 14-9 検査用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-004)  
原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m, 水平方向, 減衰定数 2.5%)

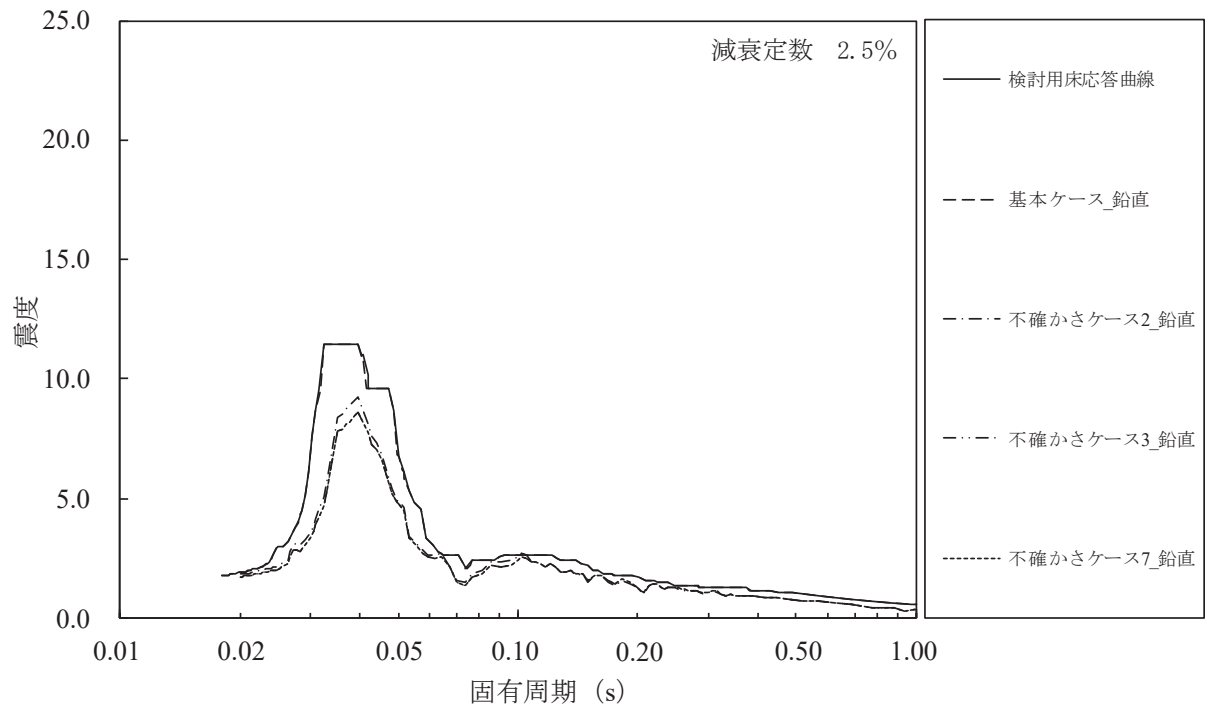


図 14-10 検査用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-004)  
原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m, 鉛直方向, 減衰定数 2.5%)

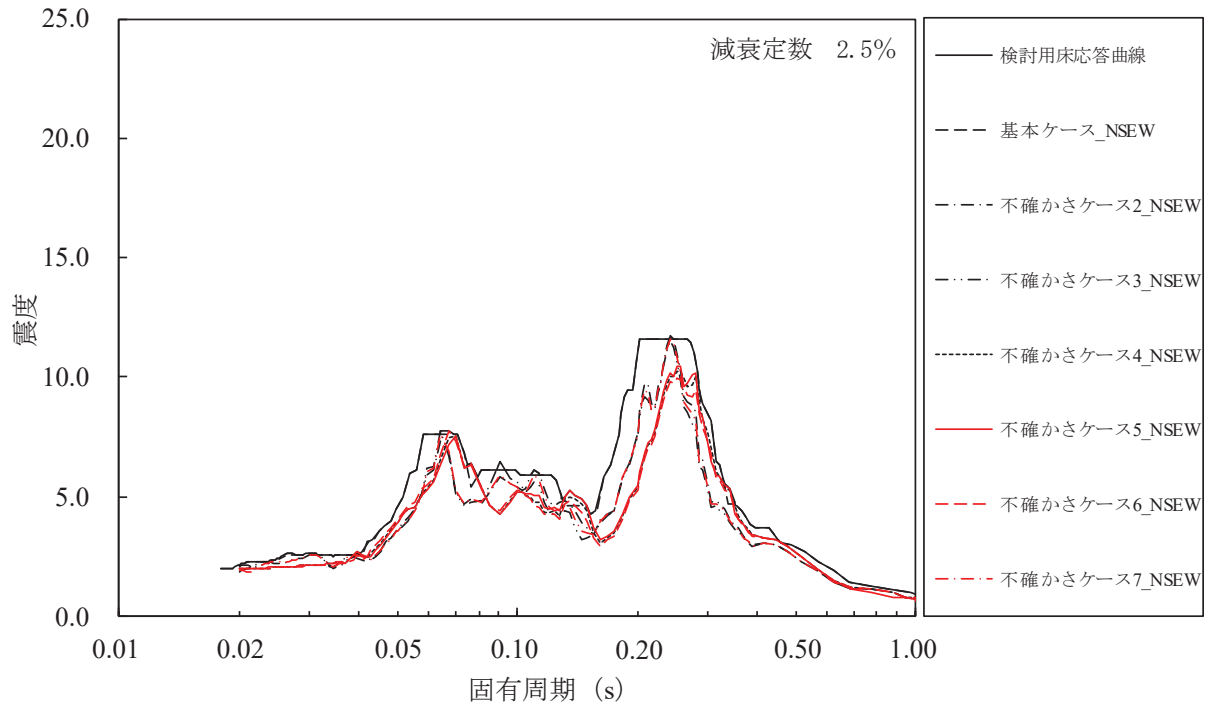


図 14-11 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）  
原子炉格納容器（O.P. 25.858m，水平方向，減衰定数 2.5%）

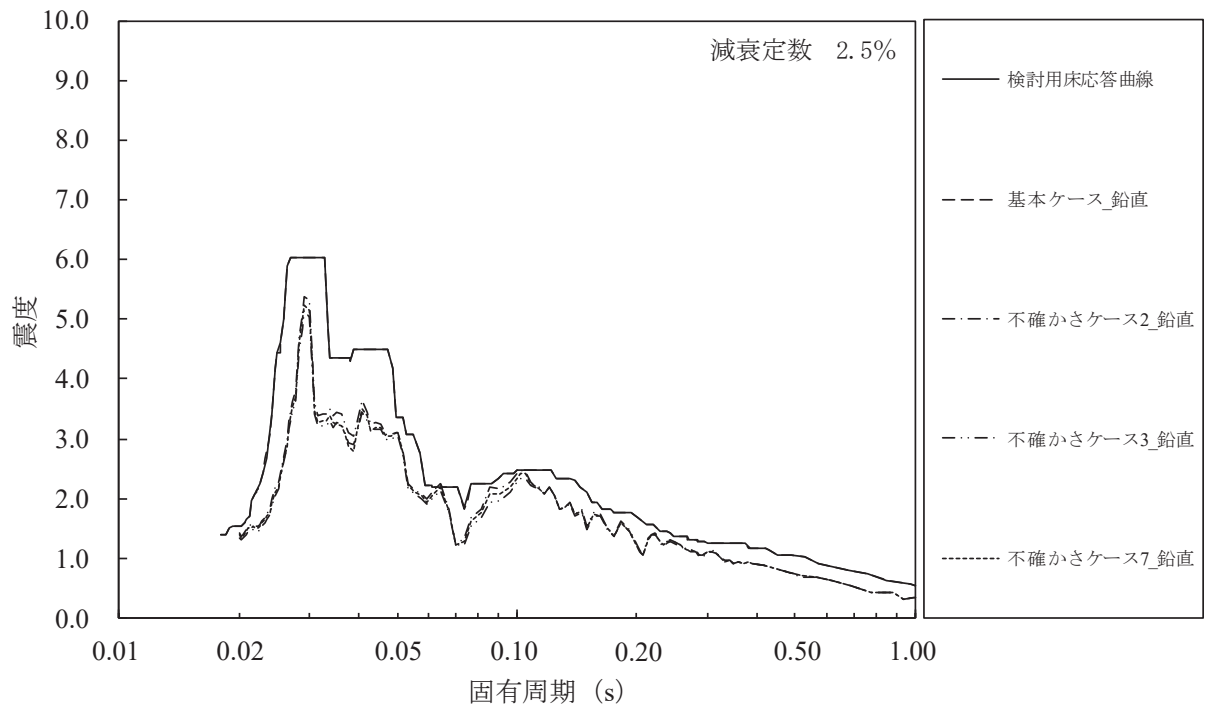


図 14-12 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）  
原子炉格納容器（O.P. 25.858m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

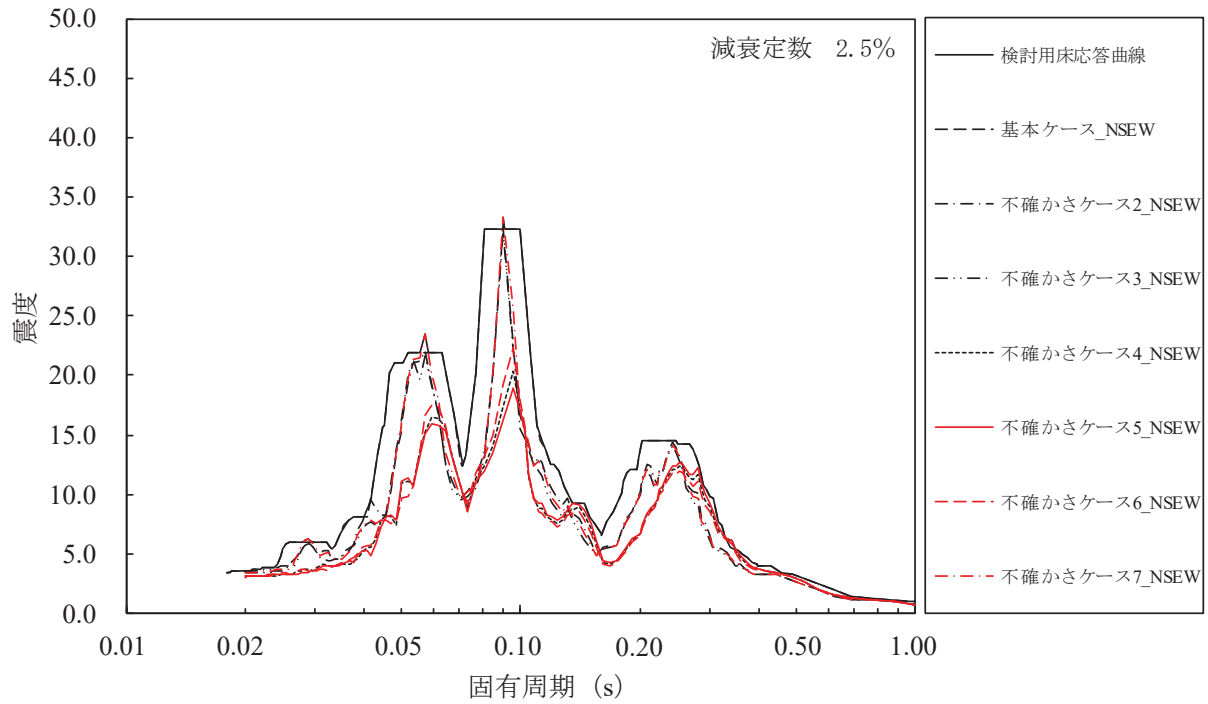


図 14-13 検討用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-005)  
原子炉压力容器 (O.P. 28.600m, 水平方向, 減衰定数 2.5%)

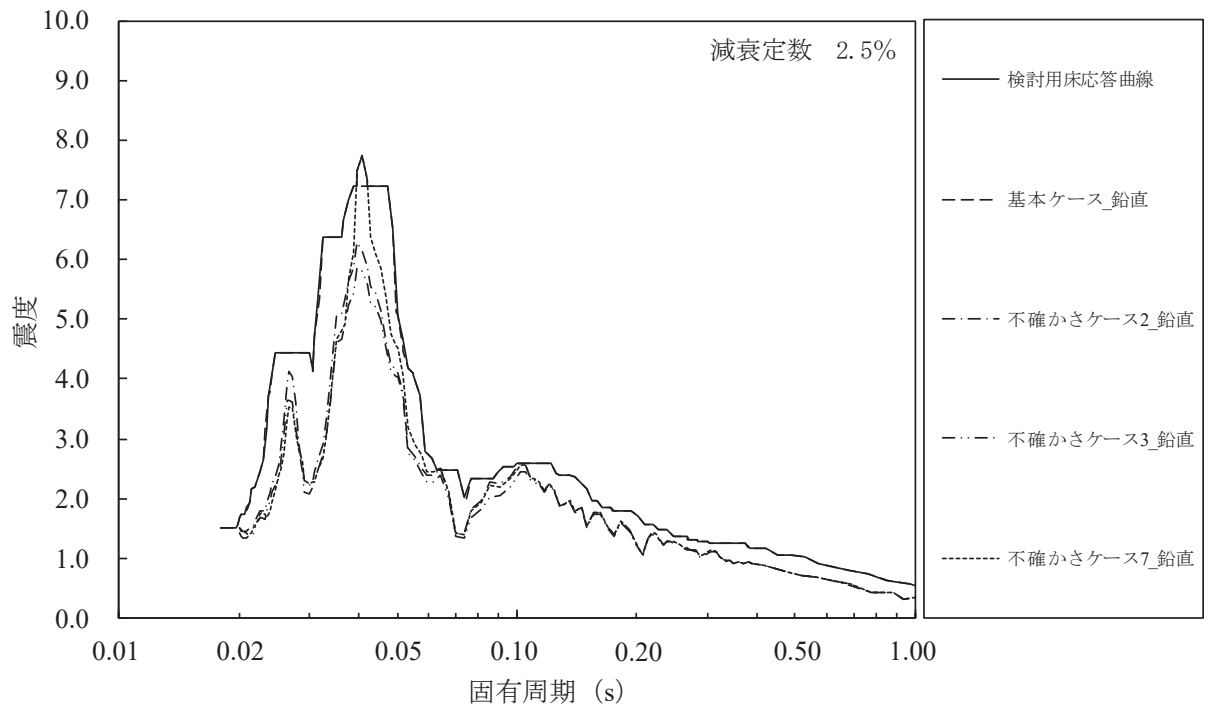


図 14-14 検討用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-005)  
原子炉压力容器 (O.P. 28.600m, 鉛直方向, 減衰定数 2.5%)

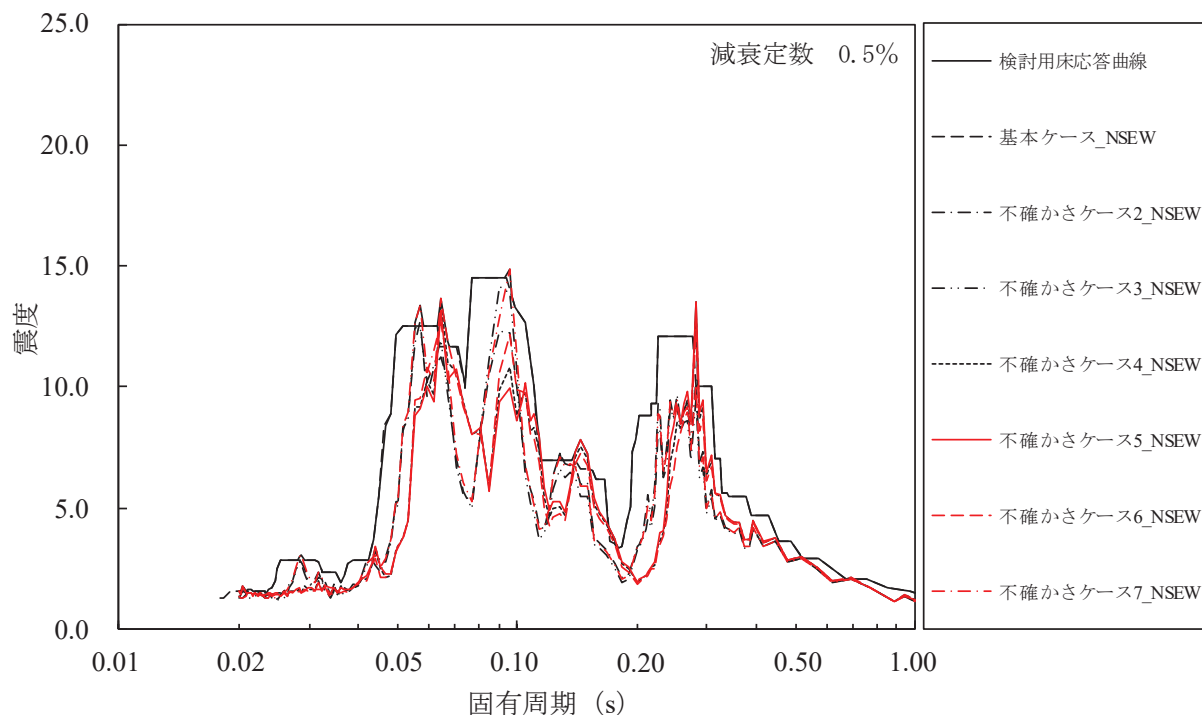


図 15-1 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 7.040m，水平方向，減衰定数 0.5%）

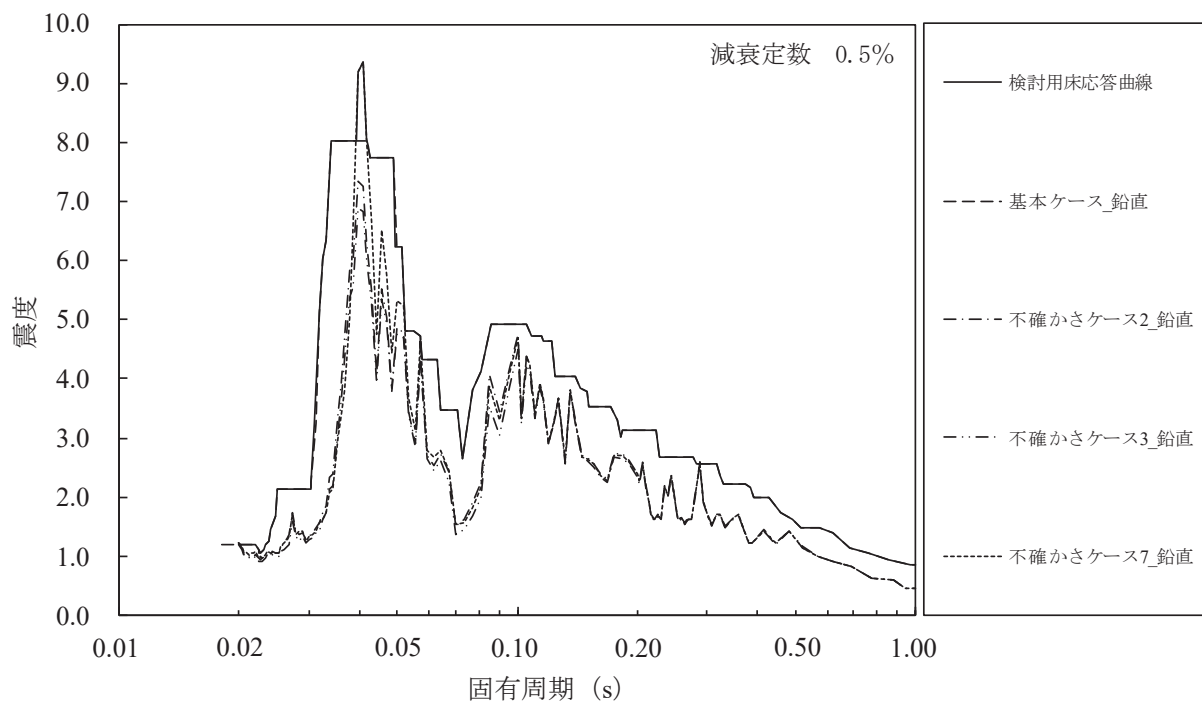


図 15-2 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 7.040m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

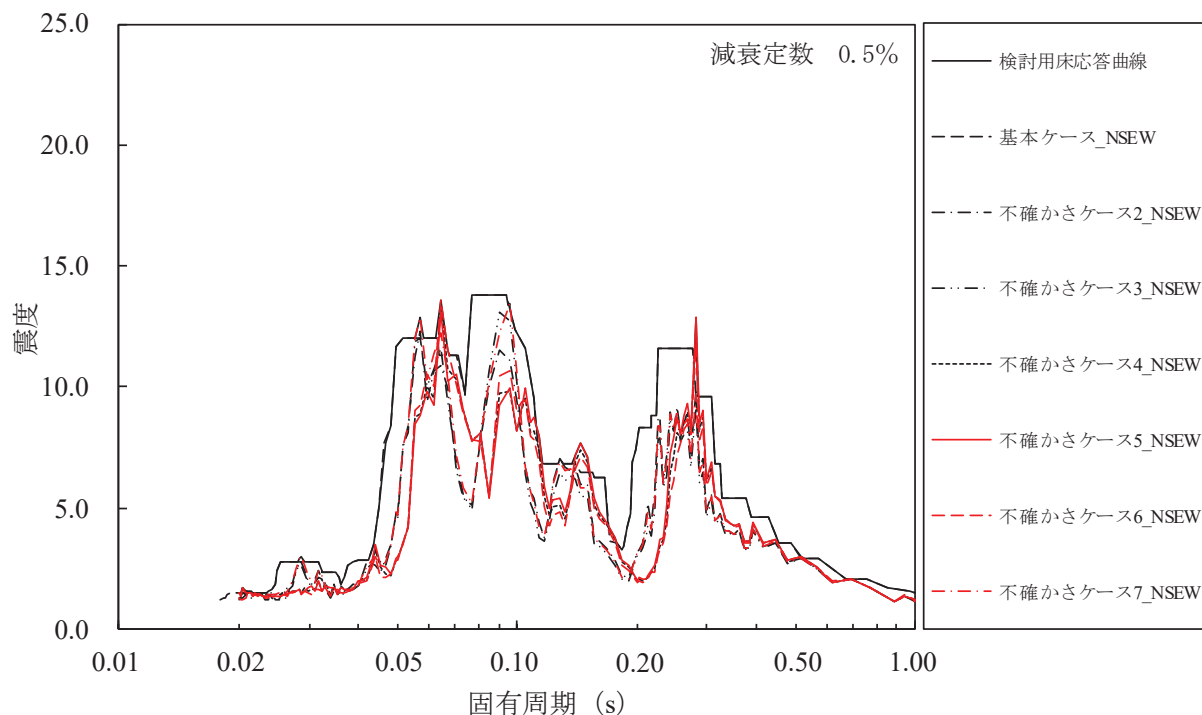


図 15-3 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，水平方向，減衰定数 0.5%）

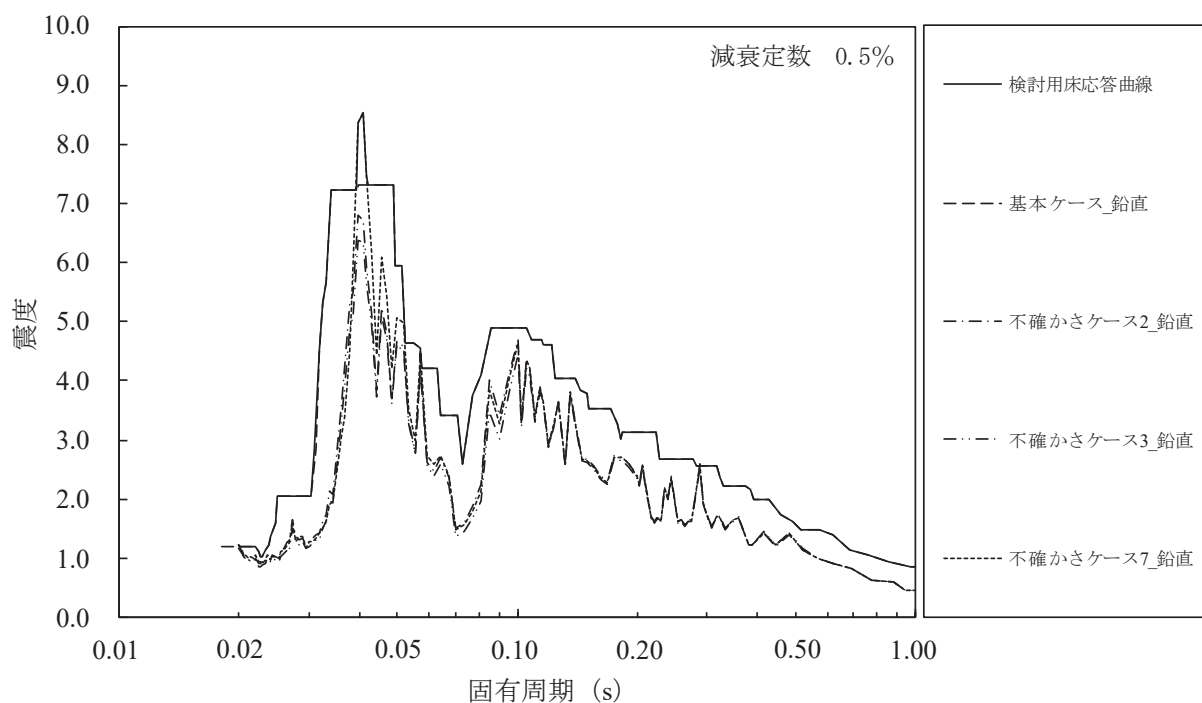


図 15-4 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）



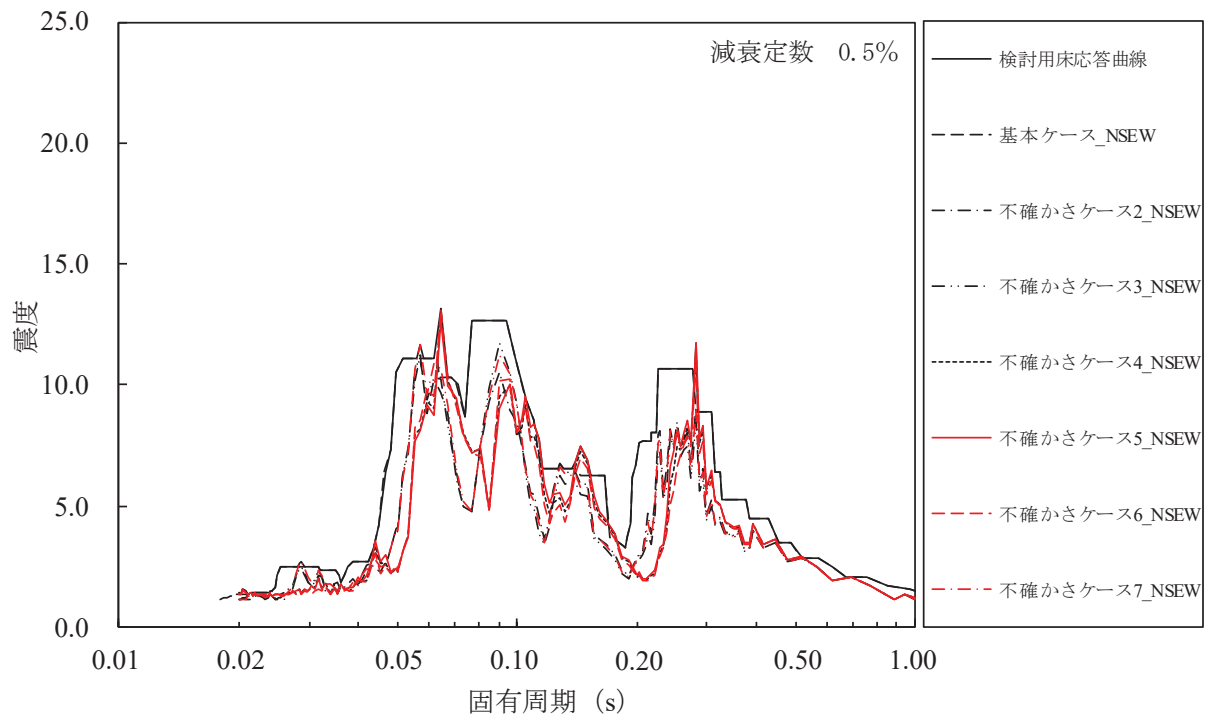


図 15-5 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，水平方向，減衰定数 0.5%）

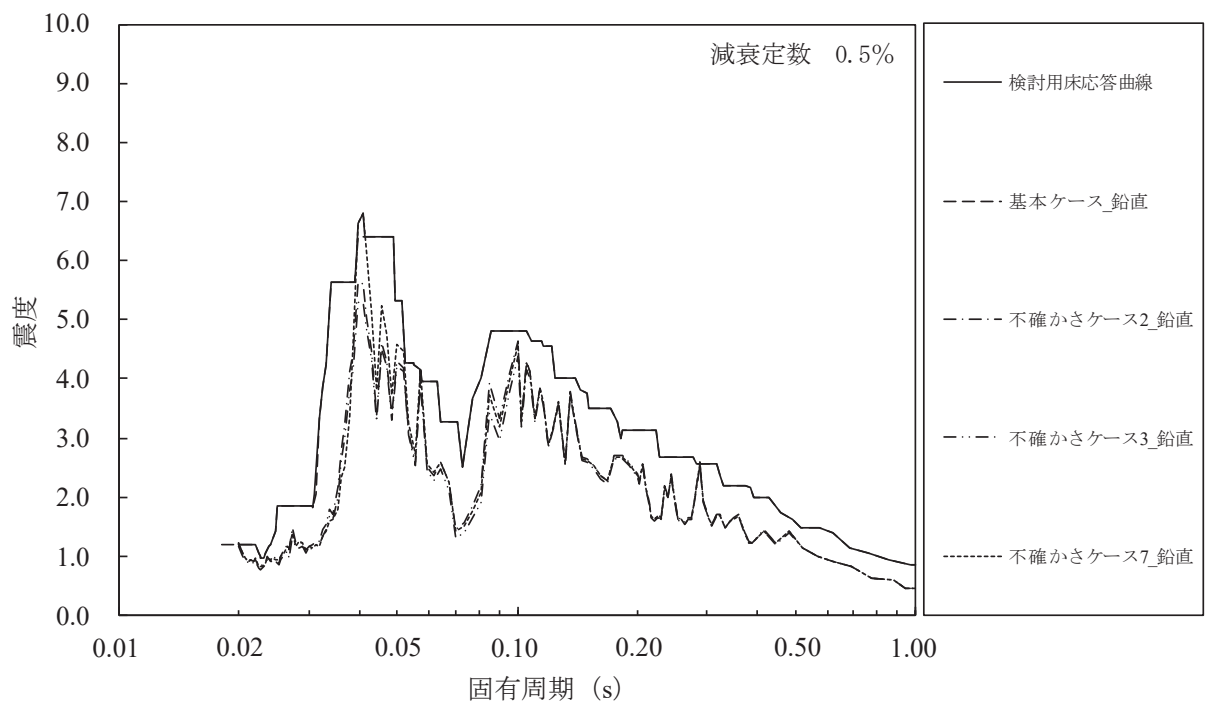


図 15-6 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

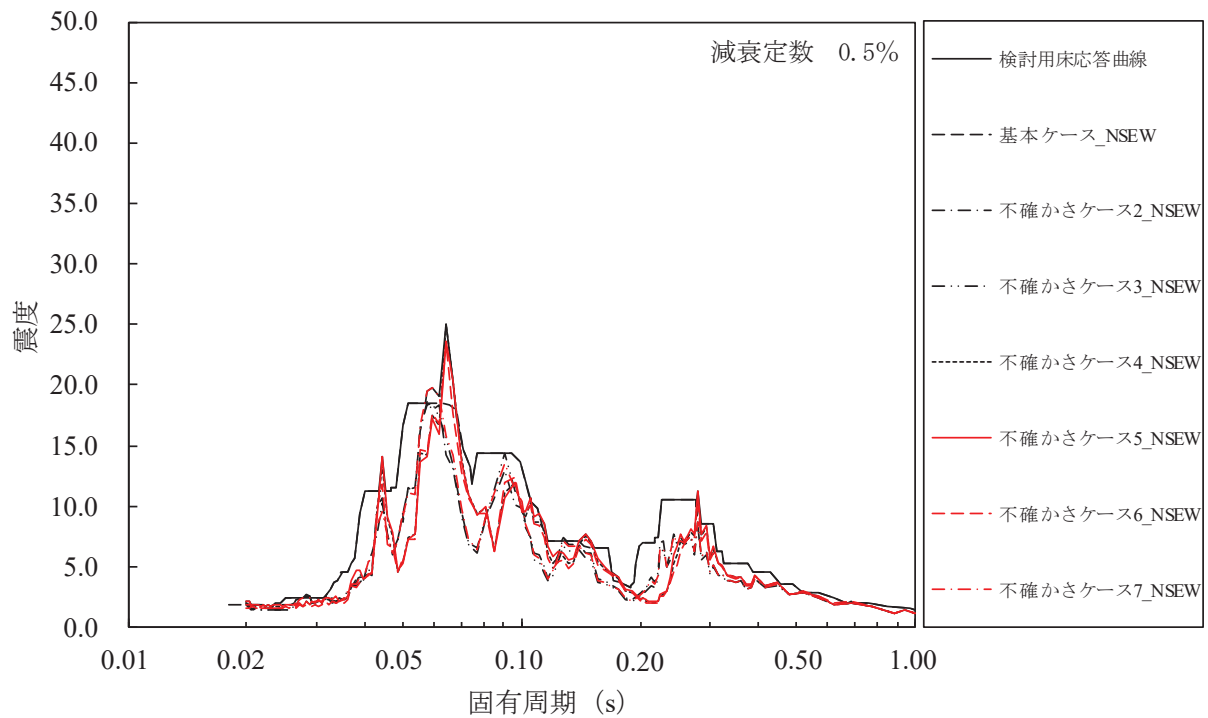


図 15-7 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
 制御棒駆動機構ハウジング（O.P. 3.258m，水平方向，減衰定数 0.5%）

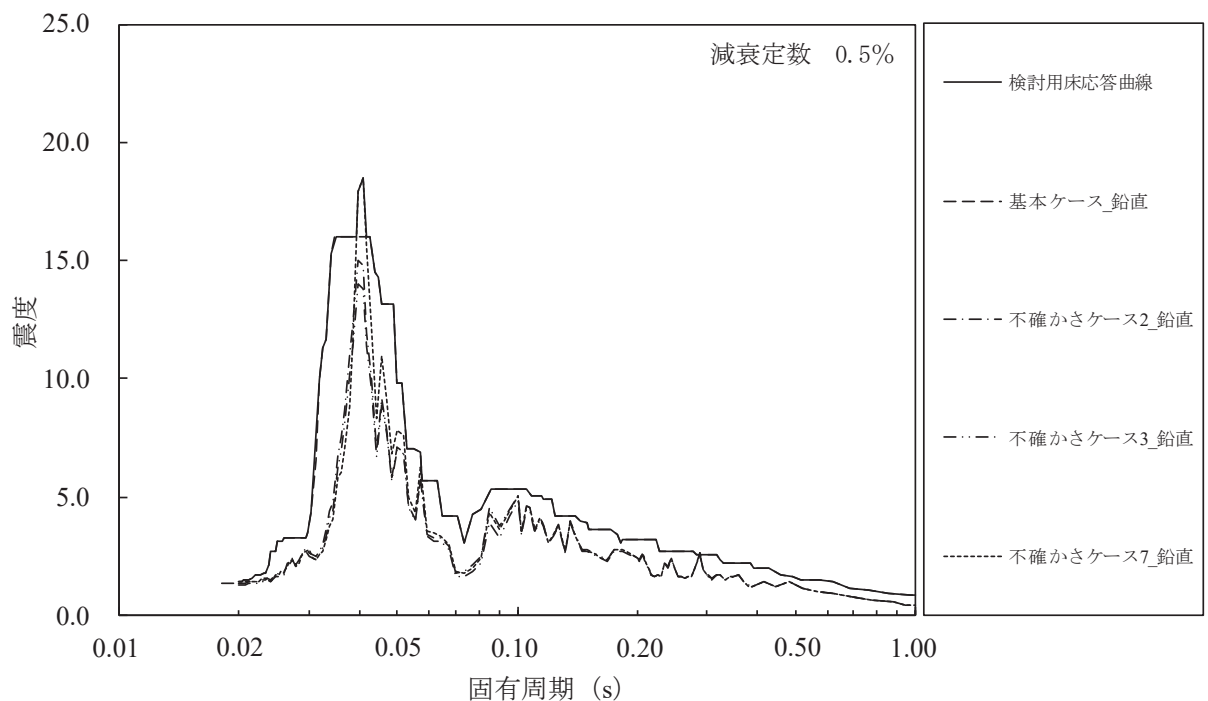


図 15-8 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）  
 制御棒駆動機構ハウジング（O.P. 3.258m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

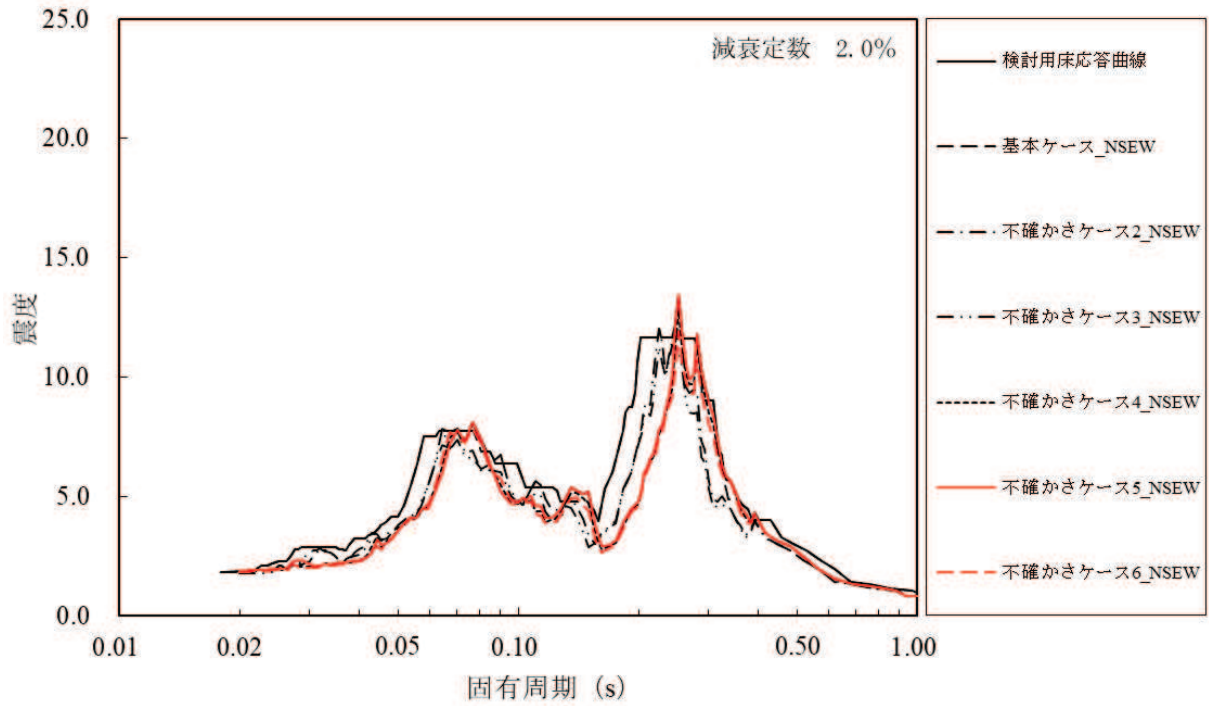


図 16-1 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 22.500m，水平方向，減衰定数 2.0%）

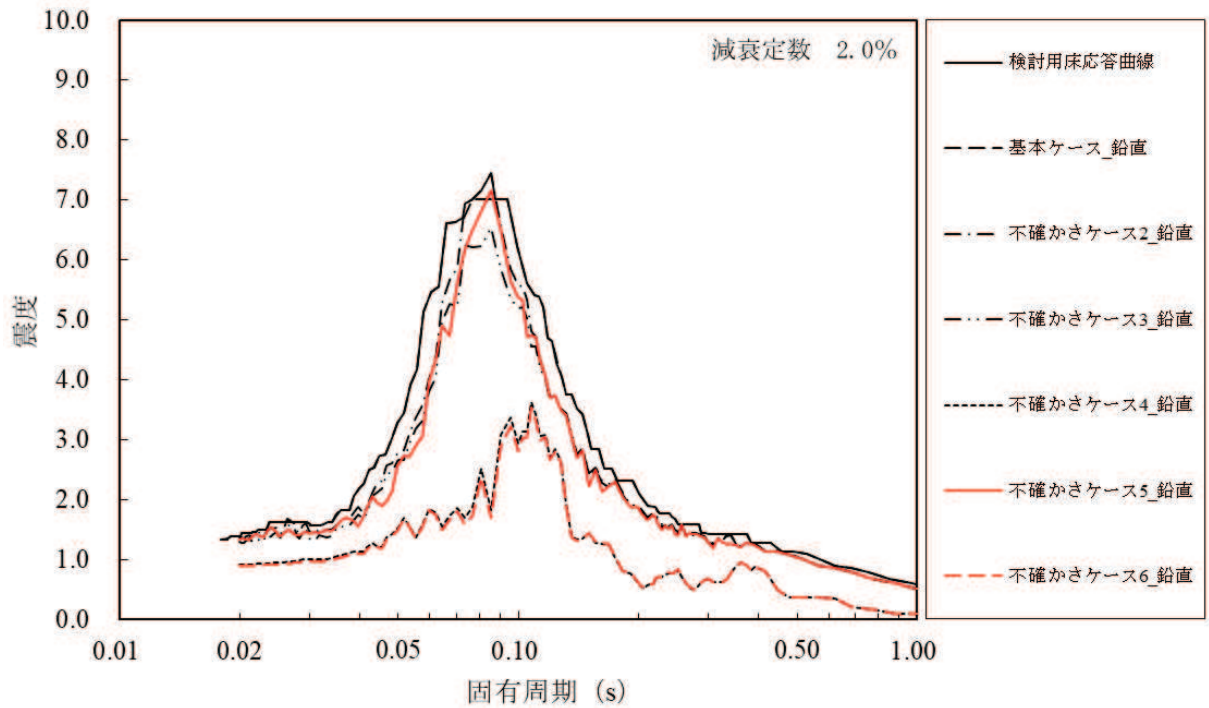


図 16-2 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 22.500m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

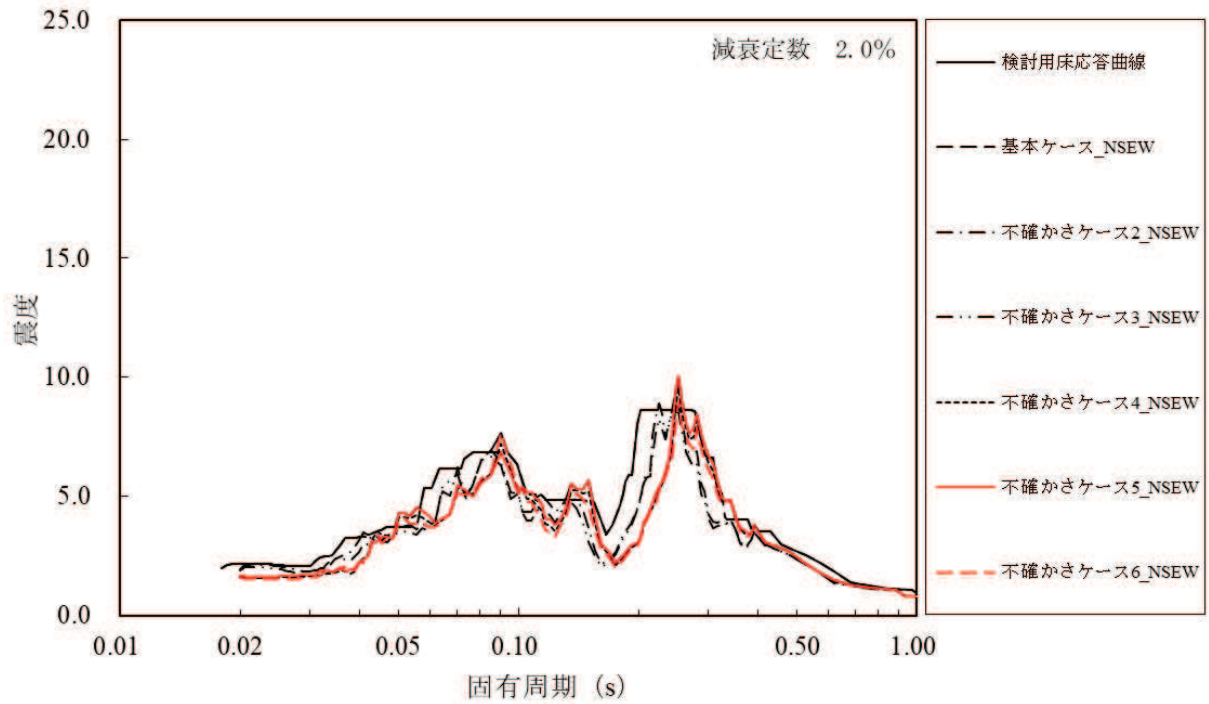


図 16-3 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 15.000m，水平方向，減衰定数 2.0%）

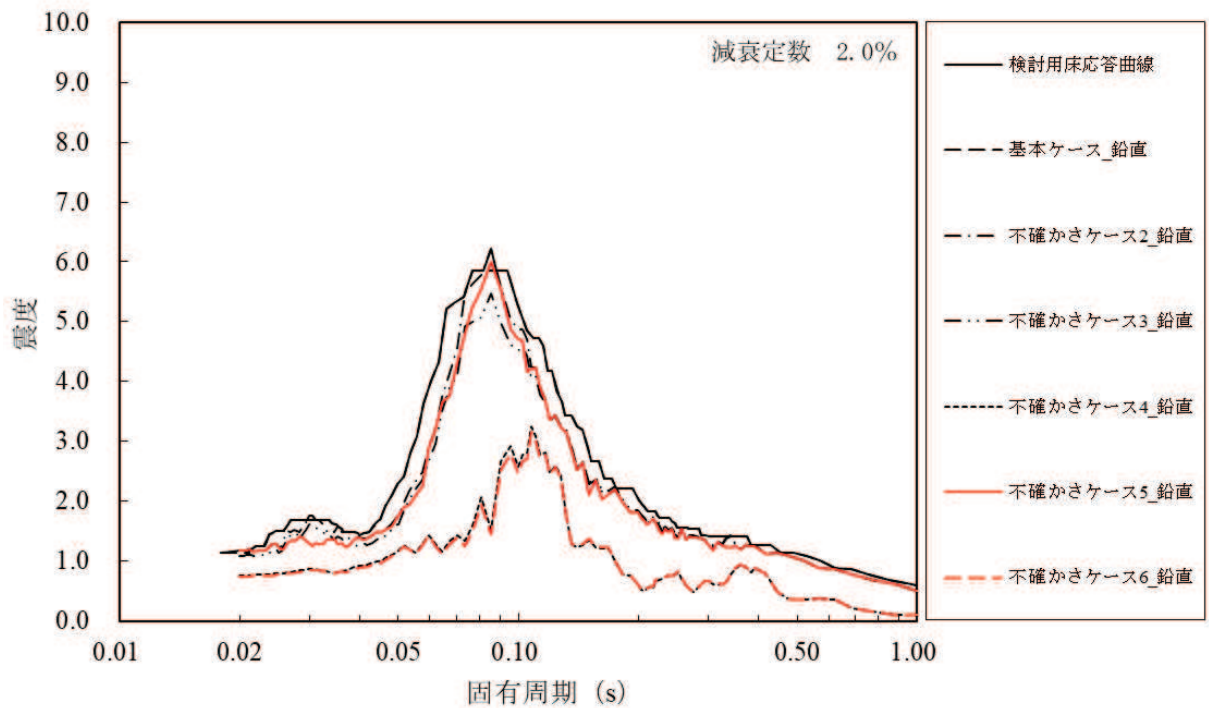


図 16-4 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 15.000m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

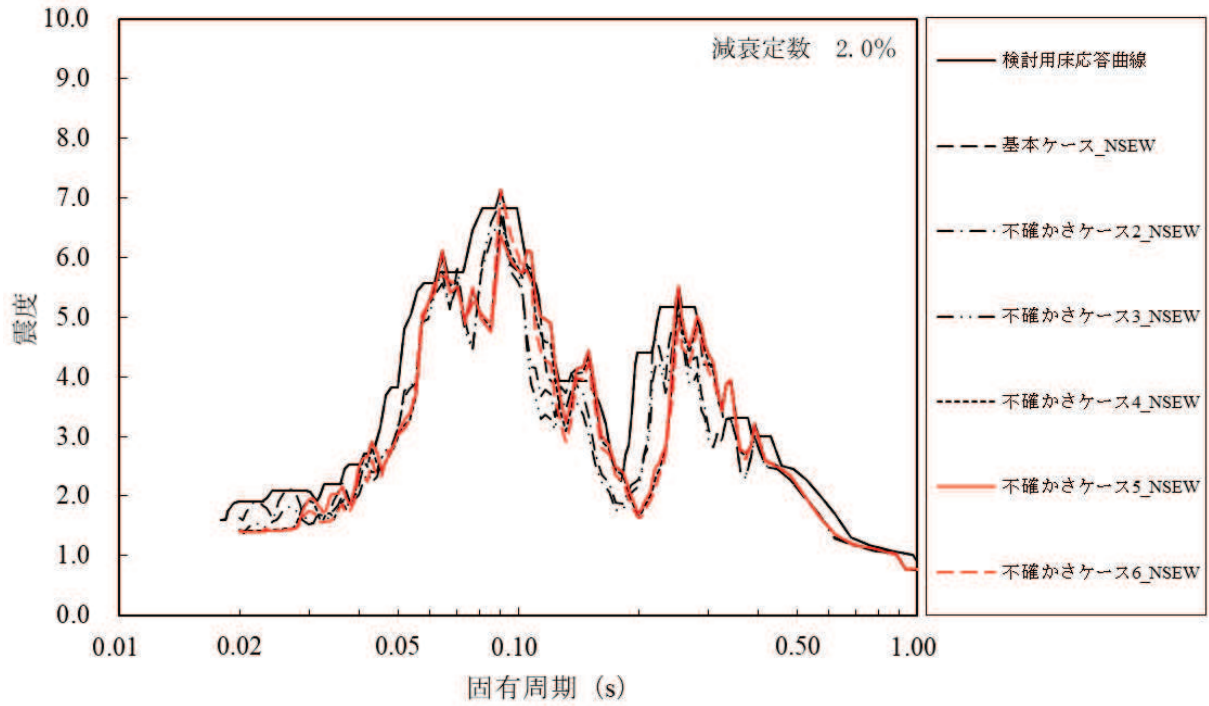


図 16-5 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 6.000m，水平方向，減衰定数 2.0%）

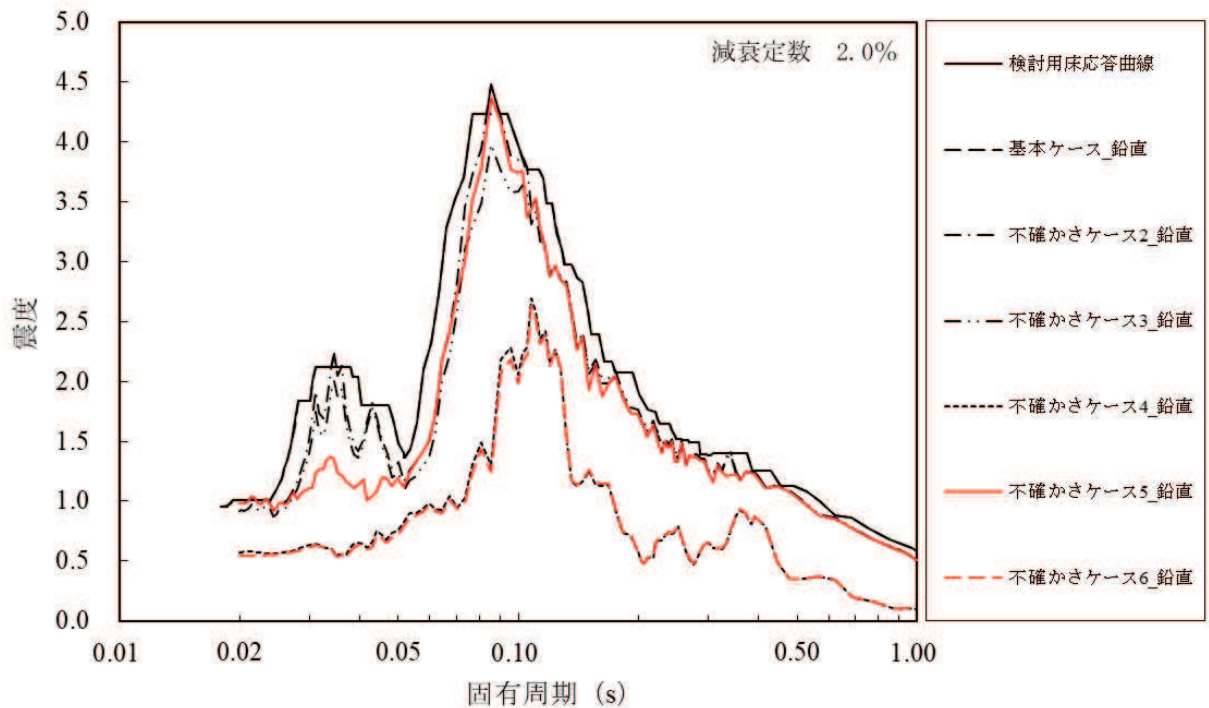


図 16-6 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉建屋（O.P. 6.000m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

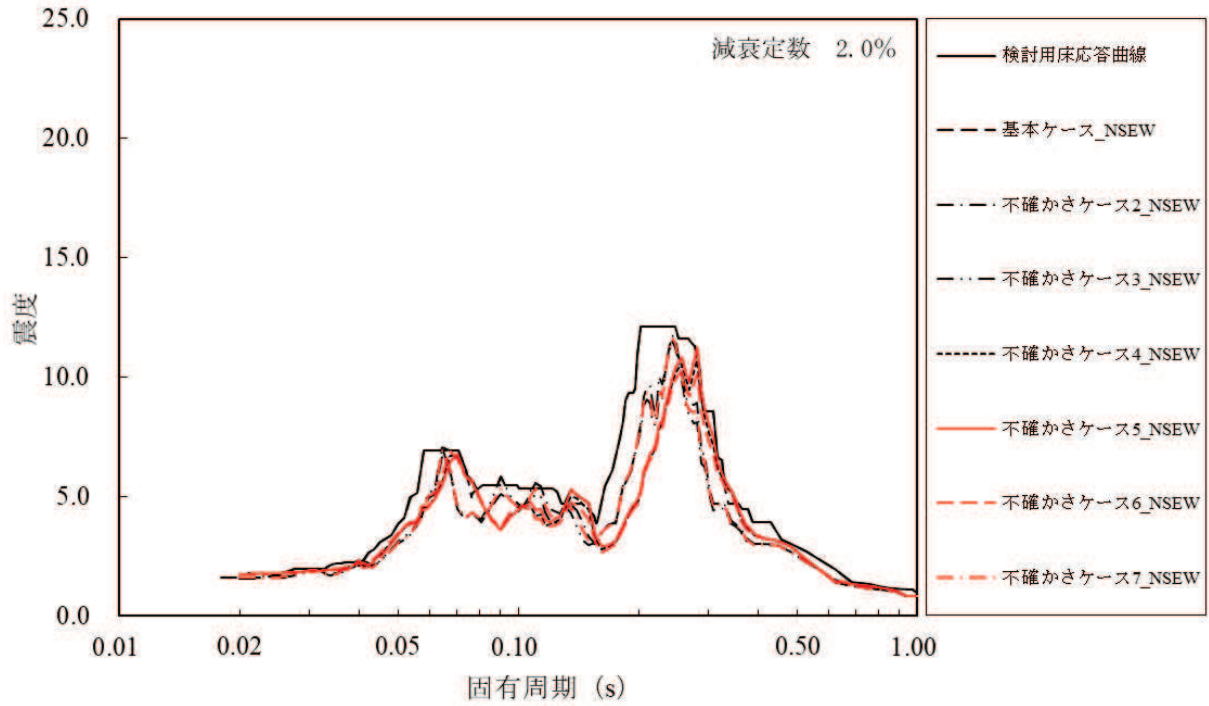


図 16-7 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉格納容器（O.P. 21.550m，水平方向，減衰定数 2.0%）

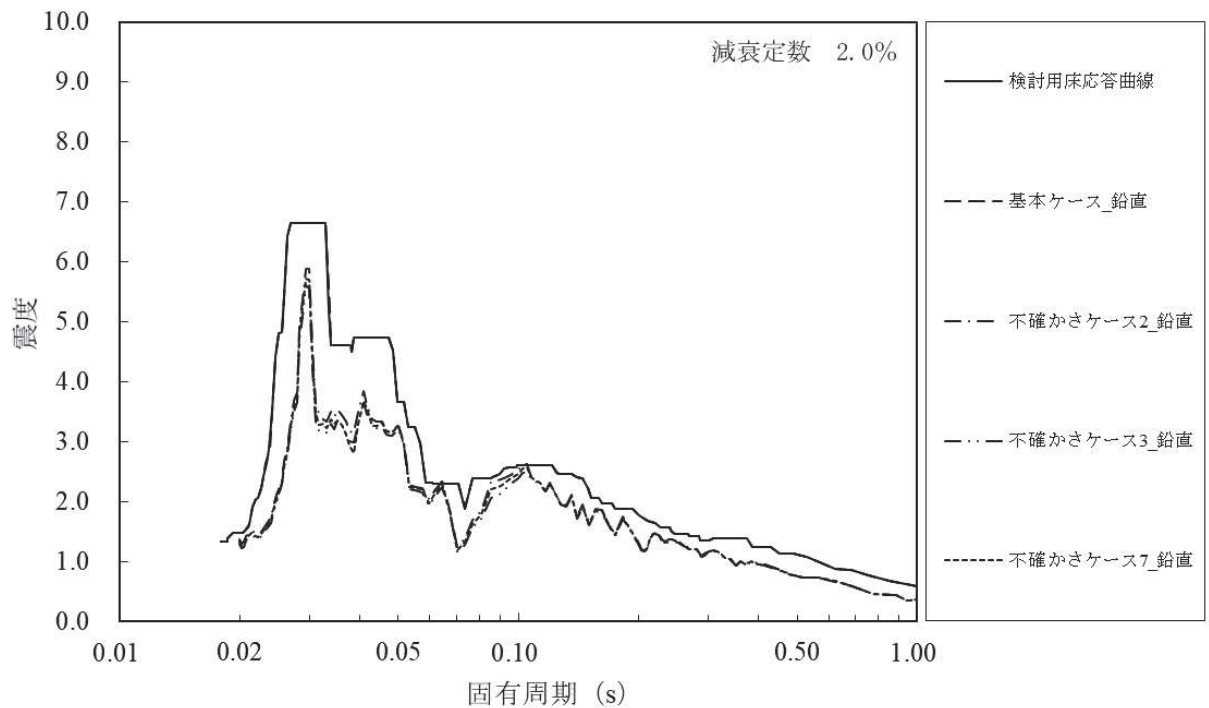


図 16-8 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）  
原子炉格納容器（O.P. 21.550m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）



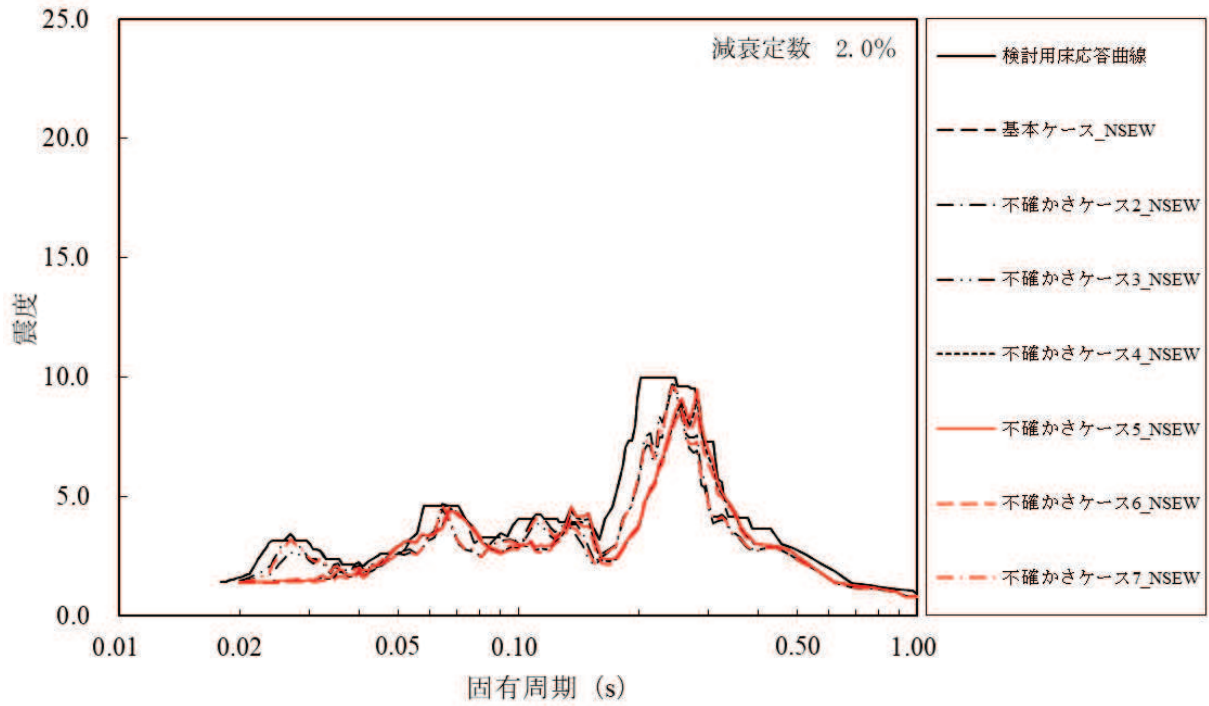


図 16-9 検討用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-009)  
原子炉格納容器 (O.P. 17.150m, 水平方向, 減衰定数 2.0%)

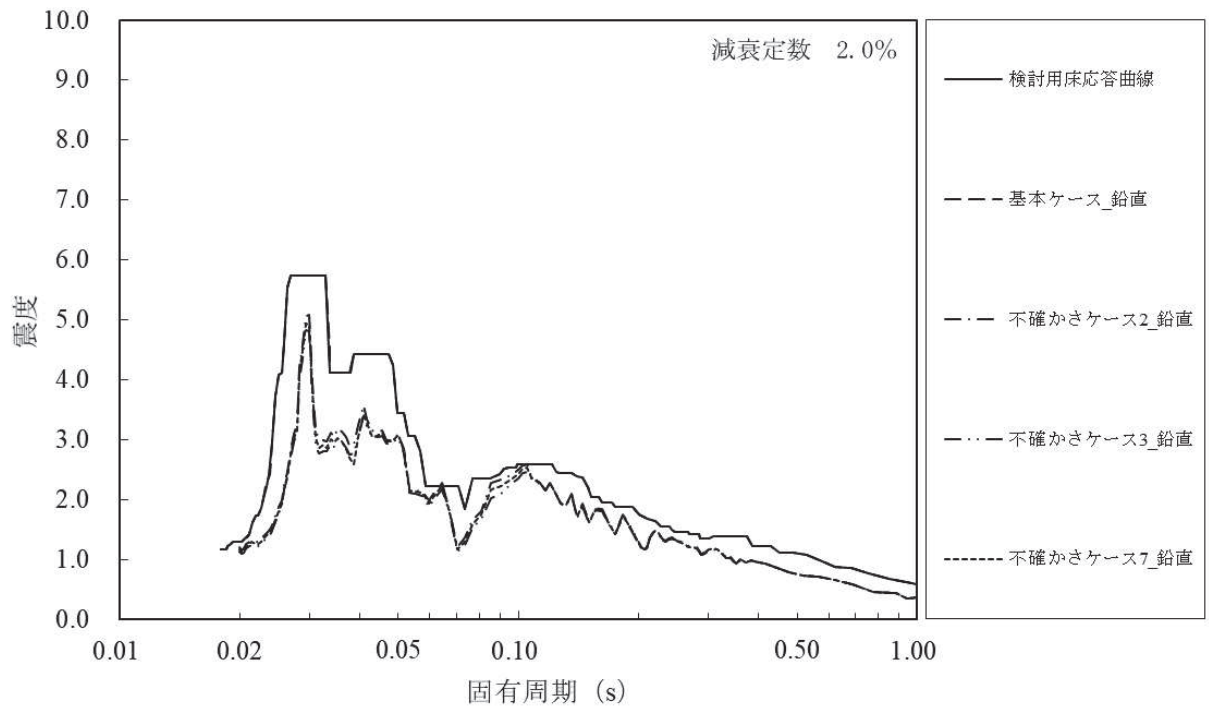


図 16-10 検討用床応答曲線 (残留熱除去系配管用, RHR-009)  
原子炉格納容器 (O.P. 17.150m, 鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

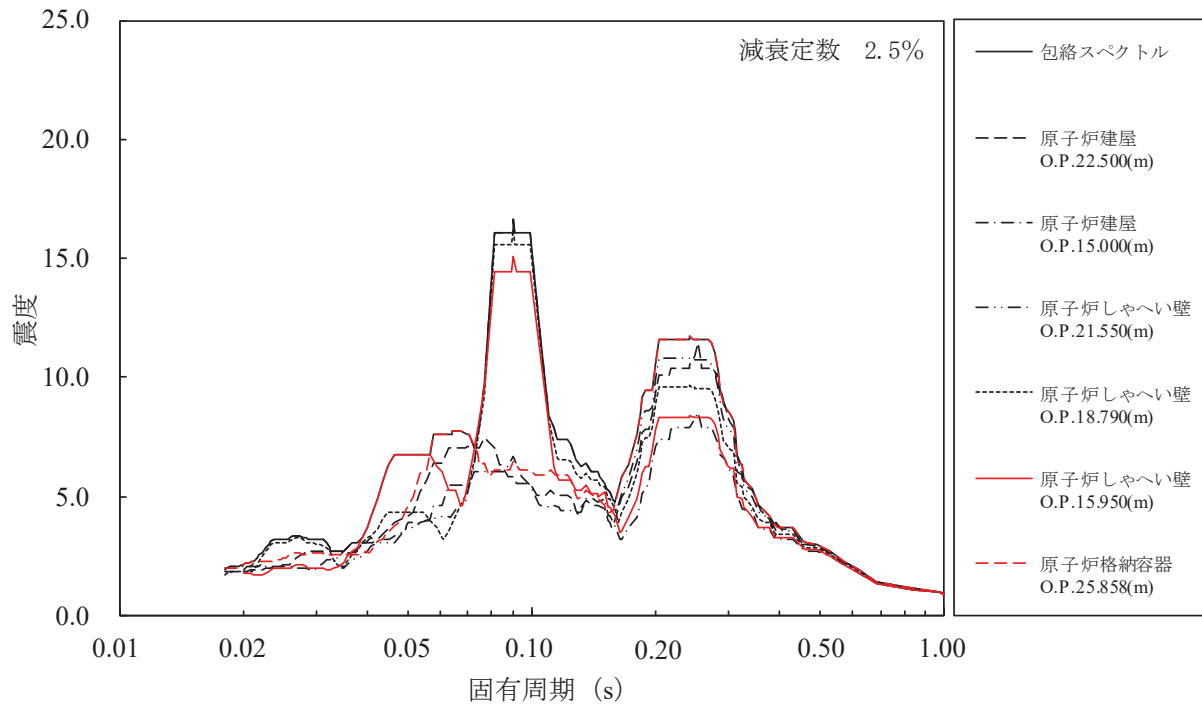


図 17-1 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-004)  
(水平方向, 減衰定数 2.5%)

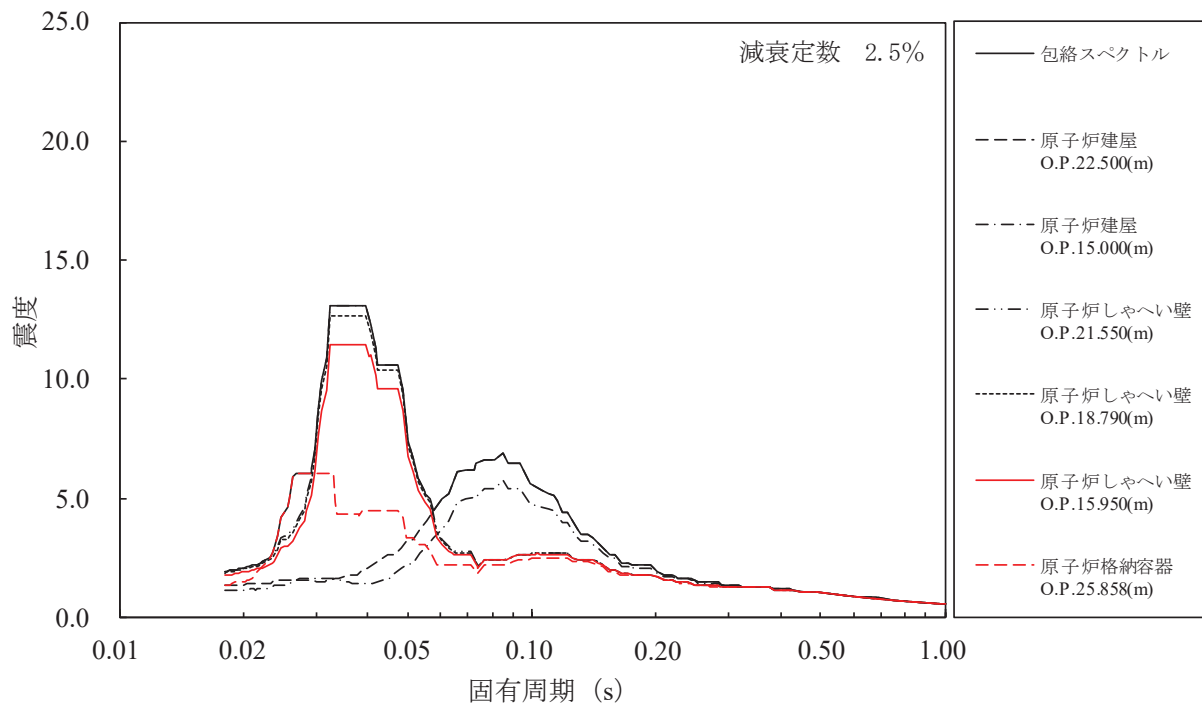


図 17-2 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-004)  
(鉛直方向, 減衰定数 2.5%)



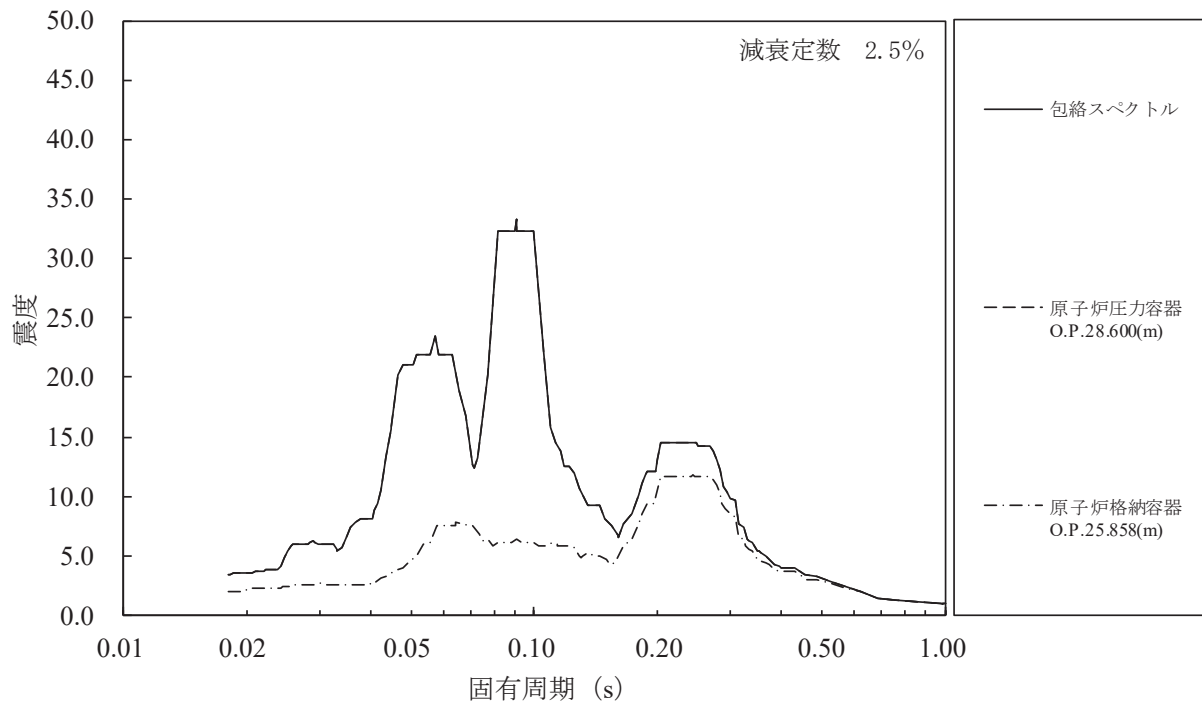


図 17-3 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-005)  
(水平方向, 減衰定数 2.5%)

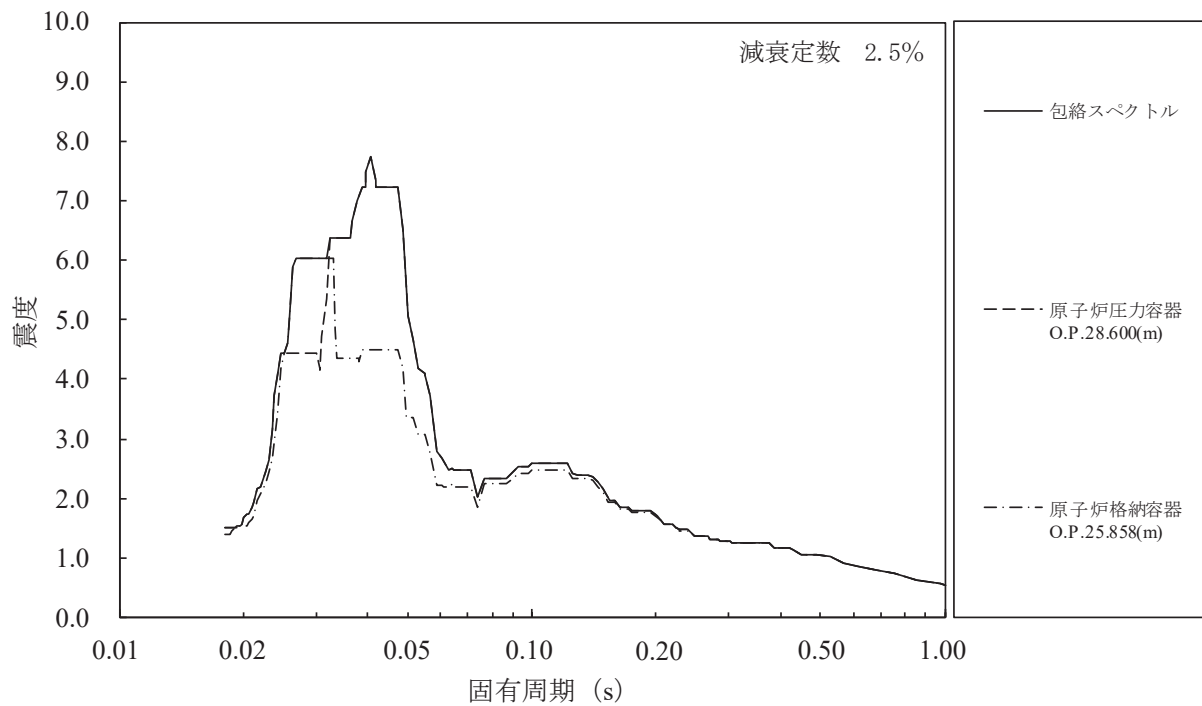


図 17-4 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-005)  
(鉛直方向, 減衰定数 2.5%)

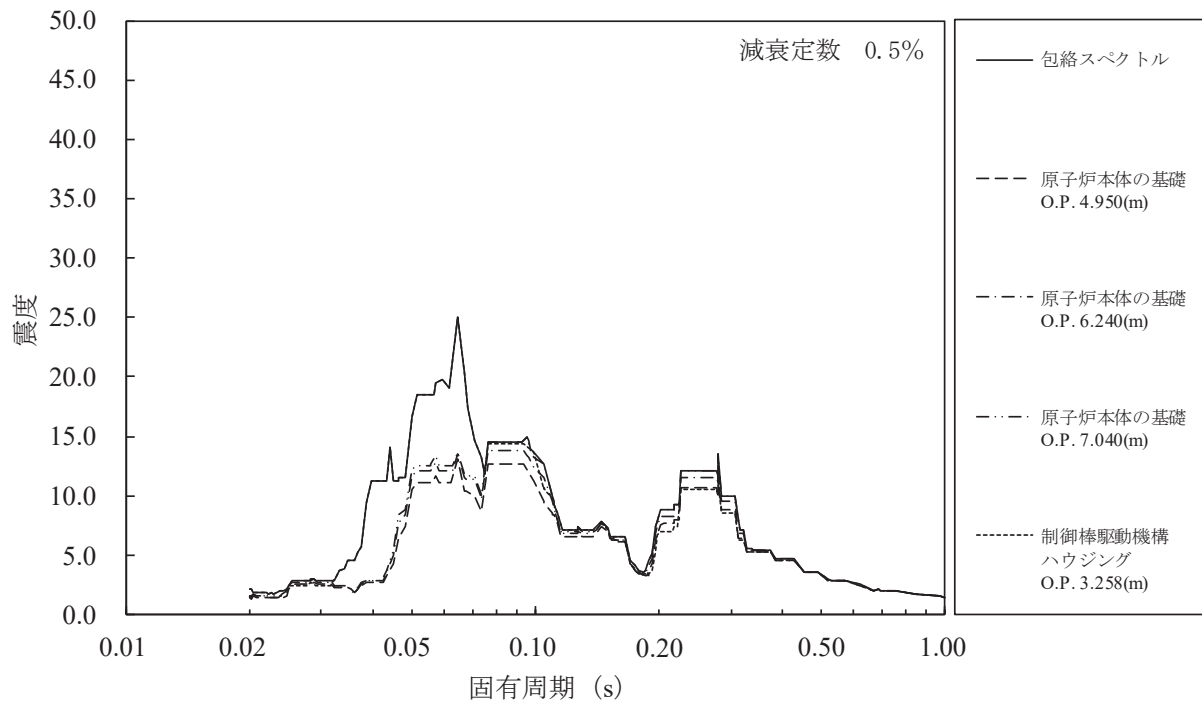


図 17-5 包絡スペクトル (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)  
(水平方向, 減衰定数 0.5%)

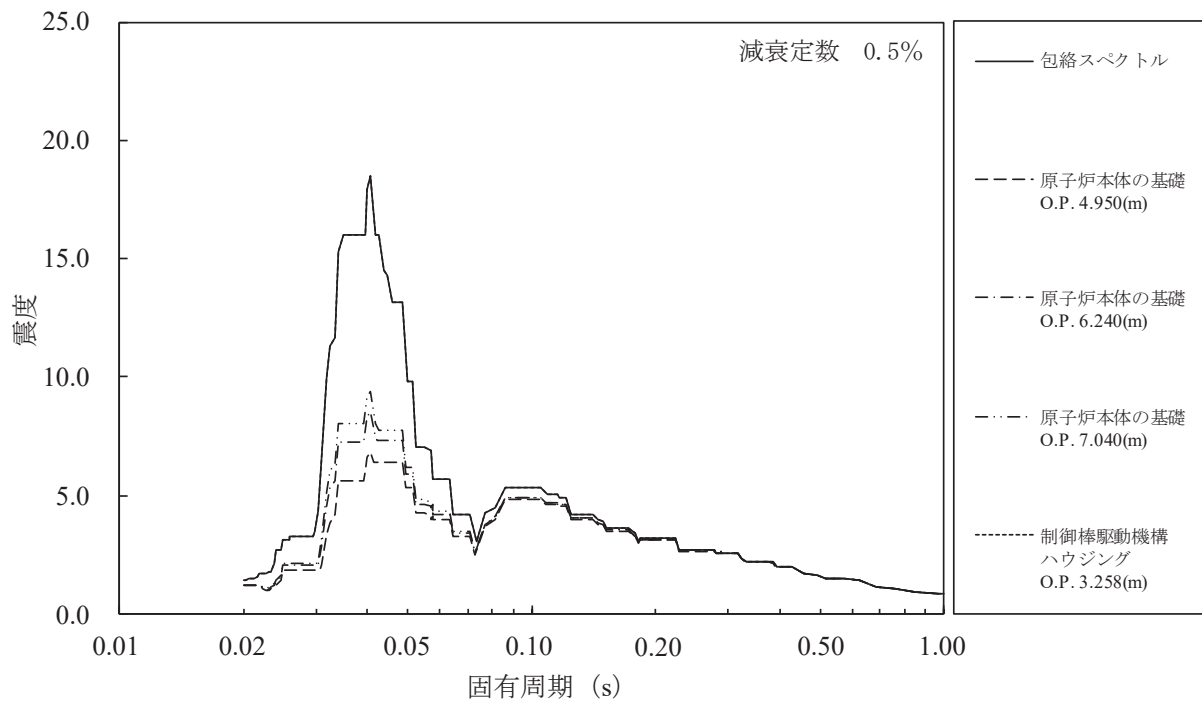


図 17-6 包絡スペクトル (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)  
(鉛直方向, 減衰定数 0.5%)

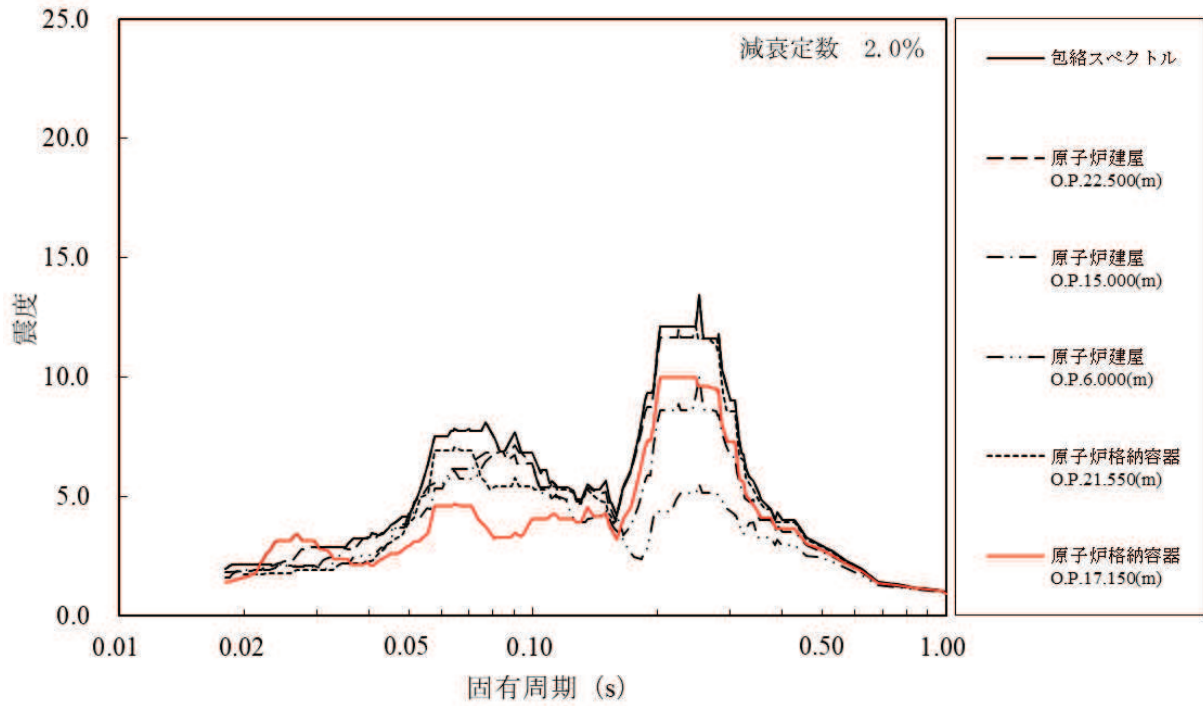


図 17-7 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-009)  
(水平方向, 減衰定数 2.0%)

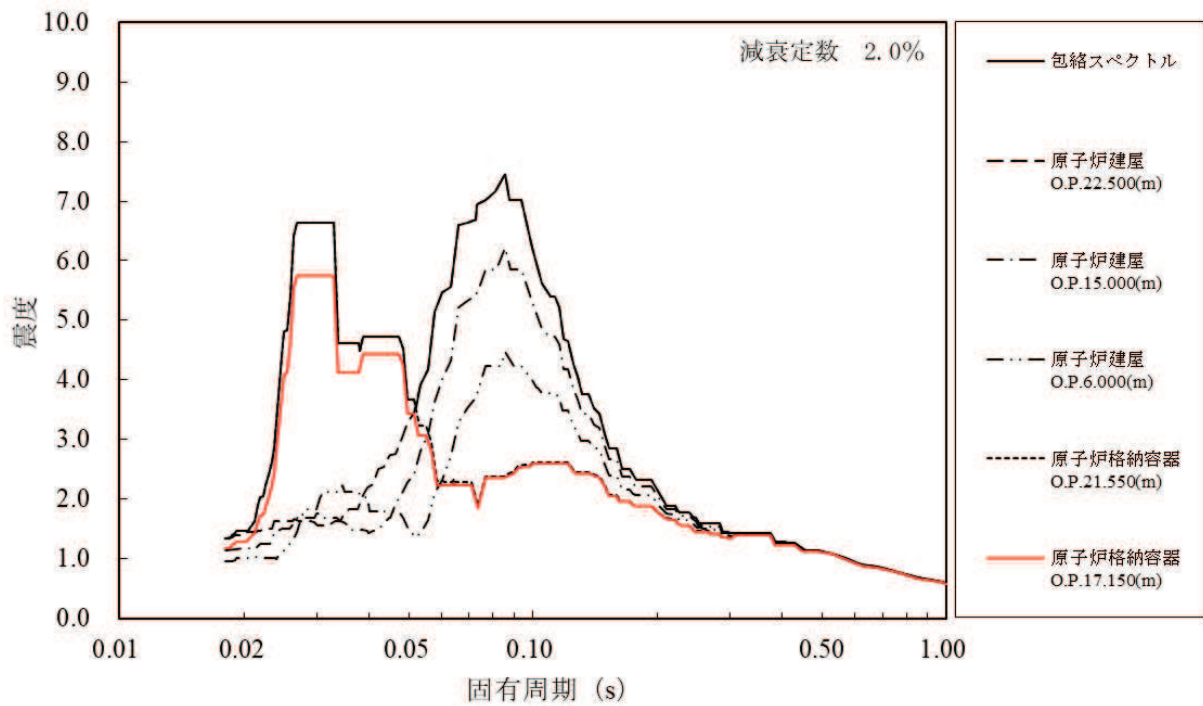


図 17-8 包絡スペクトル (残留熱除去系配管用, RHR-009)  
(鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

表 4 固有周期の計算間隔

固有周期 (s)	計算間隔 ( $\Delta\omega$ : rad/s)
0.02~0.1	4.0
0.1~0.2	1.5
0.2~0.39	0.5
0.39~0.94	1.0
0.94~1.0	0.38

d. 検討対象設備の主要諸元，解析モデル

検討対象設備として残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管の主要仕様，解析モデル図，固有振動数及び刺激係数，主要次数のモード図を示す。

(a) 残留熱除去系配管 (RHR-004)

残留熱除去系配管の主要仕様を表5に，解析モデル図を図18に，固有振動数及び刺激係数を表6に，主要次数のモード図を図19に示す。

表5 残留熱除去系配管 (RHR-004) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	8.62
最高使用温度 (°C)	302
外径 (mm)	114.3
厚さ (mm)	11.1
材料	STS410

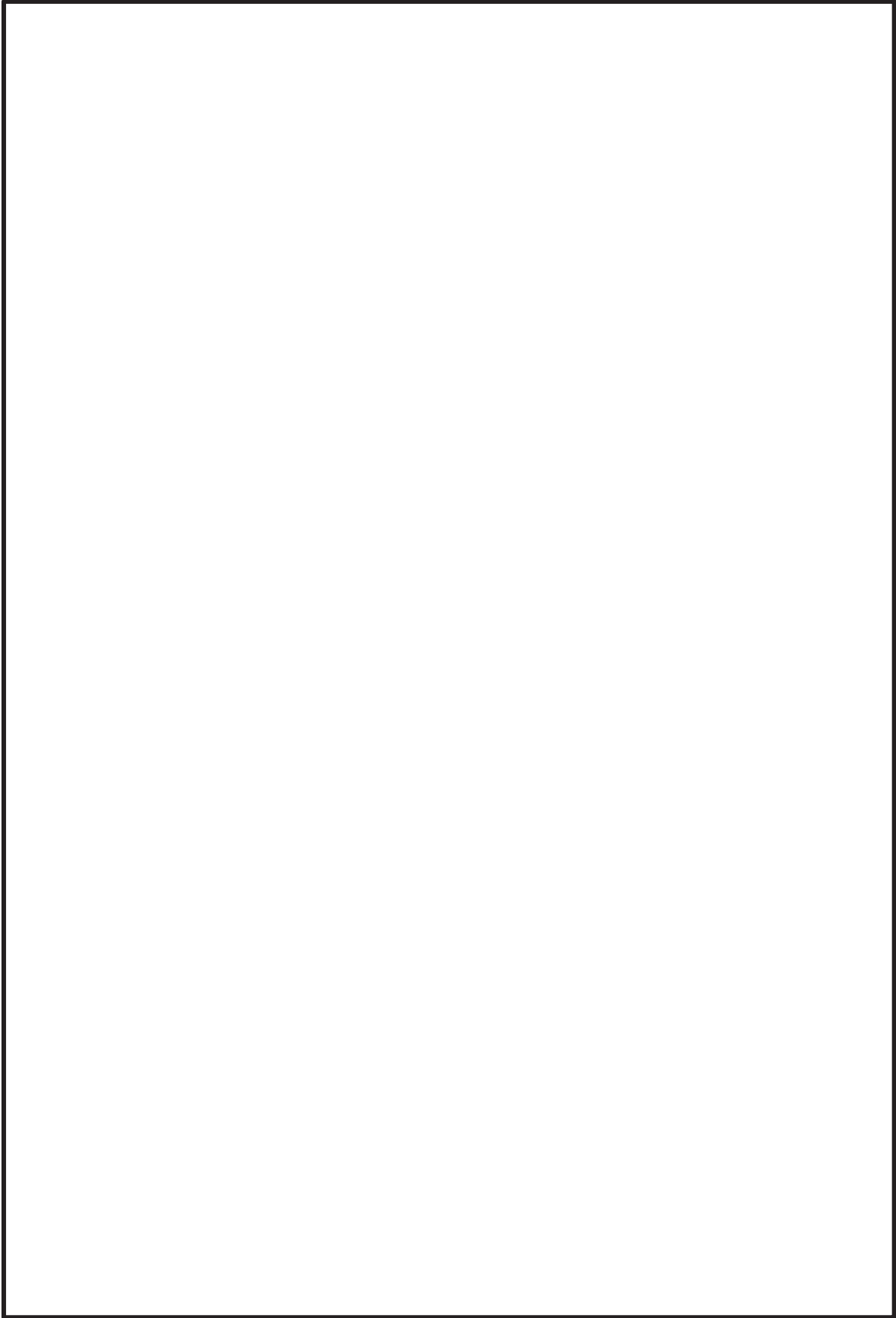


図 18 残留熱除去系配管（RHR-004）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6 残留熱除去系配管 (RHR-004) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向

注記\* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

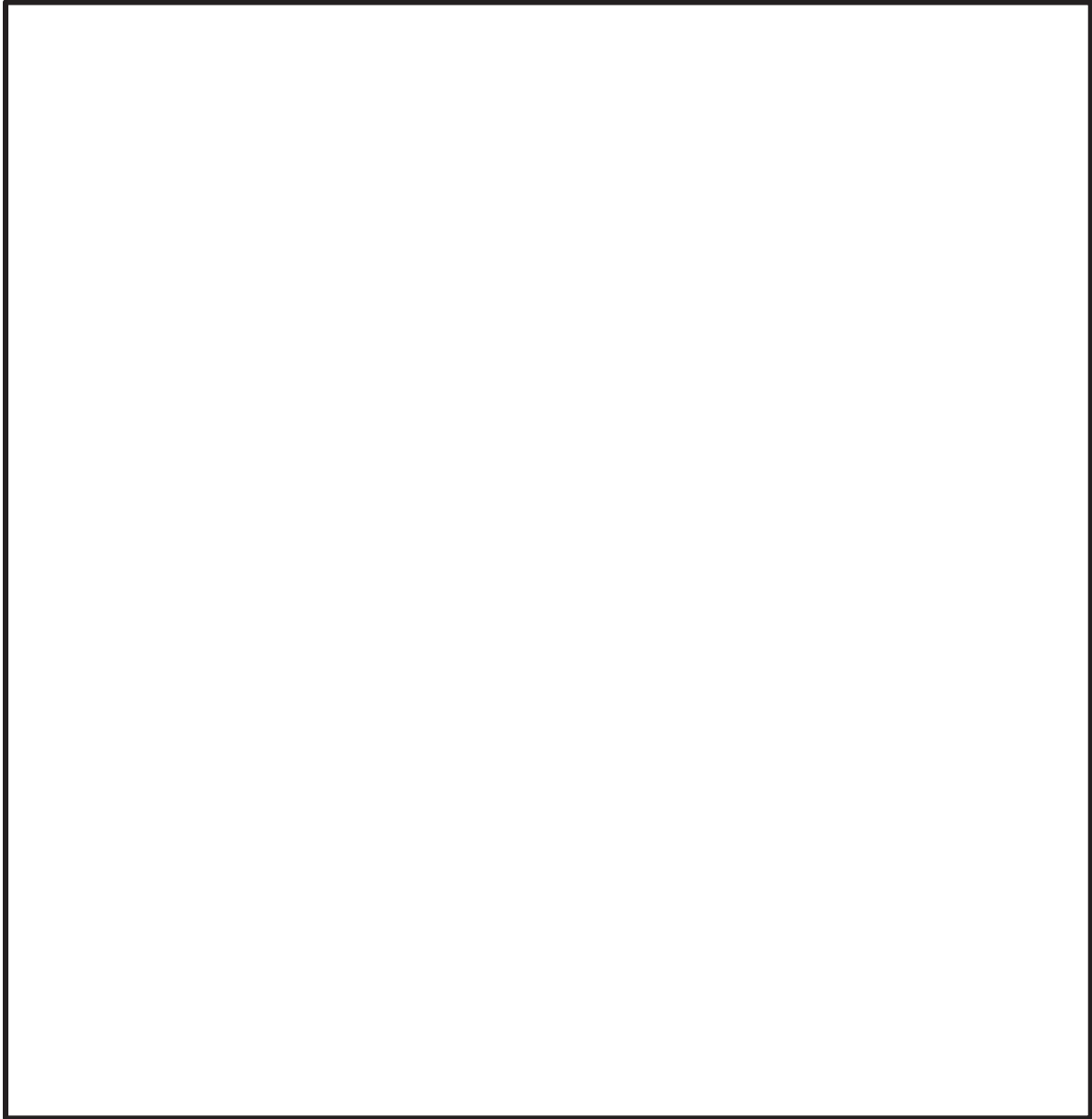


図 19-1 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (1 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



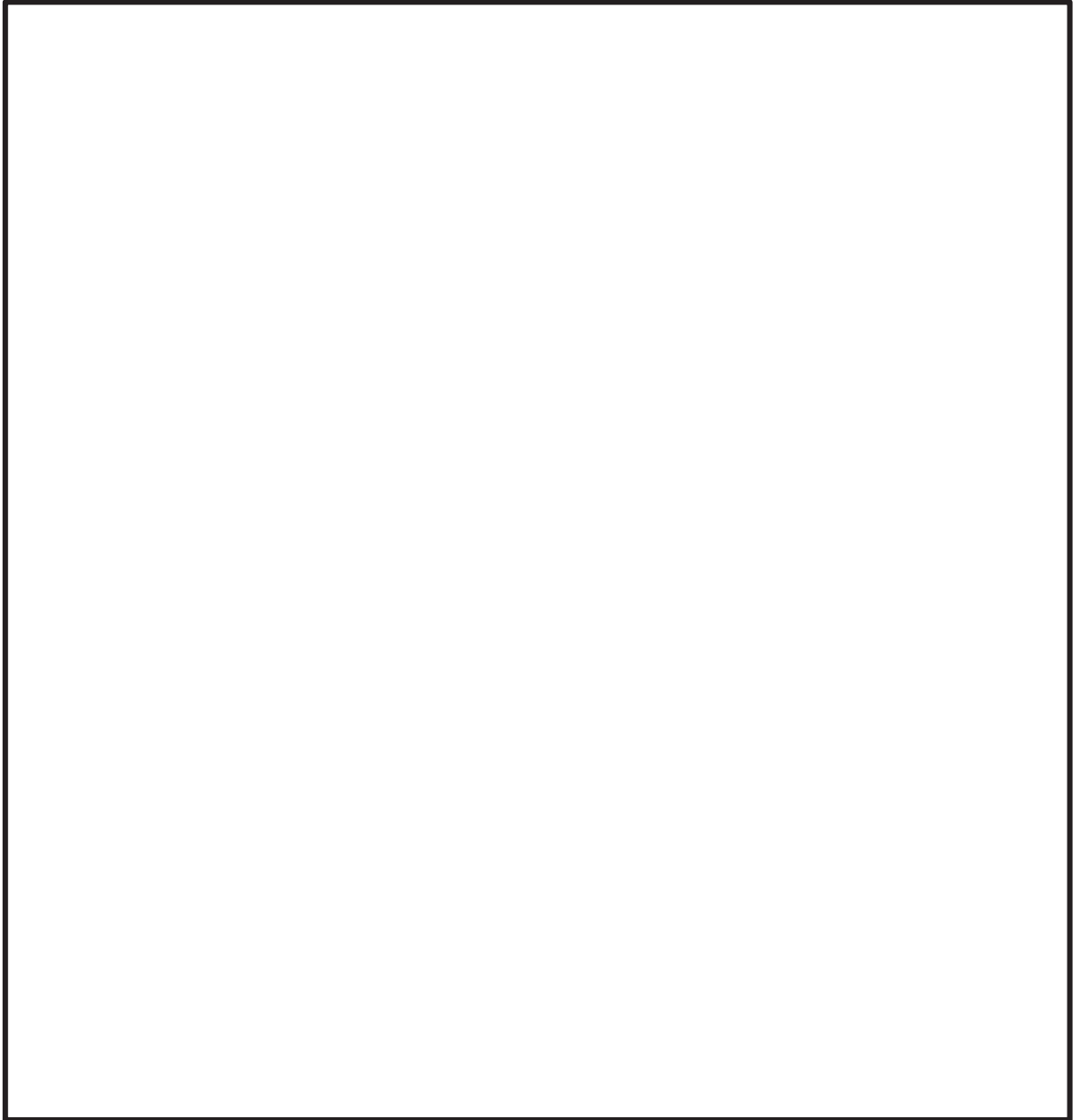


図 19-2 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (2 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

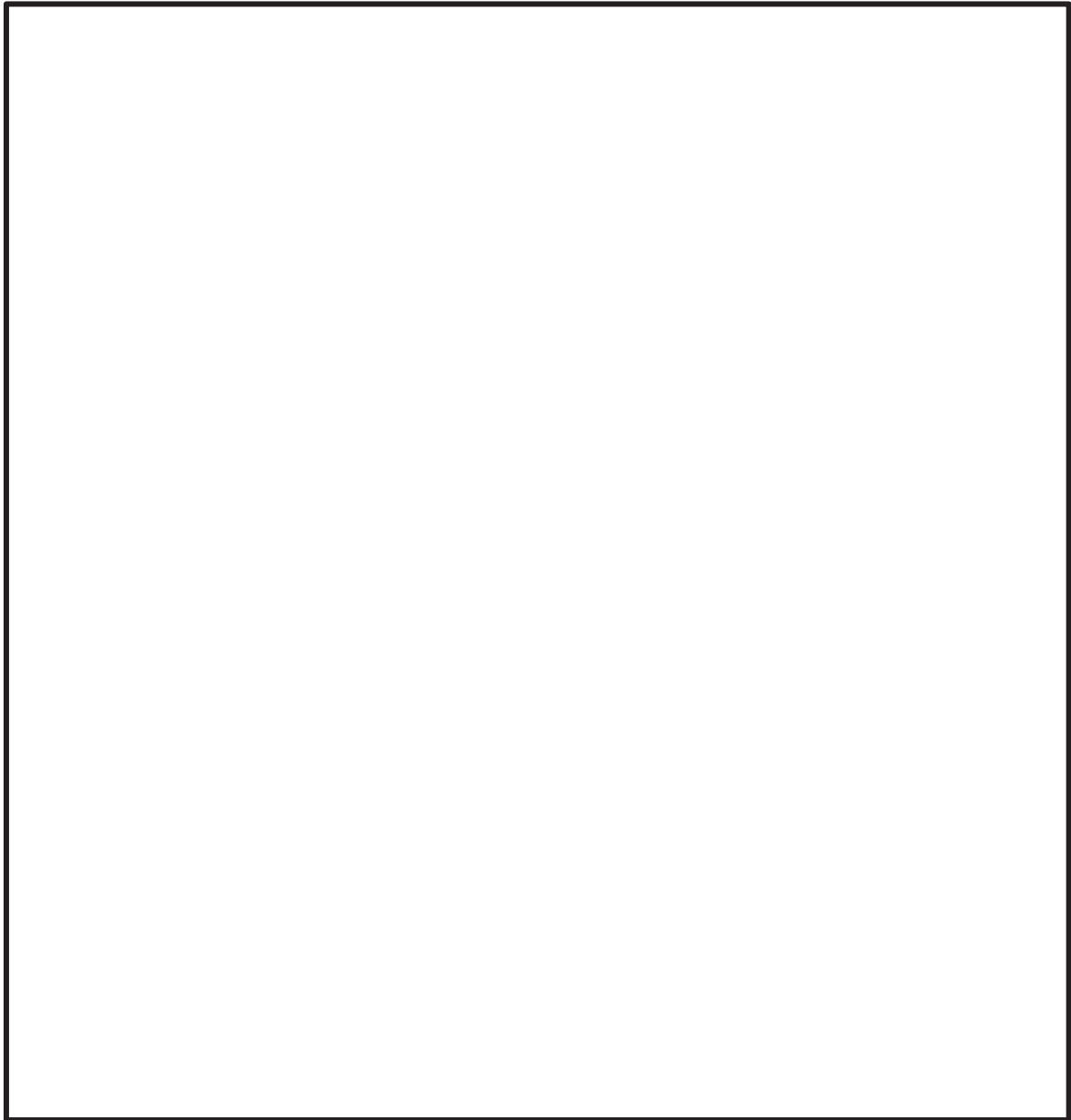


図 19-3 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 残留熱除去系配管 (RHR-005)

残留熱除去系配管の主要仕様を表7に、解析モデル図を図20に、固有振動数及び刺激係数を表8に、主要次数のモード図を図21に示す。

表7 残留熱除去系配管 (RHR-005) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	8.62
最高使用温度 (°C)	302
外径 (mm)	114.3
厚さ (mm)	11.1
材料	STS410

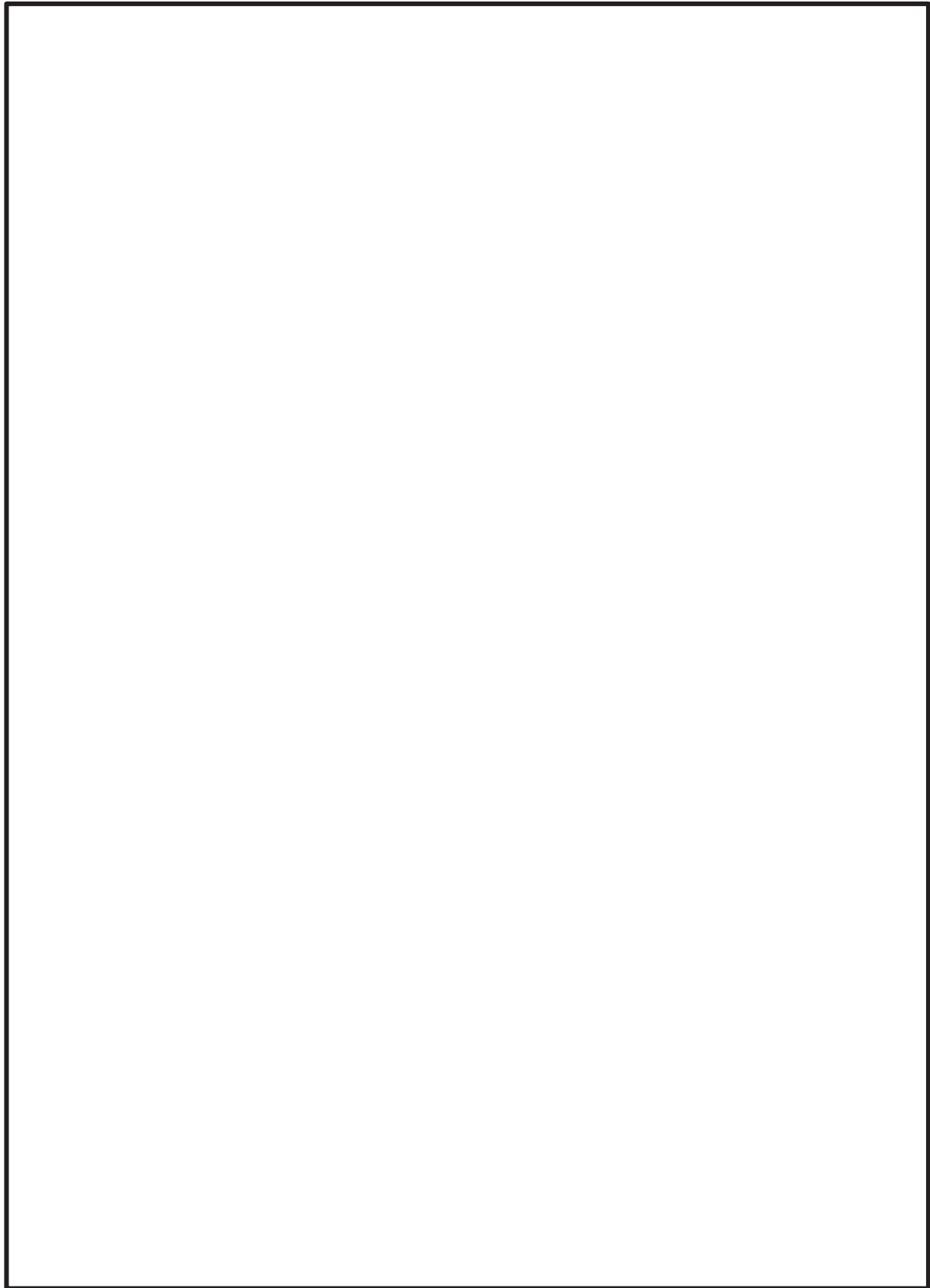


図 20 残留熱除去系配管（RHR-005）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 8 残留熱除去系配管 (RHR-005) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

注記\* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

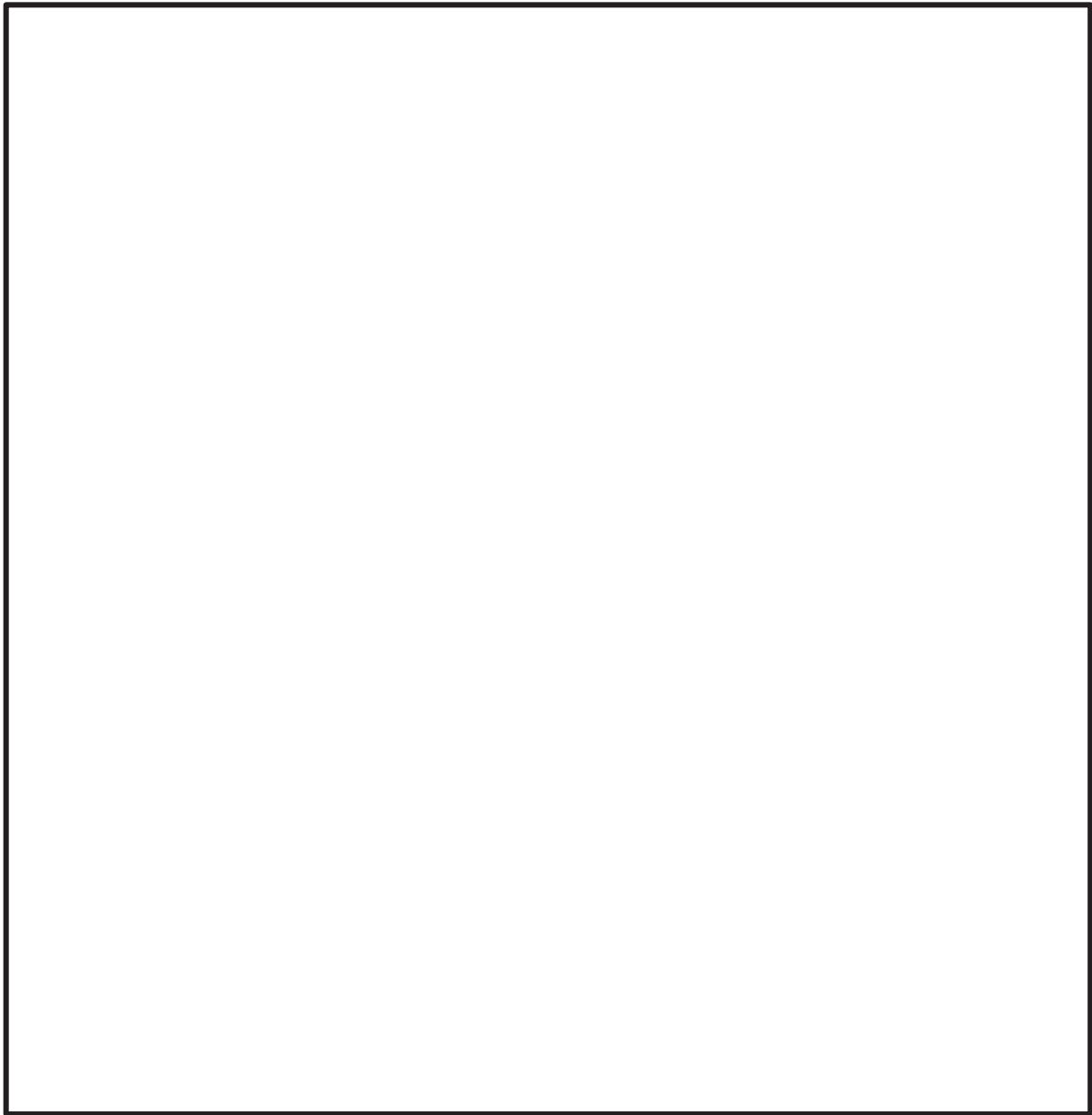


図 21-1 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (1 次)

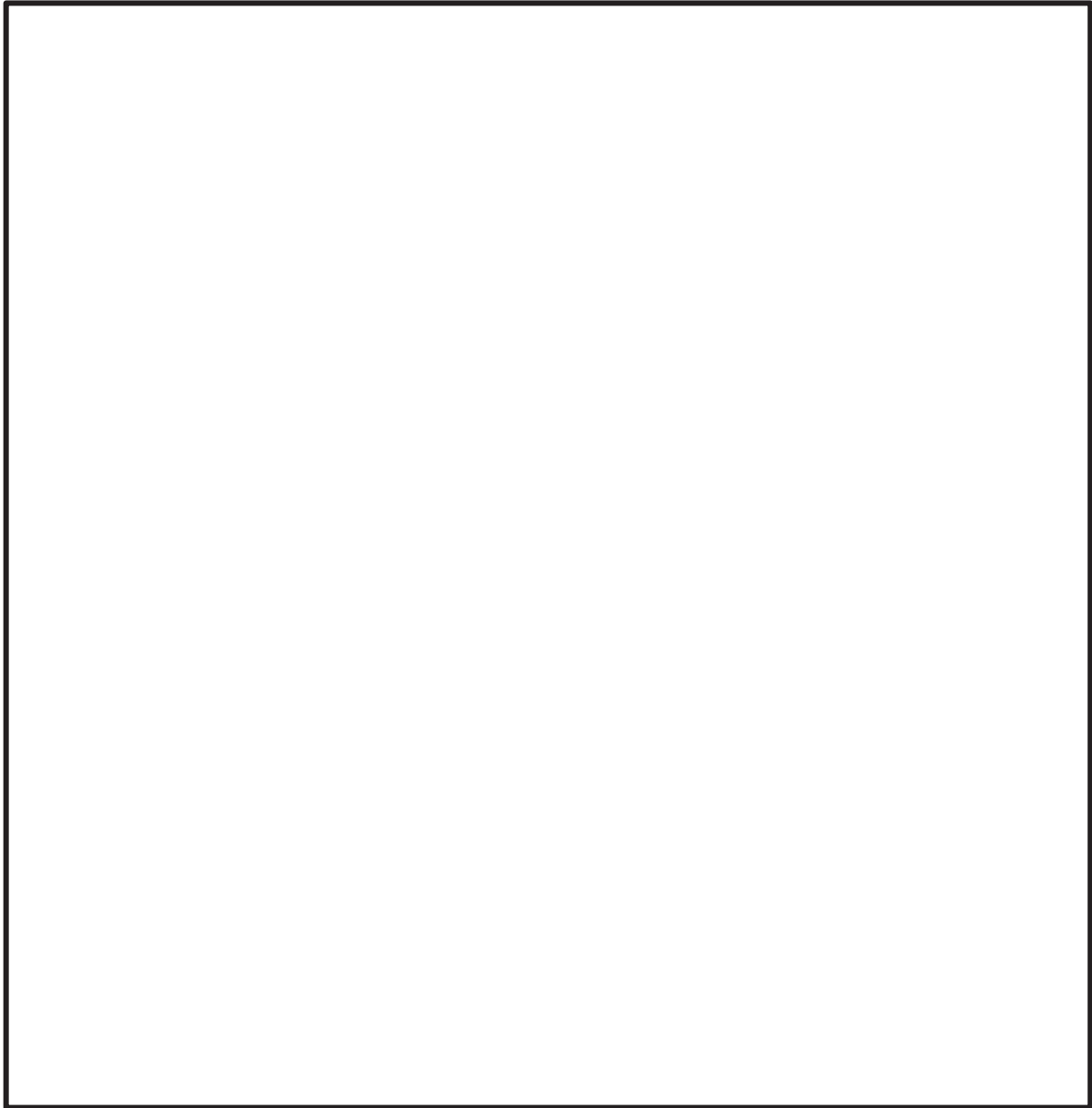


図 21-2 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (2 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

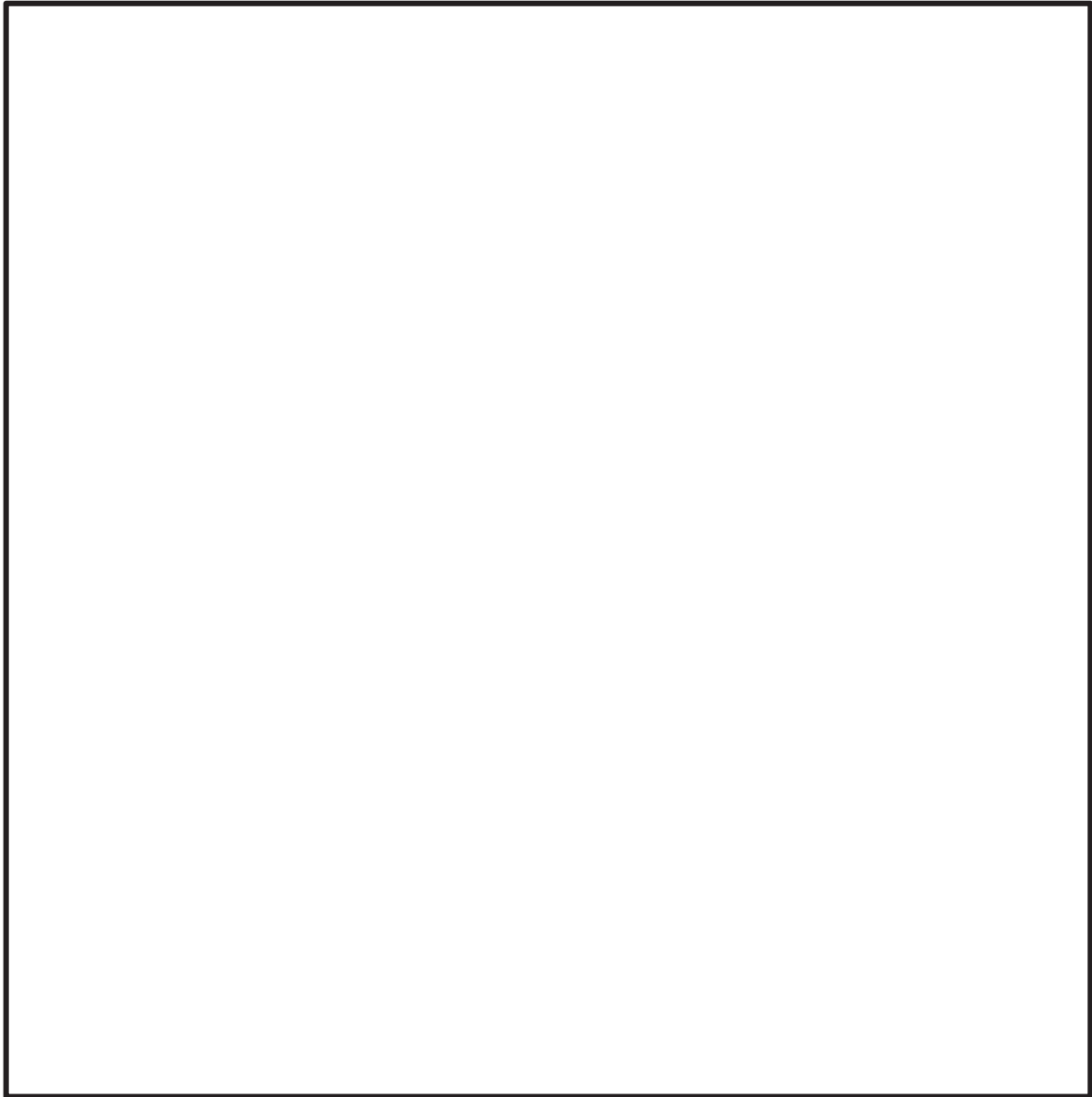


図 21-3 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(c) 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)

制御棒駆動水圧系配管の主要仕様を表9に、解析モデル図を図22に、固有振動数及び刺激係数を表10に、主要次数のモード図を図23に示す。

表 9 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	13.83
最高使用温度 (°C)	66
外径 (mm)	34.0
厚さ (mm)	4.5
材料	SUS316LTP

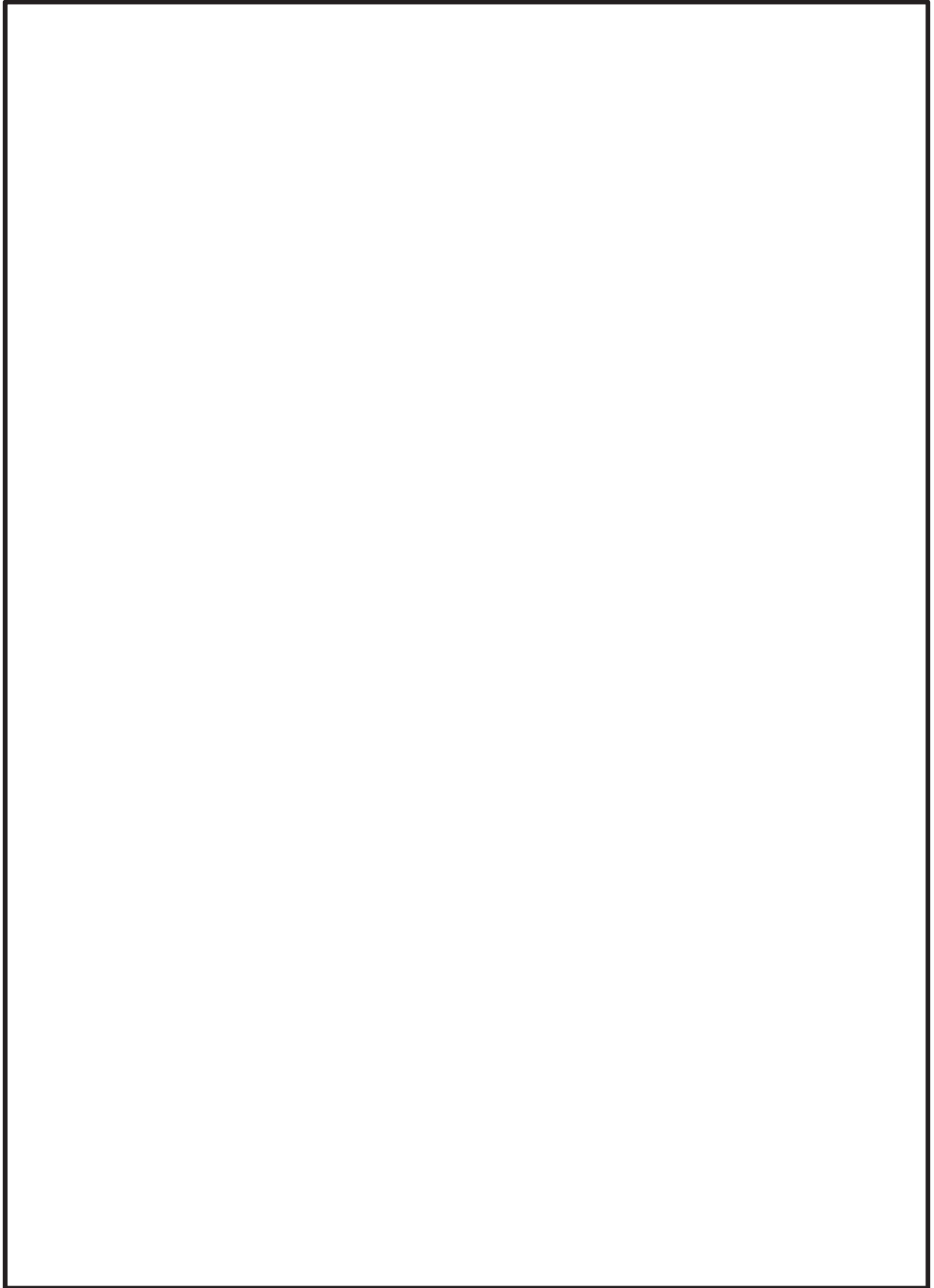


図 22 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 10 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

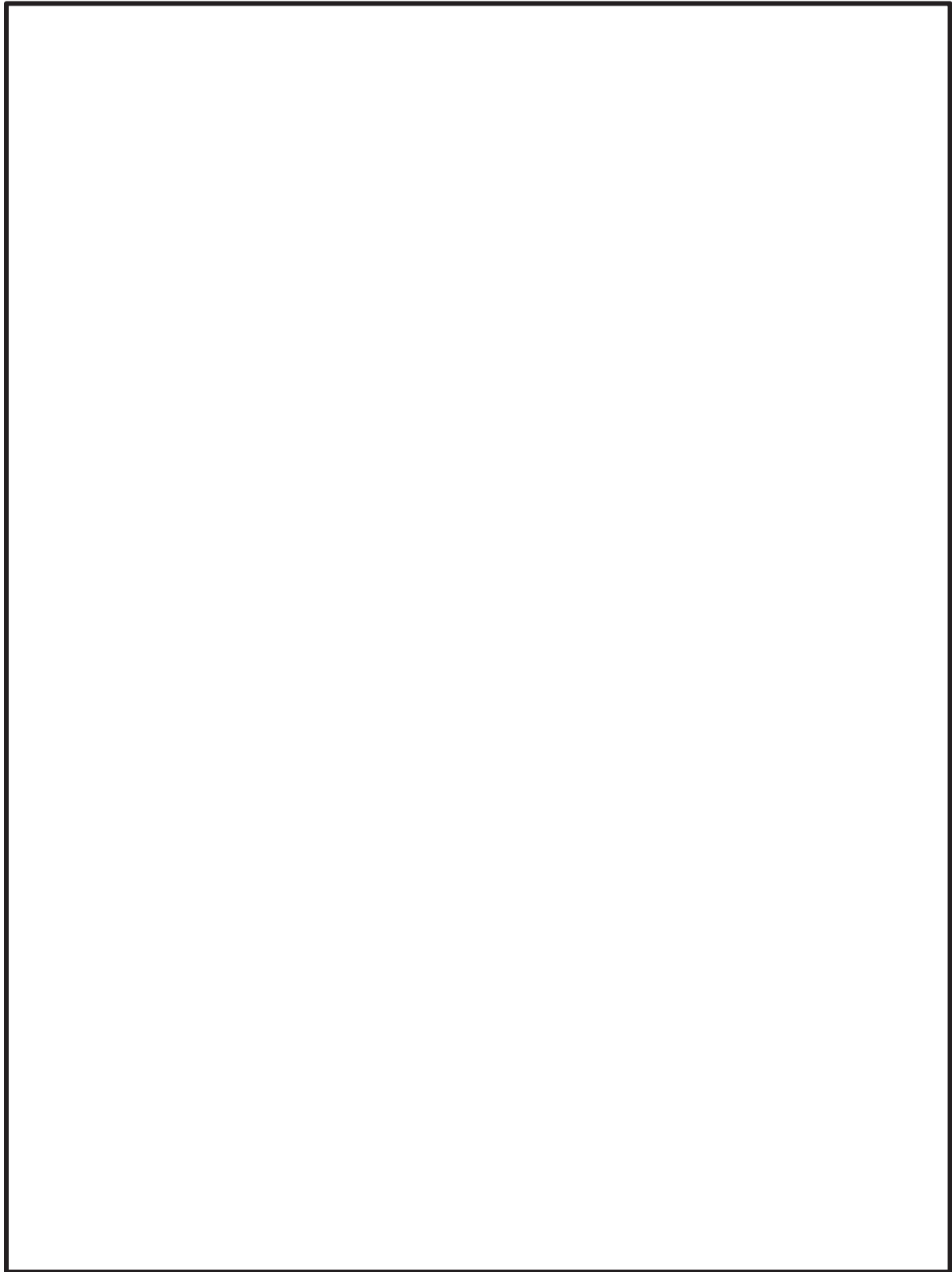


図 23-1 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

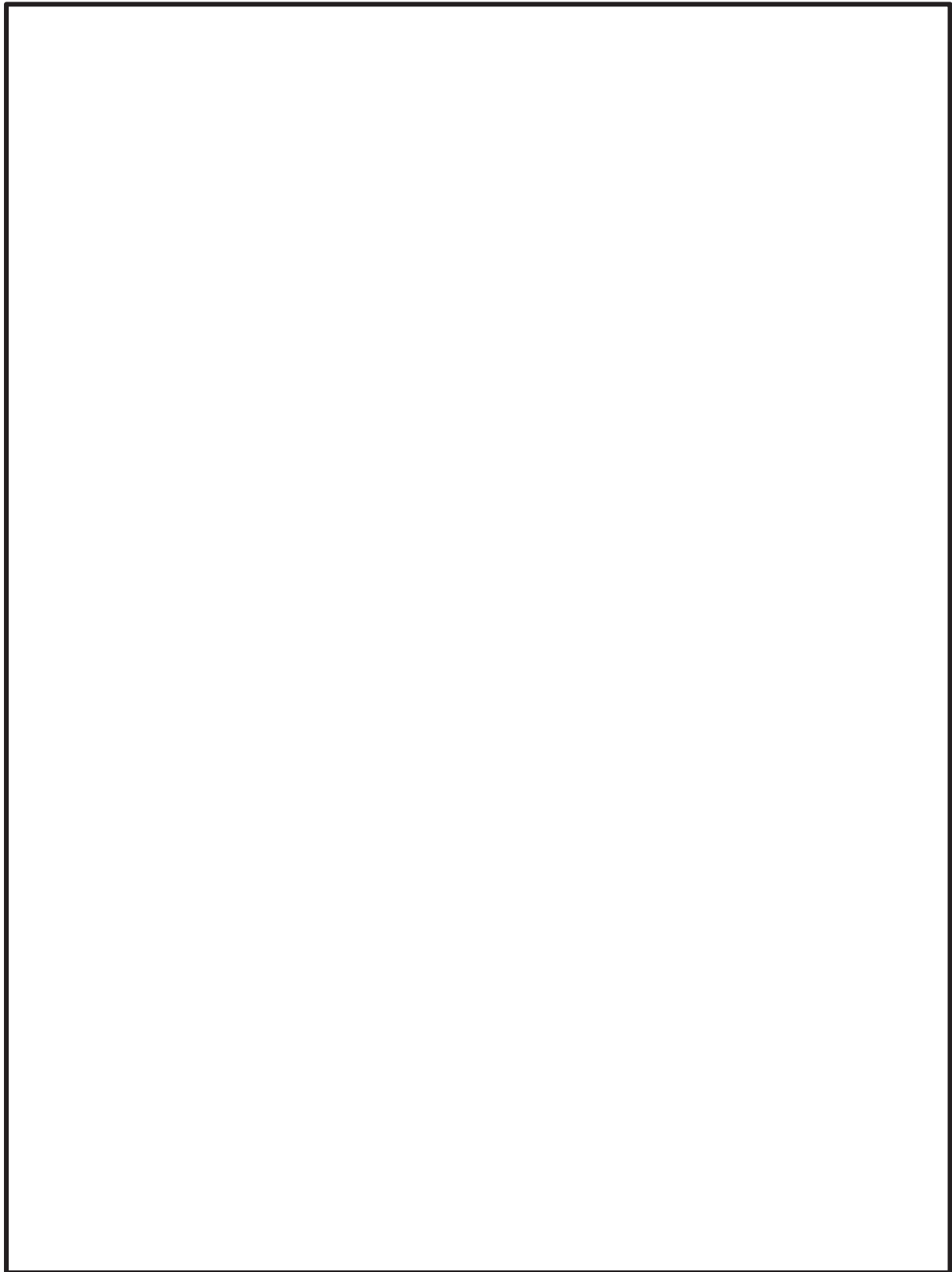


図 23-2 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (2次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

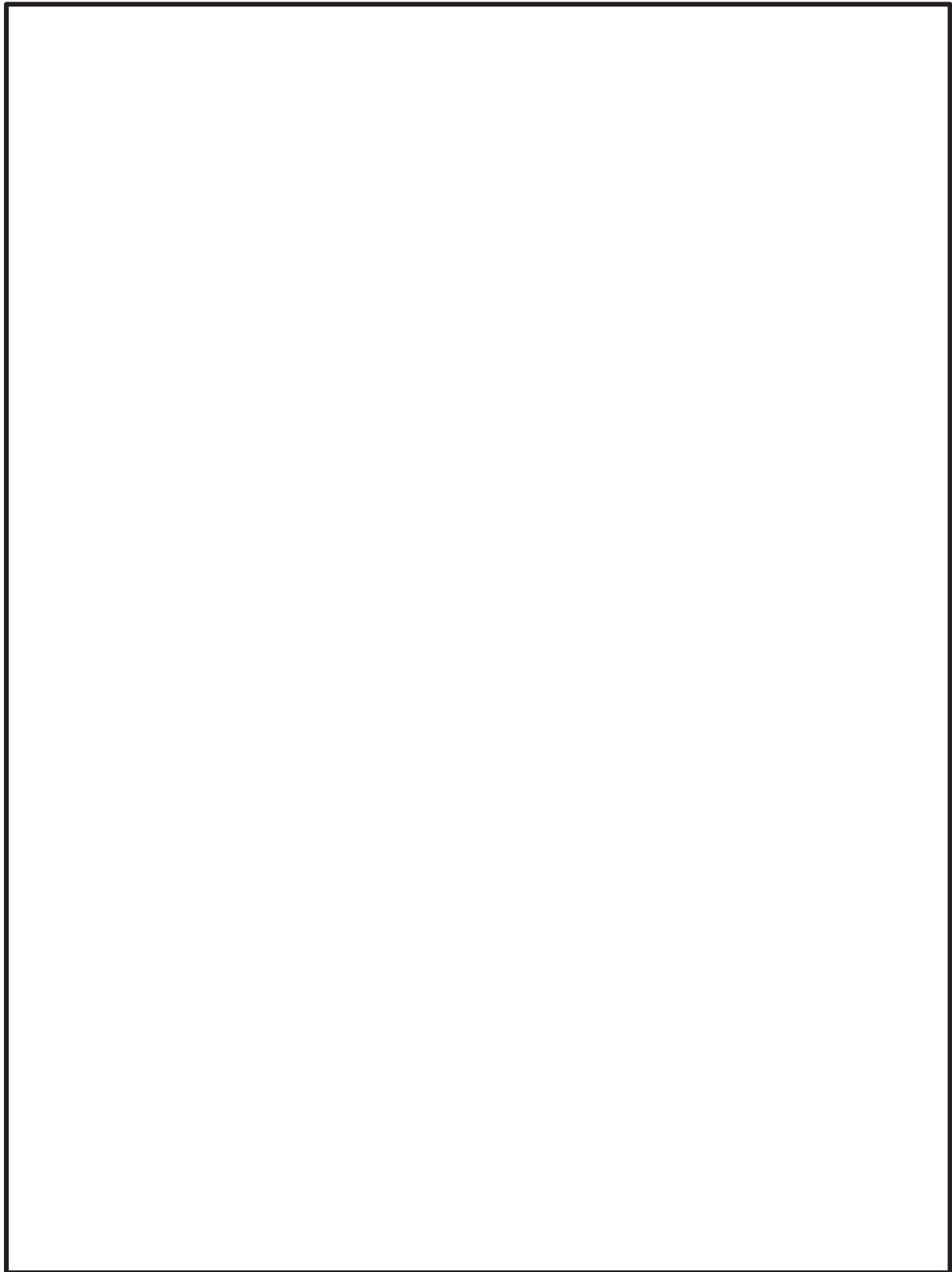


図 23-3 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d) 残留熱除去系配管 (RHR-009)

残留熱除去系配管の主要仕様を表11に、解析モデル図を図24に、固有振動数及び刺激係数を表12に、主要次数のモード図を図25に示す。

表 11 残留熱除去系配管 (RHR-009) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	3.73
最高使用温度 (°C)	186
外径 (mm)	267.4
厚さ (mm)	9.3
材料	STS410

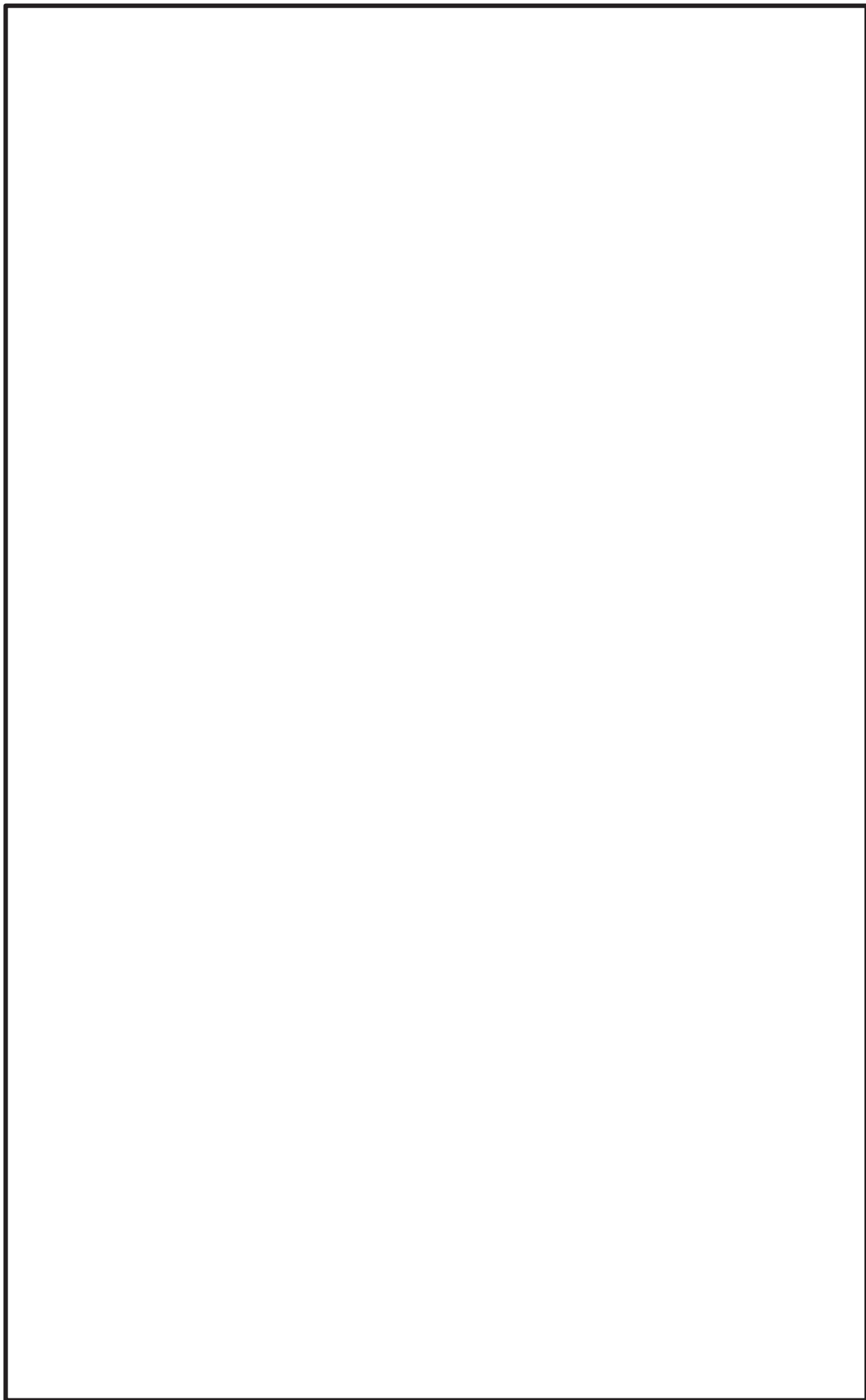


図 24-1 残留熱除去系配管 (RHR-009) の解析モデル図 (全体図)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



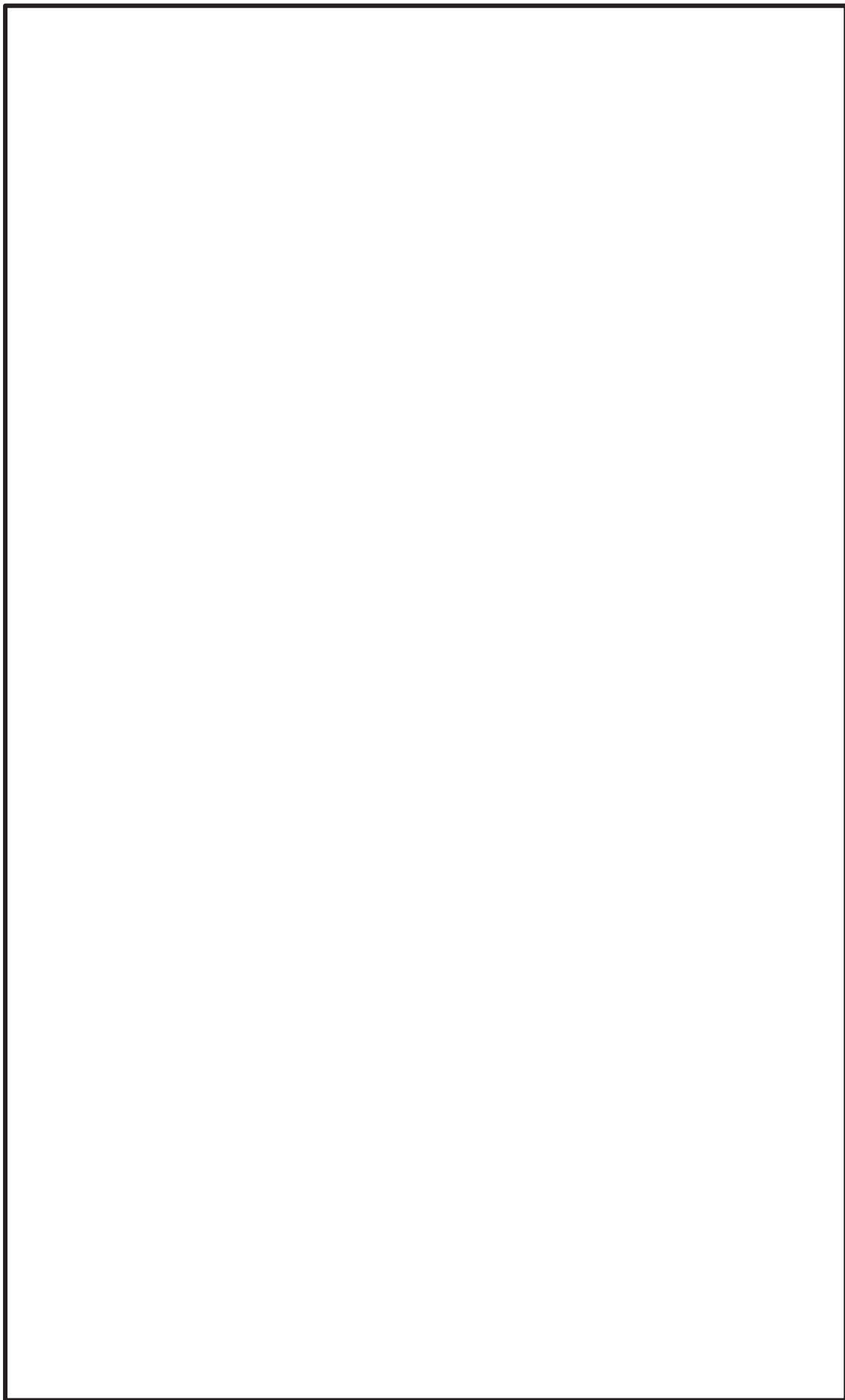


図 24-2 残留熱除去系配管 (RHR-009) の解析モデル図 (部分図) (1/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

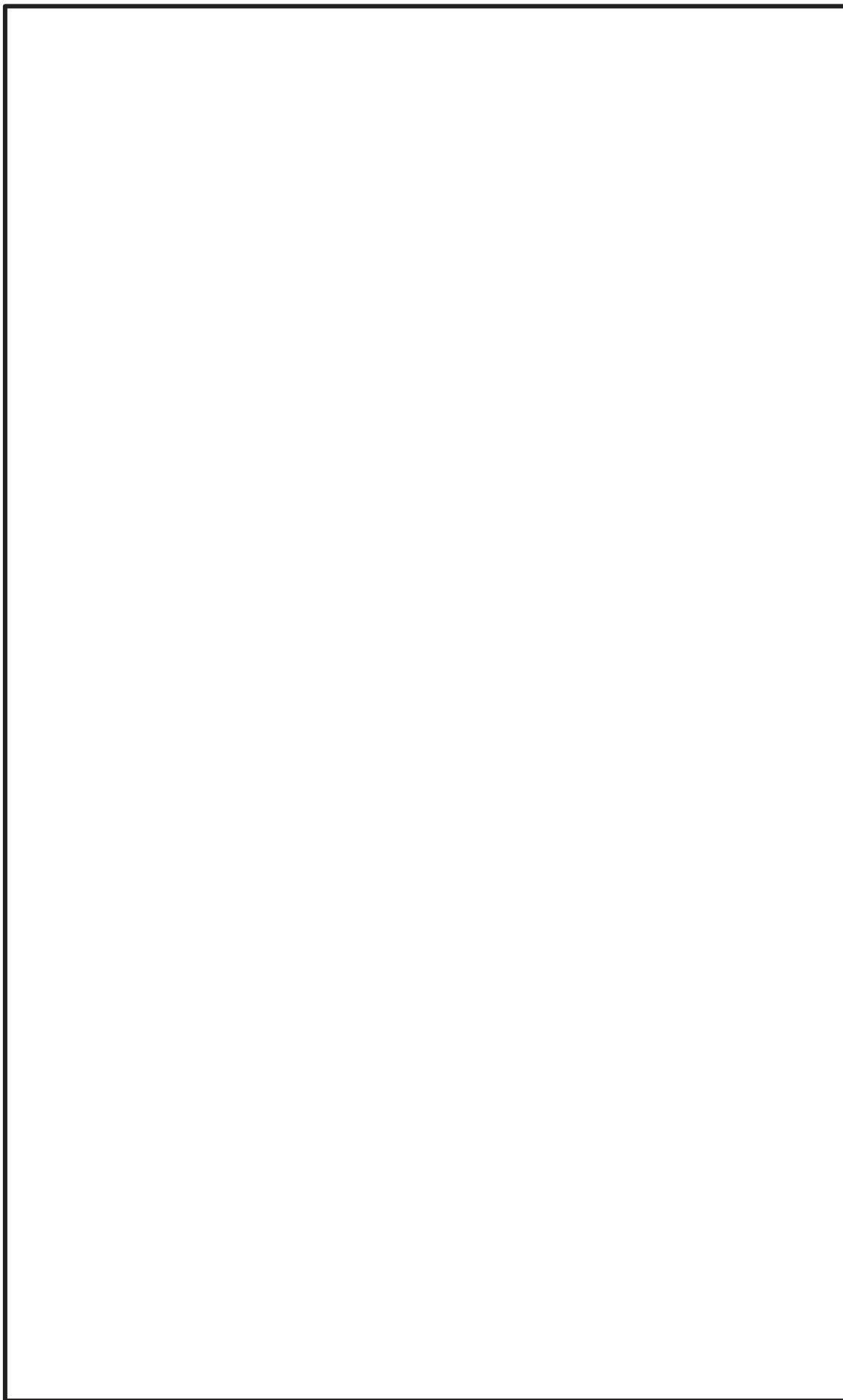


図 24-3 残留熱除去系配管 (RHR-009) の解析モデル図 (部分図) (2/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

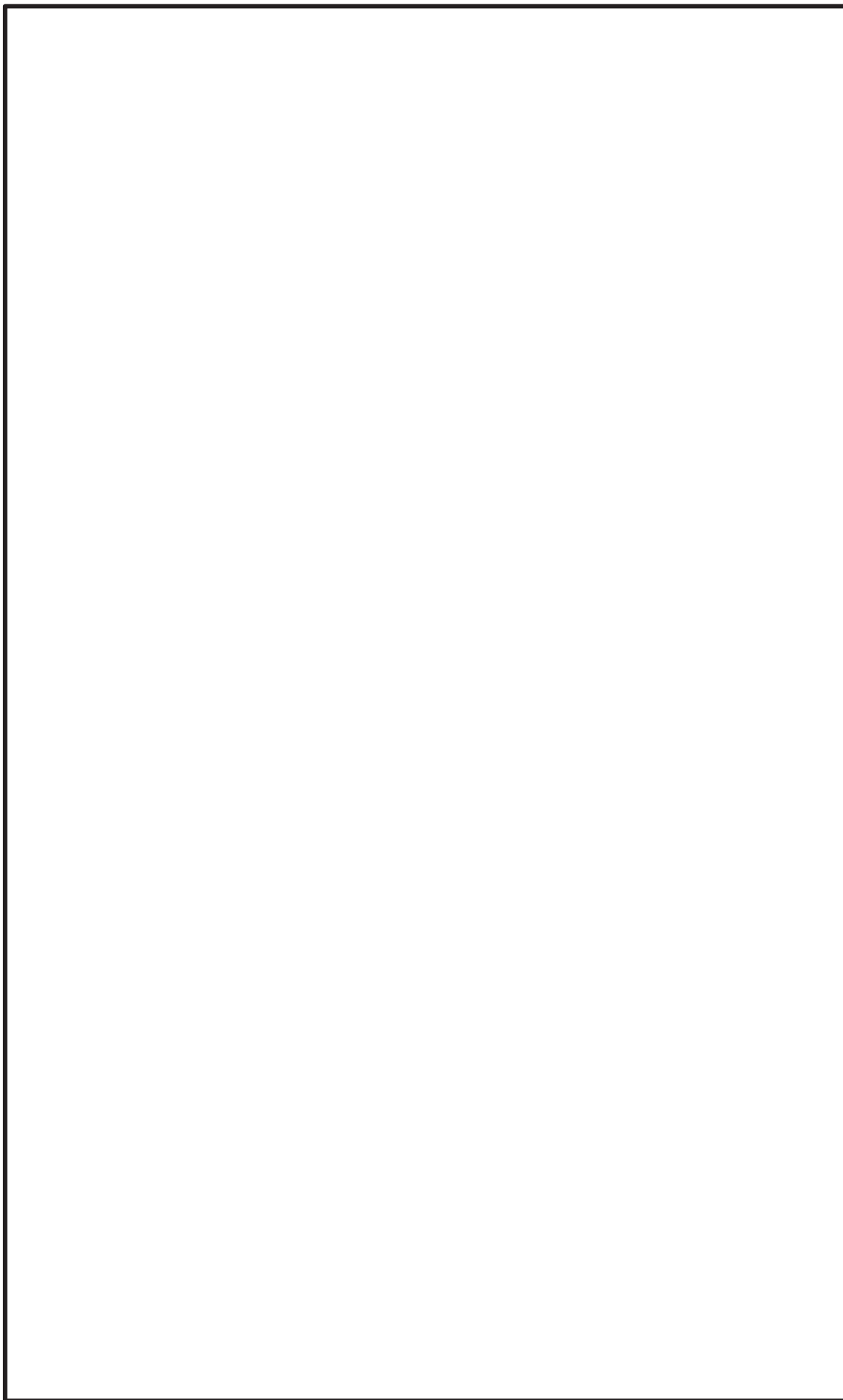


図 24-4 残留熱除去系配管 (RHR-009) の解析モデル図 (部分図) (3/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

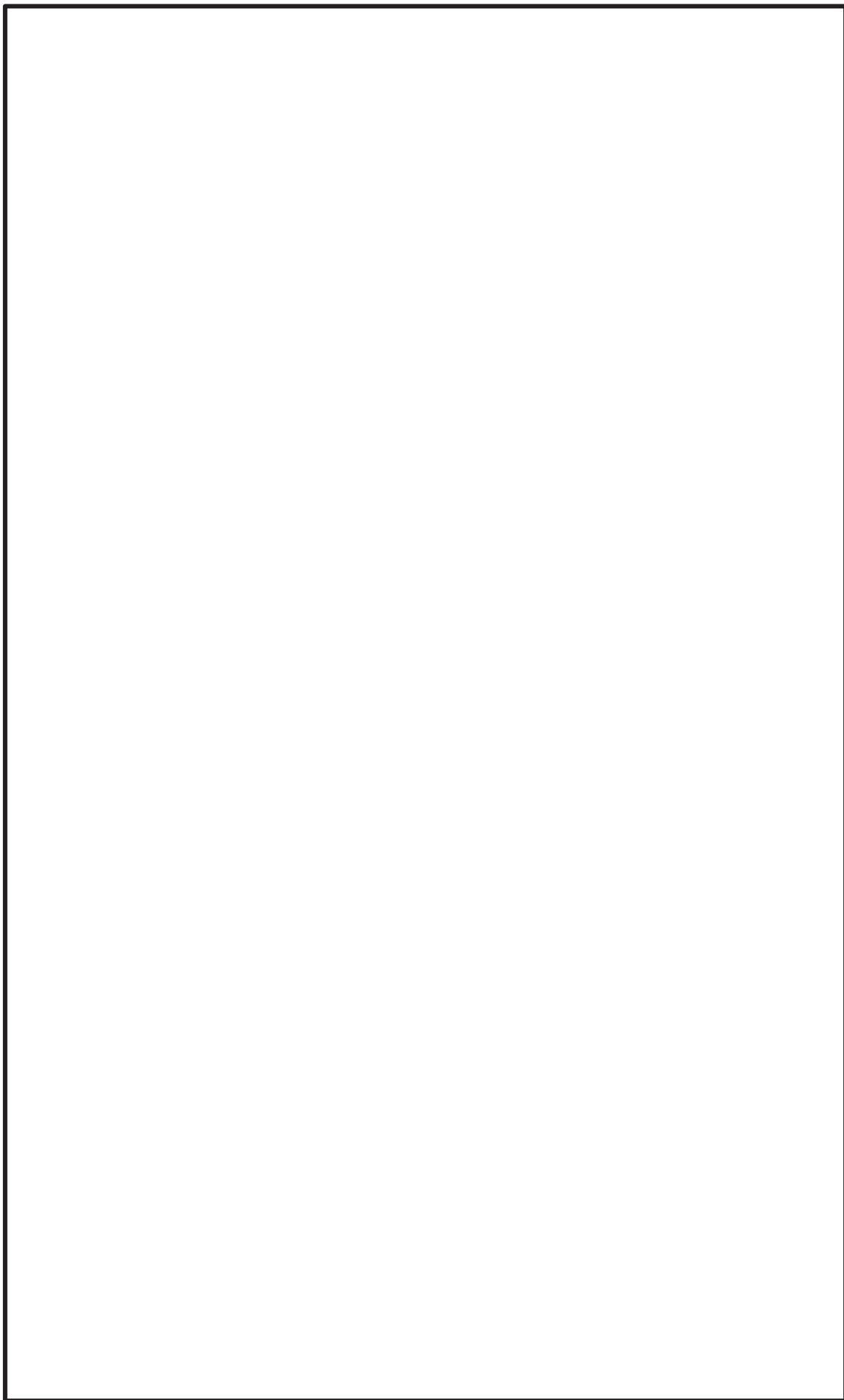


図 24-5 残留熱除去系配管 (RHR-009) の解析モデル図 (部分図) (4/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 12 残留熱除去系配管（RHR-009）の固有振動数及び刺激係数（1/2）

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 12 残留熱除去系配管（RHR-009）の固有振動数及び刺激係数（2/2）

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

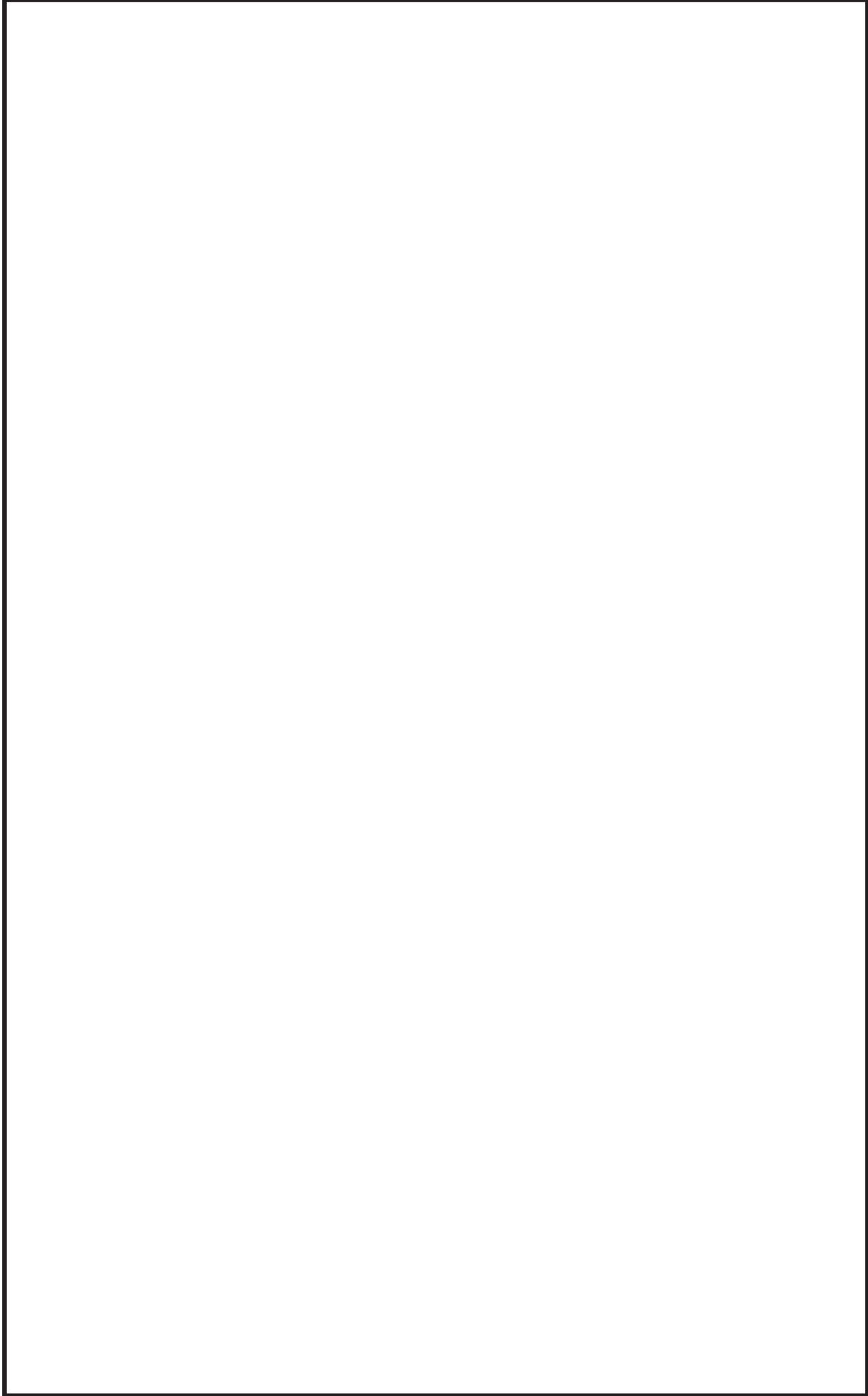


図 25-1 残留熱除去系配管 (RHR-009) のモード図 (1 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

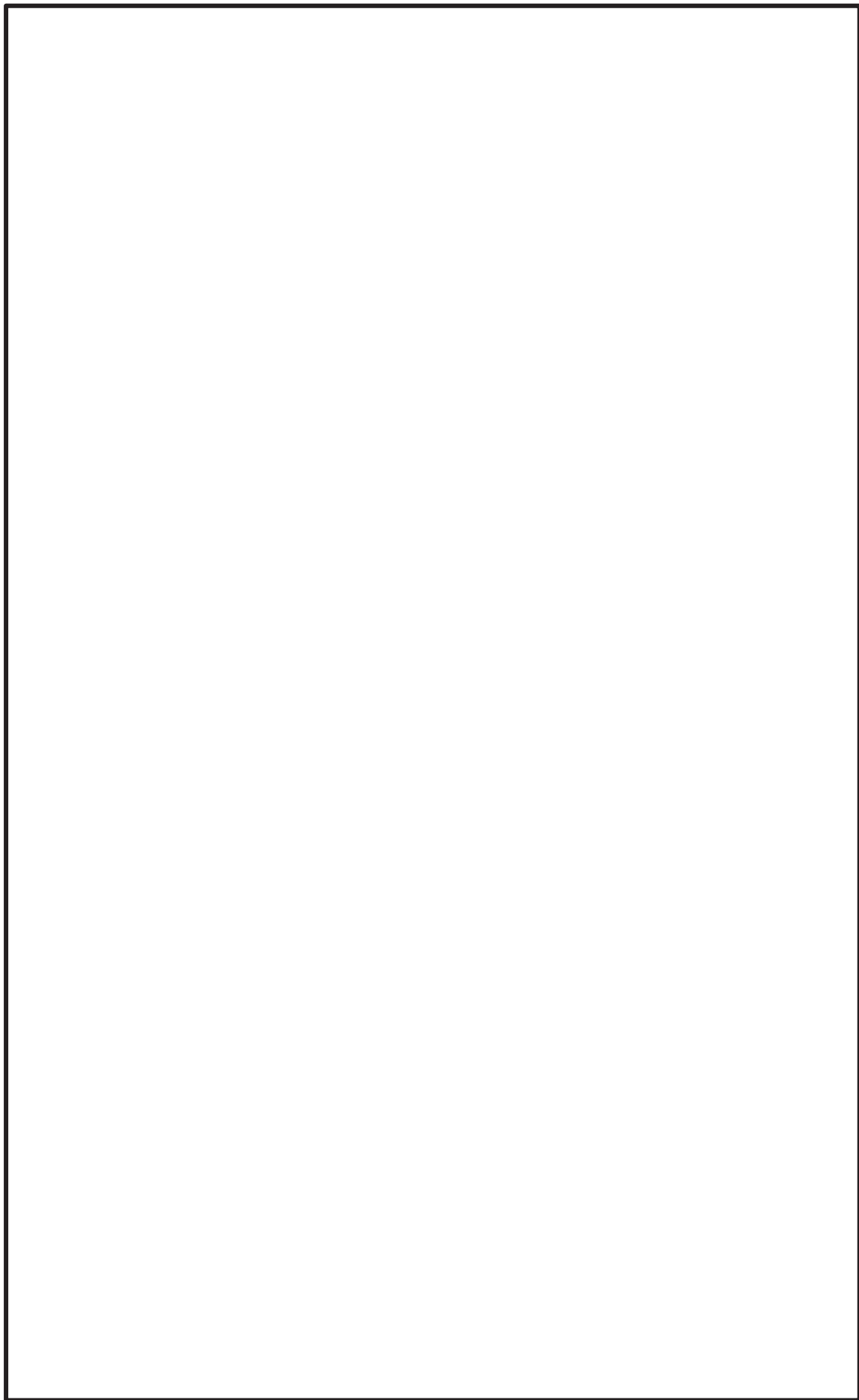


図 25-2 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (2次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



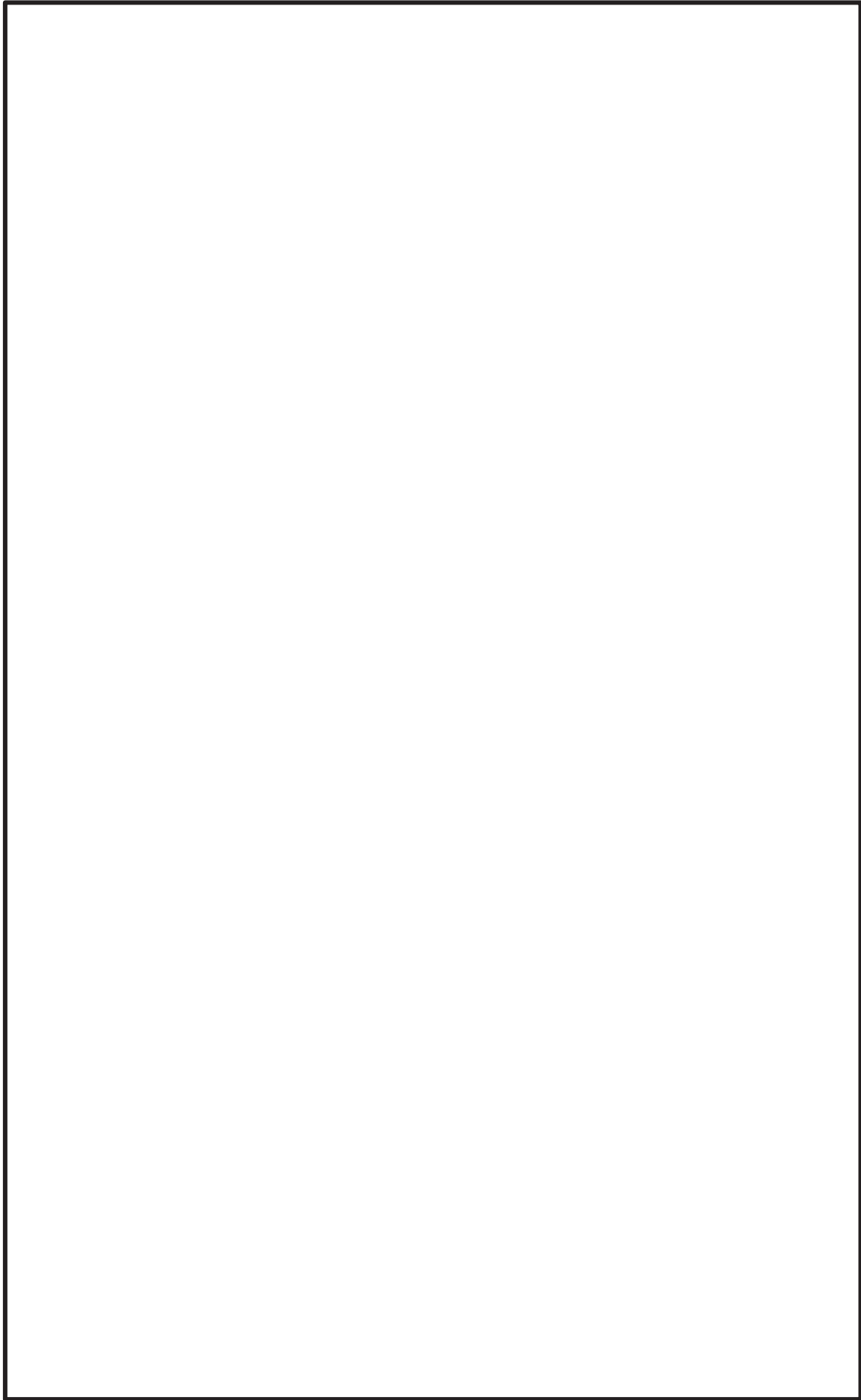


図 2.5-3 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (3次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

e. 解析結果

設計用床応答曲線を用いた地震応答解析結果，検討用床応答曲線を用いた地震応答解析結果及び静的解析結果を示す。

(a) 残留熱除去系配管 (RHR-004)

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 13-1 に示す。また，固有値解析結果から表 13-1 に示した質点 19 (最大応力発生位置，図 26 参照) へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから，質点 19 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 11 (加速度比較位置，図 26 参照) を抽出し，質点 11 での加速度を比較した結果を表 13-2 に示す。

表 13-1 より，現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 141MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 142MPa と同等であり，許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また，表 13-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 13-1 残留熱除去系配管 (RHR-004) の評価結果

(質点 19)		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	141	366
	静的解析 (1.2ZPA)	73	
	包絡値	141	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	142	366

表 13-2 最大応力発生時の各方向の発生加速度 (RHR-004)

(質点 11)		発生加速度(G)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	9.20	4.05	8.69
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	9.44	4.76	9.07

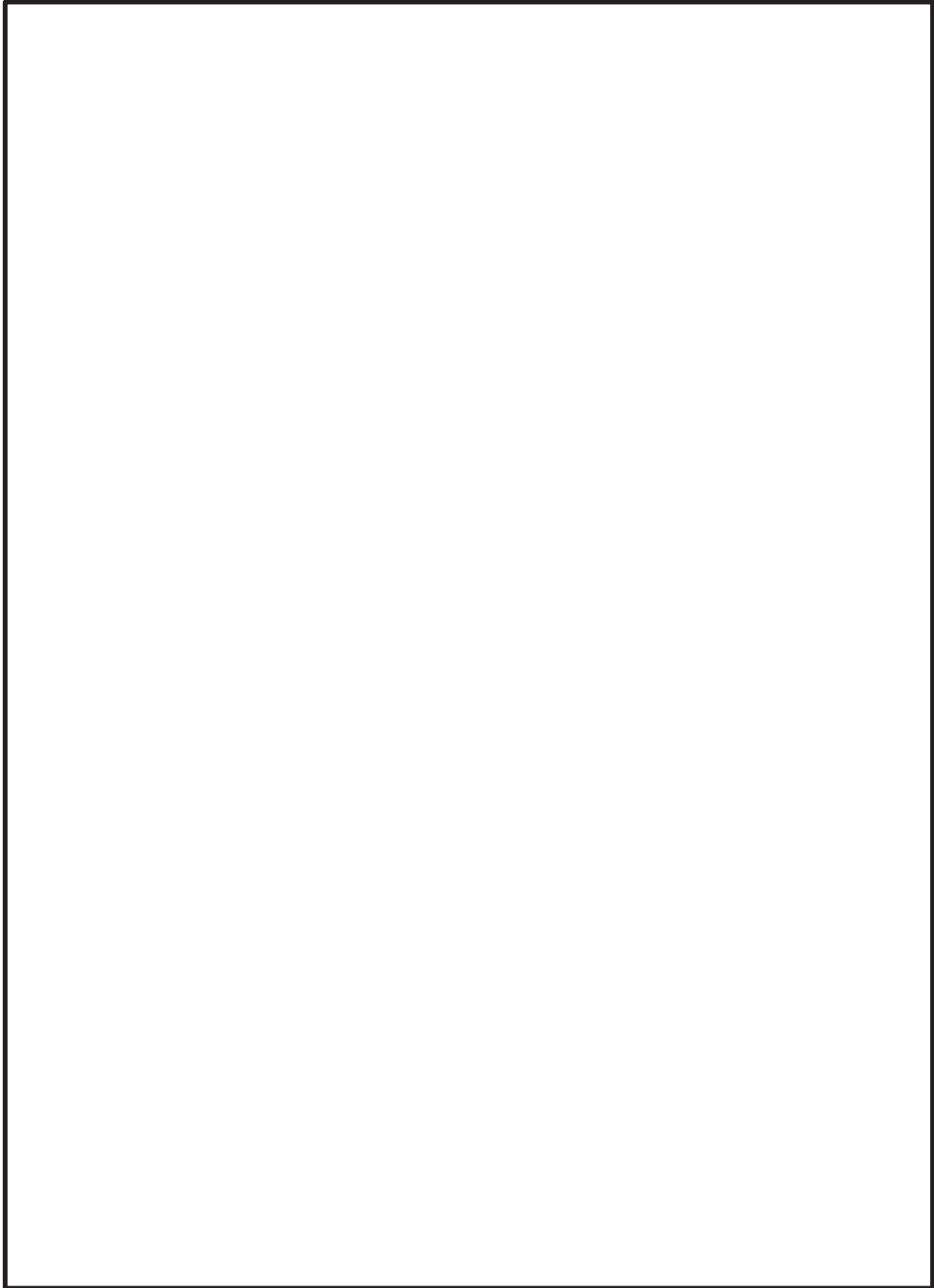


図 26 残留熱除去系配管 (RHR-004) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 残留熱除去系配管 (RHR-005)

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 14-1 に示す。また、固有値解析結果から表 14-1 に示した質点 29 (最大応力発生位置, 図 27 参照) へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから、質点 29 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 18 (加速度比較位置, 図 27 参照) を抽出し、質点 18 での加速度を比較した結果を表 14-2 に示す。

表 14-1 より、現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 197MPa に対して、検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 206MPa であり、応力は増加したものの、その増加は僅かであり許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また、表 14-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 14-1 残留熱除去系配管 (RHR-005) の評価結果

(質点 29)		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	197	366
	静的解析 (1.2ZPA)	97	
	包絡値	197	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	206	366

表 14-2 最大応力発生時の各方向の発生加速度 (RHR-005)

(質点 18)		発生加速度 (G)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	0.16	7.97	1.05
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	0.51	8.67	2.71

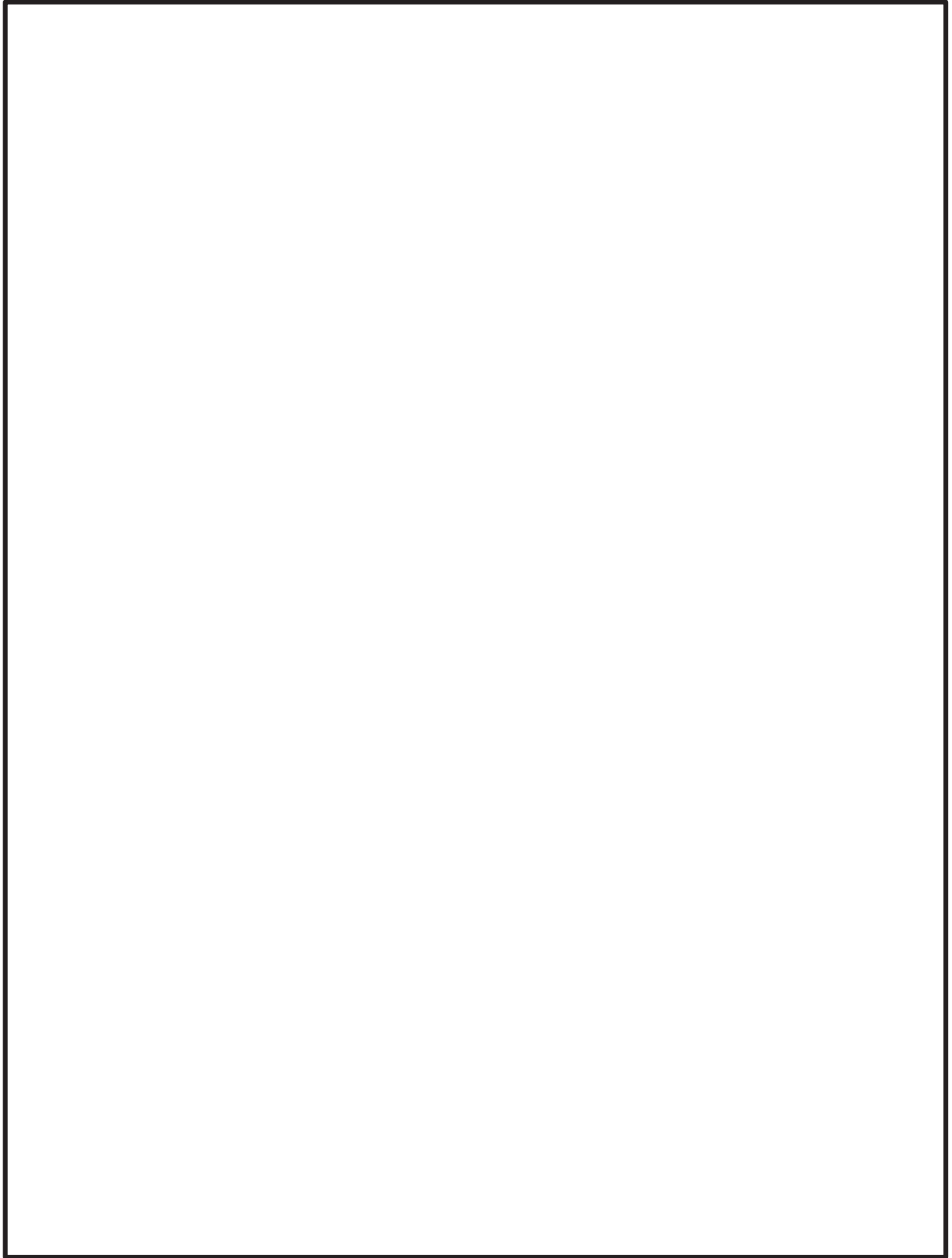


図 27 残留熱除去系配管 (RHR-005) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 15-1 に示す。また、固有値解析結果から表 15-1 に示した質点 16 (最大応力発生位置, 図 28 参照) へ影響の大きい振動モードとして 2 次モードが挙げられることから、質点 16 の近傍で 2 次モードによる加速度が大きい質点 7 (加速度比較位置, 図 28 参照) を抽出し、質点 7 での加速度を比較した結果を表 15-2 に示す。

表 15-1 より、現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 179MPa に対して、検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 187MPa であり、応力は増加したものの、その増加は僅かであり許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また、表 15-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 15-1 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の評価結果

(質点 16)		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	179	413
	静的解析 (1.2ZPA)	51	
	包絡値	179	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	187	413

表 15-2 最大応力発生時の各方向の発生加速度 (CRD-007-3)

(質点 7)		発生加速度 (G)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	13.45	6.08	1.07
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	13.61	9.11	2.73

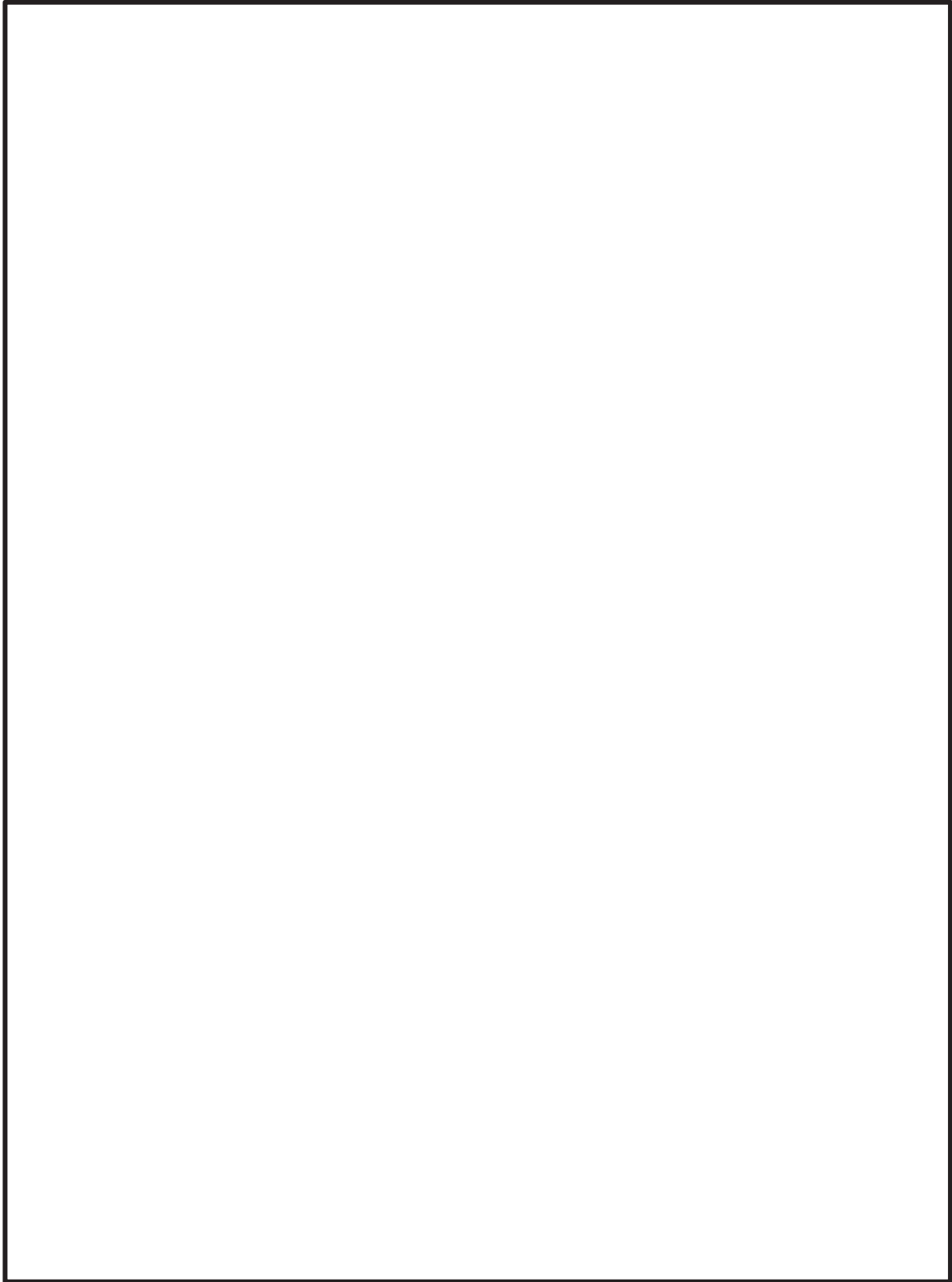


図 28 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(d) 残留熱除去系配管 (RHR-009)

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 16-1 に示す。また、固有値解析結果から表 16-1 に示した質点 235 (最大応力発生位置, 図 29 参照) へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから、質点 235 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 231 (加速度比較位置, 図 28 参照) を抽出し、質点 231 での加速度を比較した結果を表 16-2 に示す。

表 16-1 より、現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 104MPa に対して、検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 125MPa であり、応力は増加したものの、許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また、表 15-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 16-1 残留熱除去系配管 (RHR-009) の評価結果

(質点 235)		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	104	363
	静的解析 (1.2ZPA)	90	
	包絡値	104	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	125	363

表 16-2 最大応力発生時の各方向の発生加速度 (RHR-009)

(質点 231)		発生加速度 (G)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
現行の手法	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	5.57	2.73	6.25
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	5.80	7.72	6.80

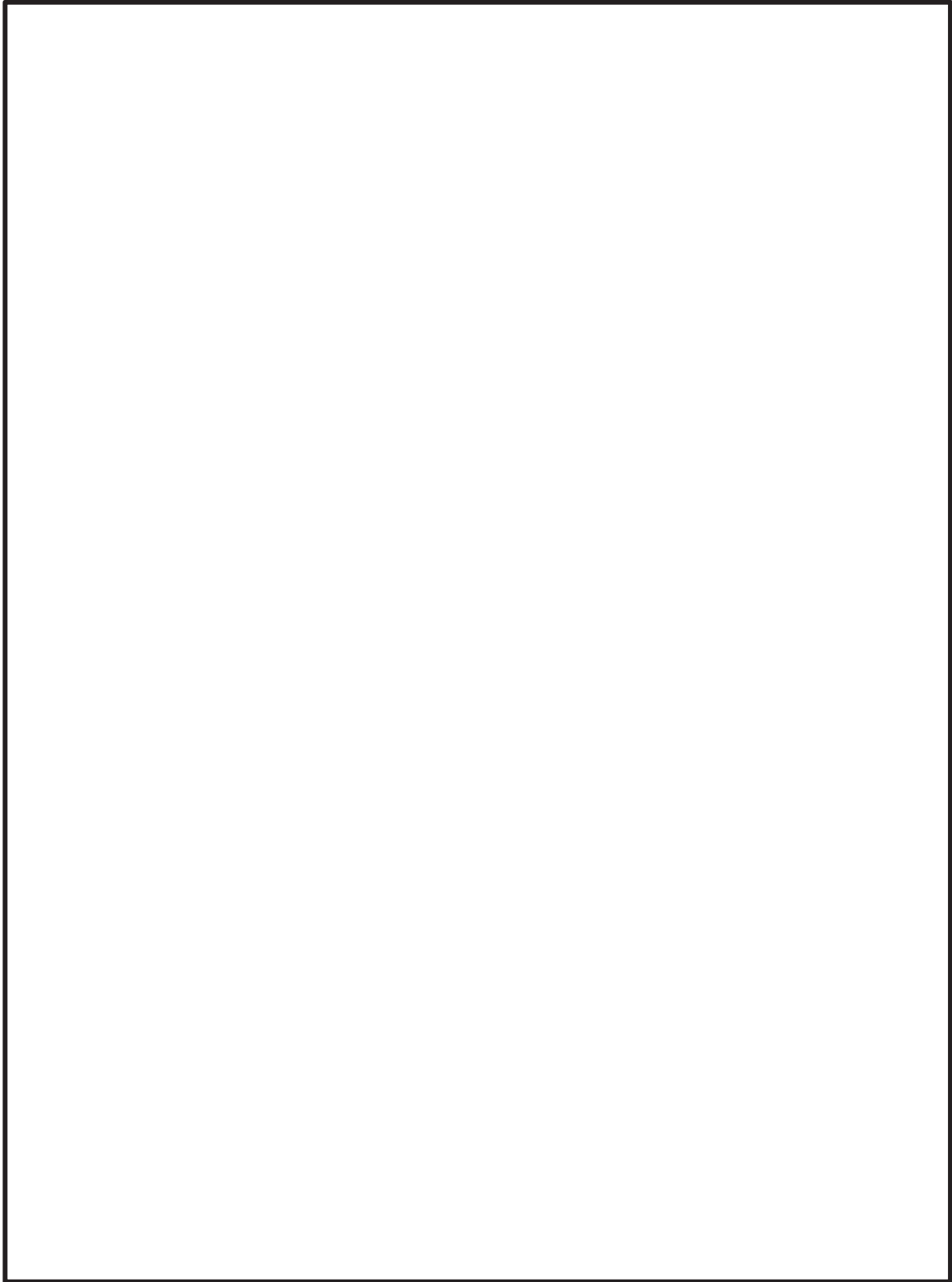


図 29 残留熱除去系配管 (RHR-009) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

以上のとおり、残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管ともに現行の手法による評価結果に対して、妥当性検討として実施した 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果による応力の増加は僅か、若しくは同等であることを確認した。また、加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

加速度に差があるものの応力の増加が僅かである理由としては、図 12 の変位応答スペクトルで示したように、高振動数側では応答変位が小さく、機器に発生する応力への寄与は、低振動数側と比較しても相対的に小さくなるため、20Hz 未満の振動数領域での応力が支配的となり、20Hz 以上の振動数領域を考慮して加速度が大きくなった場合でも有意な応力の上昇が現れなかったものと考えられる。

#### (4) まとめ

現行手法の妥当性検討として、20Hz 近傍に卓越する応答を有する床応答スペクトルを適用する残留熱除去系配管及び 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する制御棒駆動水圧系配管を対象に地震応答解析を実施した（表 17 参照）。

表 17 妥当性検討に用いた対象設備

対象設備	選定理由
残留熱除去系配管 (RHR-004)	鉛直方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉しゃへい壁の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち、一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。
残留熱除去系配管 (RHR-005)	水平方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉压力容器の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち、一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)	20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する設備として選定した。1 次固有振動数 <input type="text"/> (Hz), 2 次固有振動数 <input type="text"/> (Hz) であり、現行手法では 1 次固有振動数のみ考慮される。
残留熱除去系配管 (RHR-009)	弁が設置され比較的剛性が大きい配管のうち、20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する設備として選定した。

解析結果のまとめを表 18 に示す。

残留熱除去系配管 (RHR-004) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1～9 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、10 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

残留熱除去系配管 (RHR-005) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1～2 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、3 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、2 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

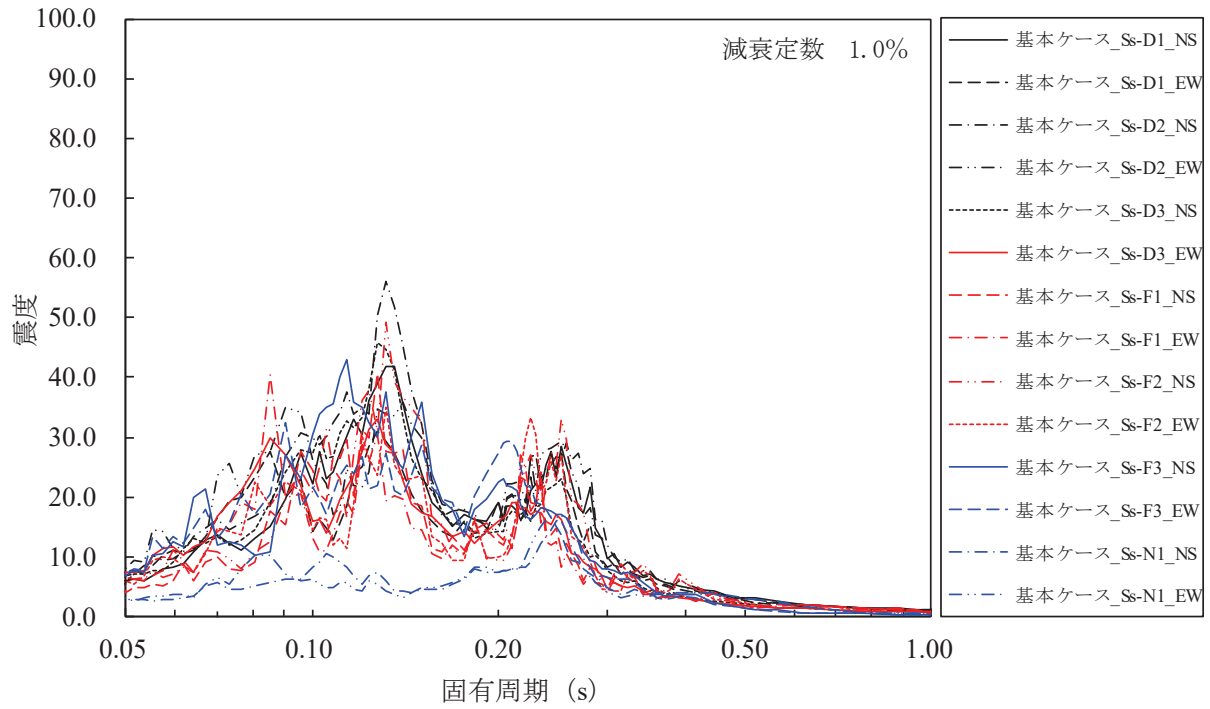
残留熱除去系配管 (RHR-009) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1~3 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、4 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

以上のとおり、剛柔判定の固有周期を 20Hz とし、現行手法で解析を実施することは、耐震設計を行う上で妥当であると考ええる。

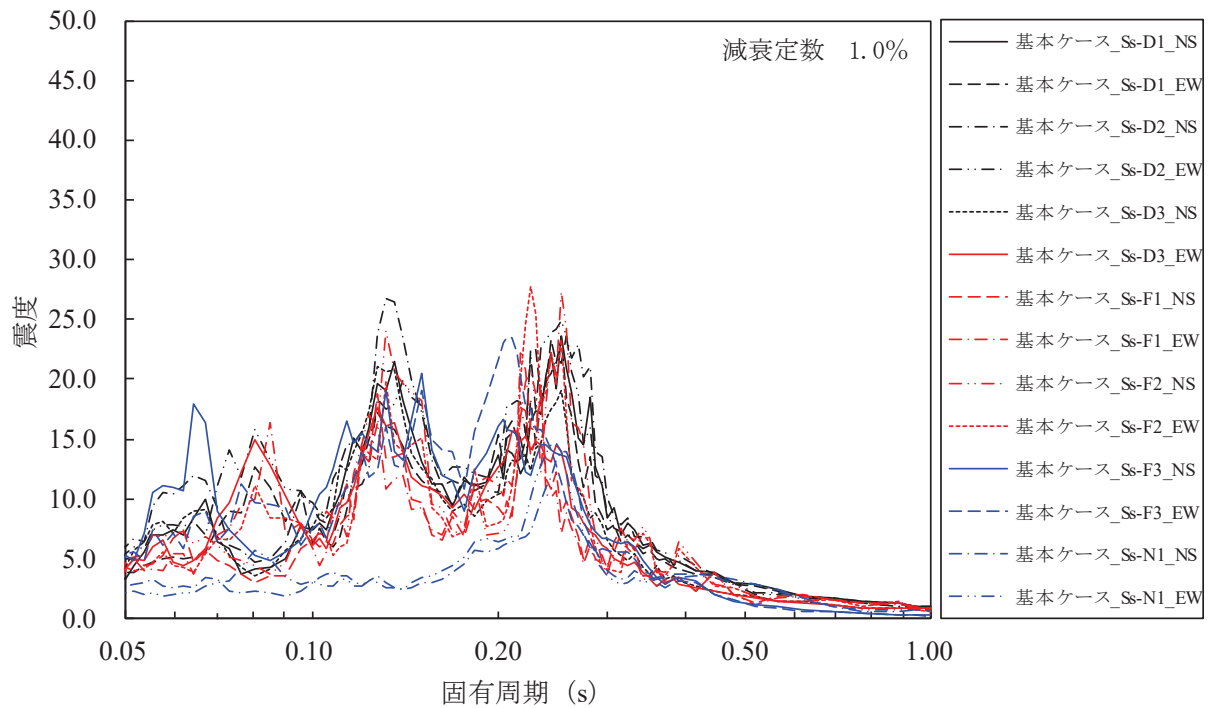
なお、弁の動的機能維持評価については、補足説明資料「補足-600-14-2 弁の応答加速度の算出について」に示すとおり、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正及びそれに伴い改正された耐震設計に係る工認審査ガイドの記載を踏まえて、20Hz を超える高振動数領域を考慮した地震応答解析により弁の応答加速度を算定し耐震評価を実施する。

表 18 現行手法及び妥当性検討の評価結果まとめ

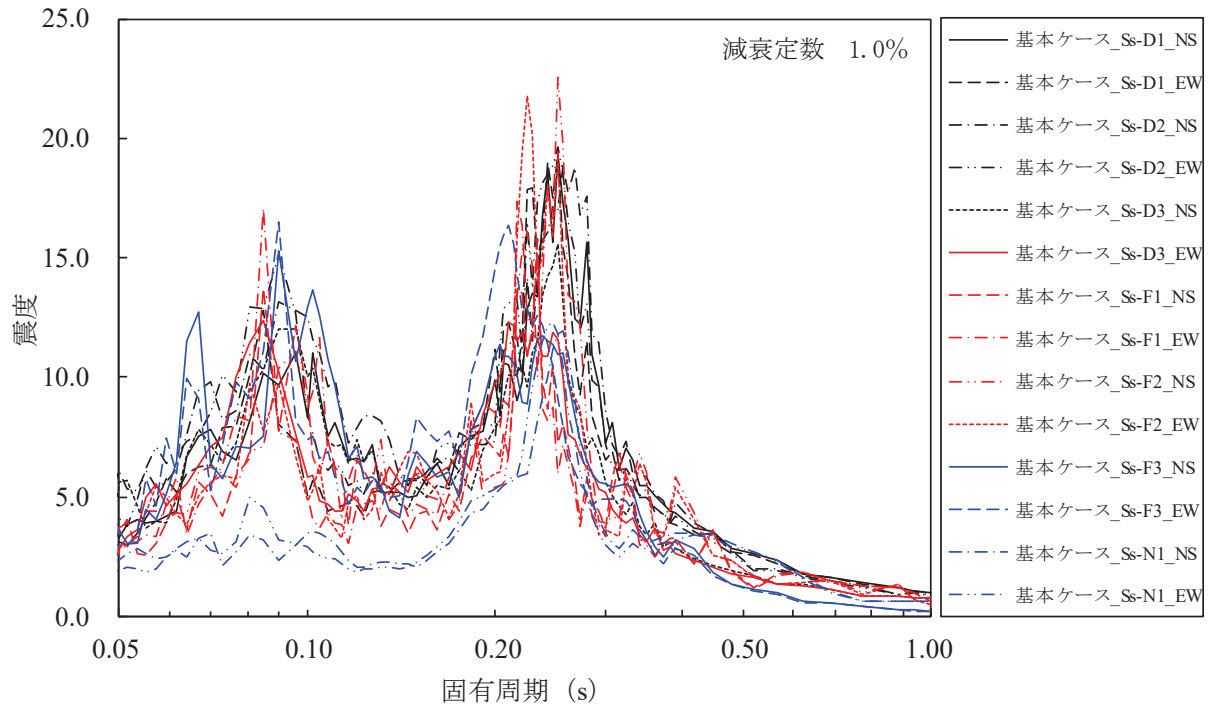
対象設備	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	現行手法	妥当性検討	
残留熱除去系配管 (RHR-004)	141 〔動的解析：141〕 〔静的解析：73〕	142	366
残留熱除去系配管 (RHR-005)	197 〔動的解析：197〕 〔静的解析：97〕	206	366
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)	179 〔動的解析：179〕 〔静的解析：51〕	187	413
残留熱除去系配管 (RHR-009)	104 〔動的解析：104〕 〔静的解析：90〕	125	363



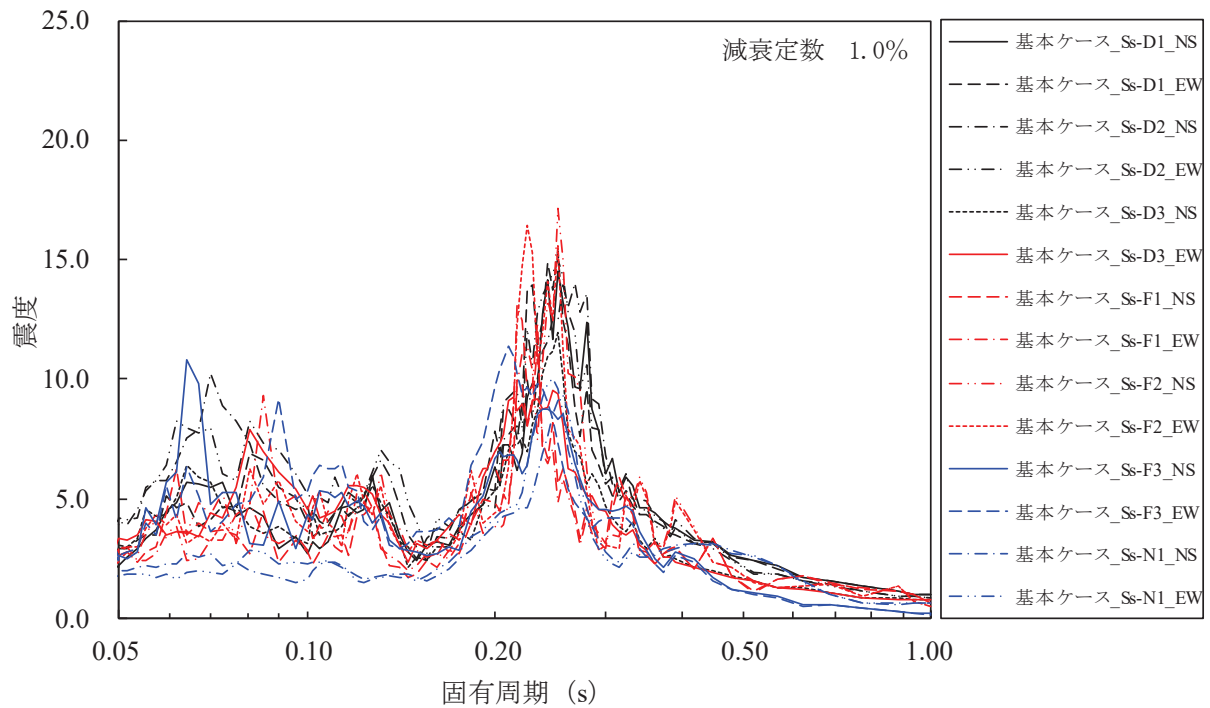
添付図 1-1 原子炉建屋 (O.P. 50.500m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



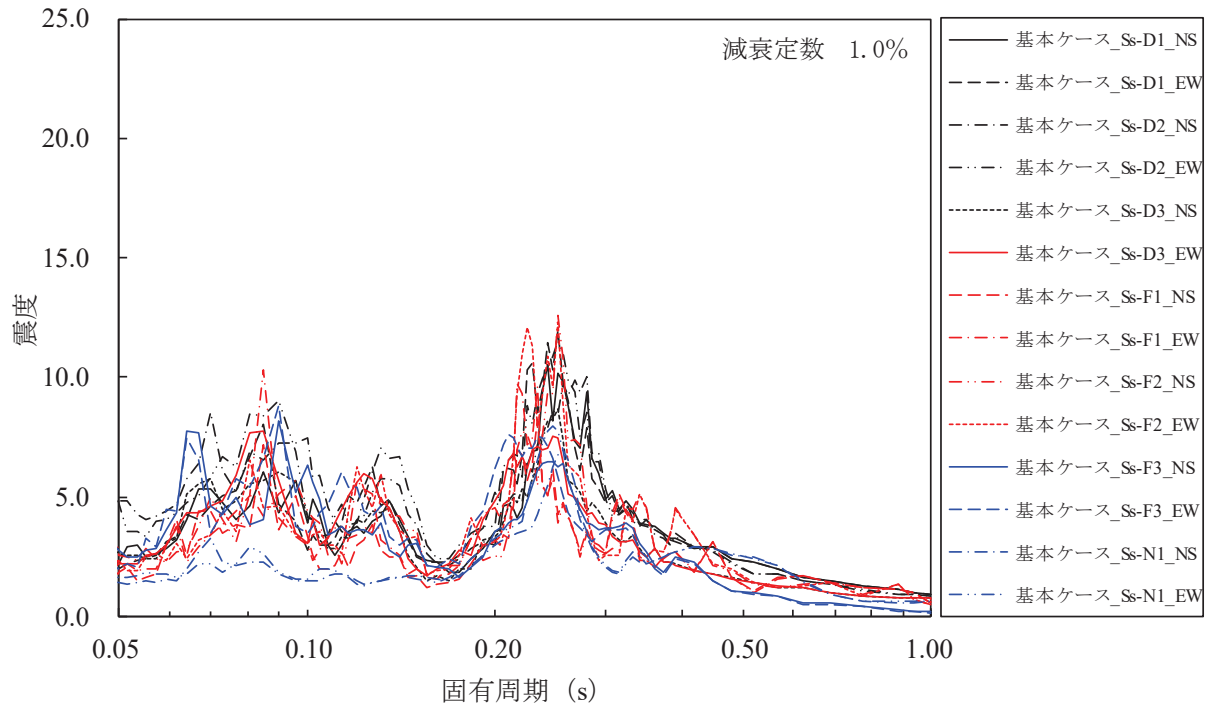
添付図 1-2 原子炉建屋 (O.P. 41.200m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



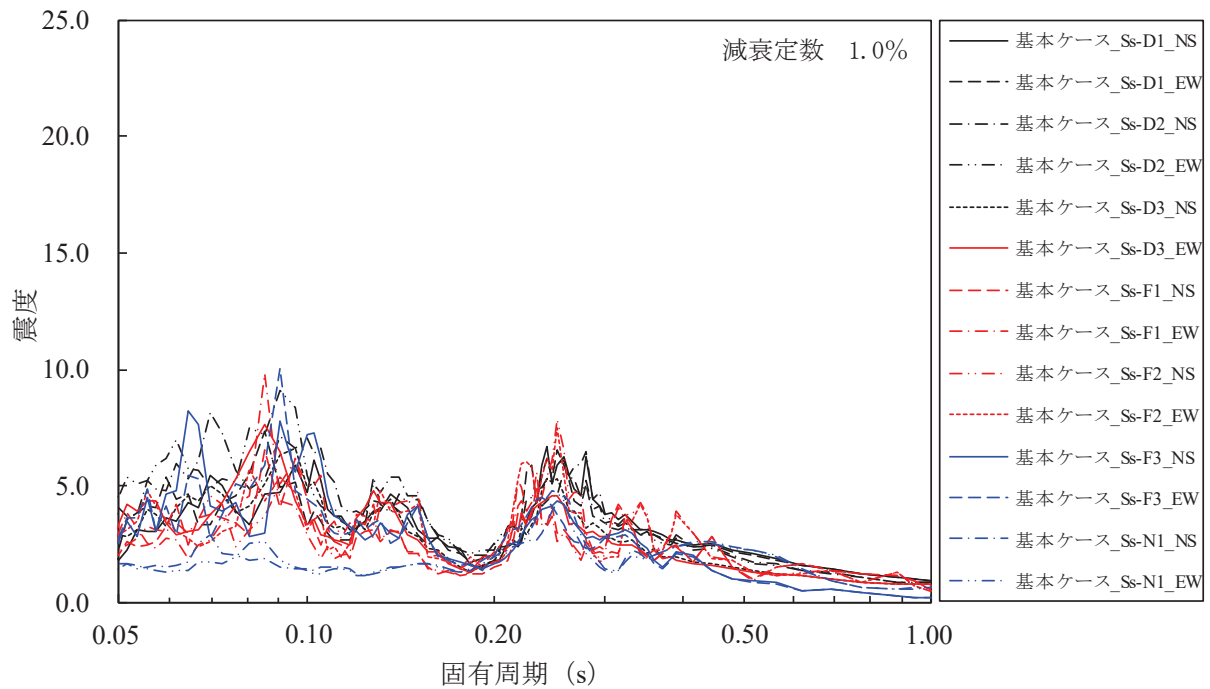
添付図 1-3 原子炉建屋 (O.P. 33.200m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



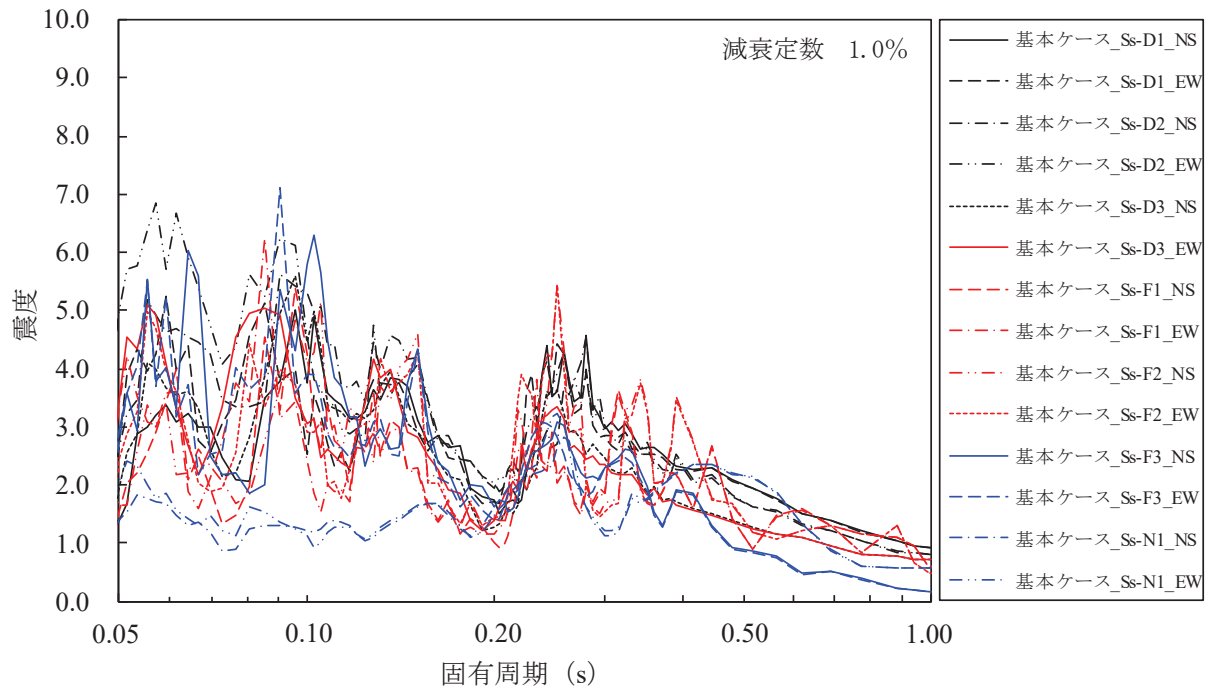
添付図 1-4 原子炉建屋 (O.P. 22.500m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



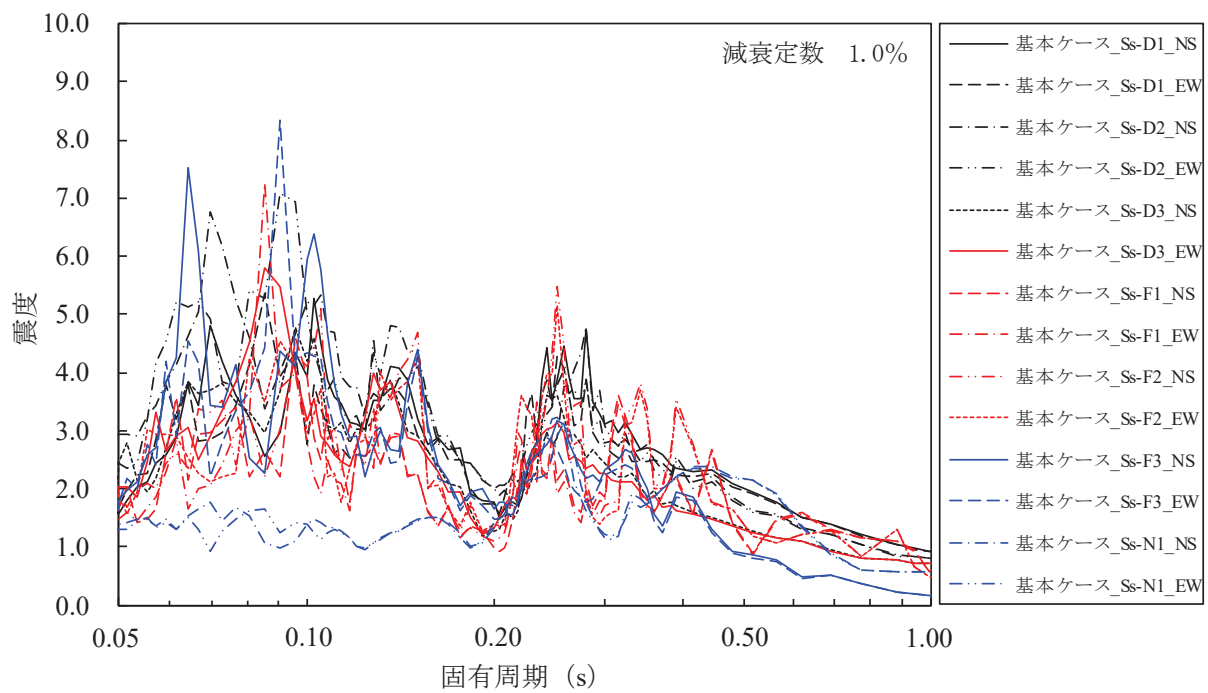
添付図 1-5 原子炉建屋 (O.P. 15,000m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 1-6 原子炉建屋 (O.P. 6,000m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

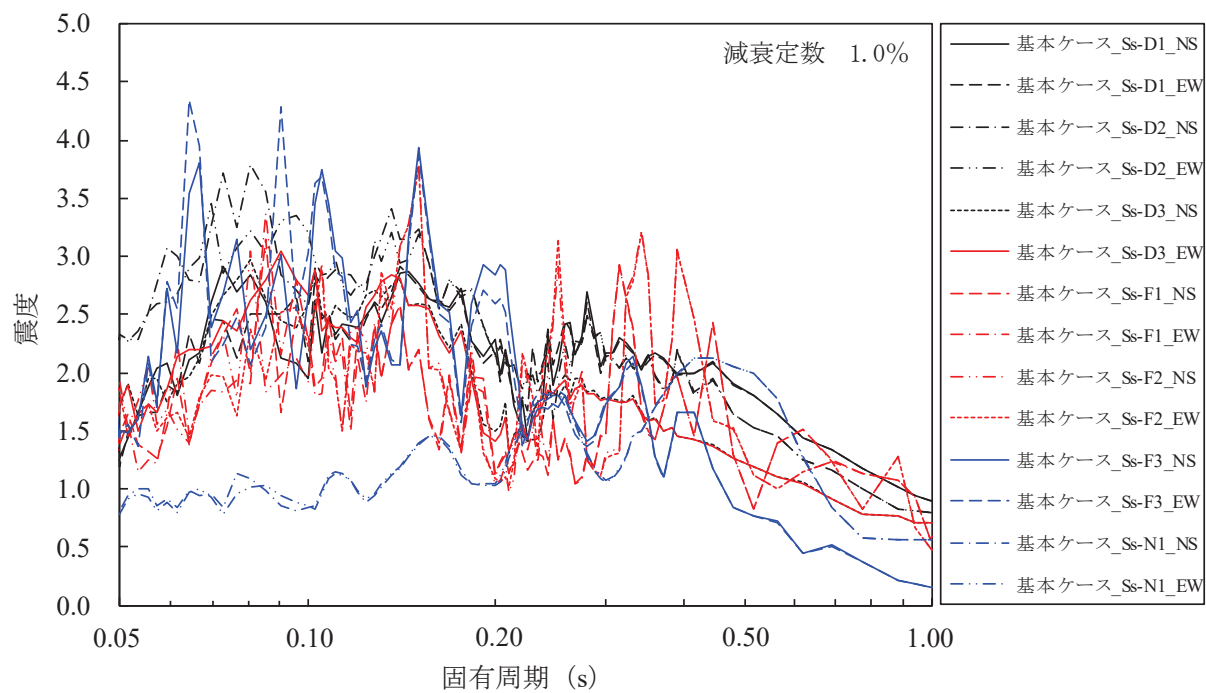


添付図 1-7 原子炉建屋 (O.P. 1.150m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

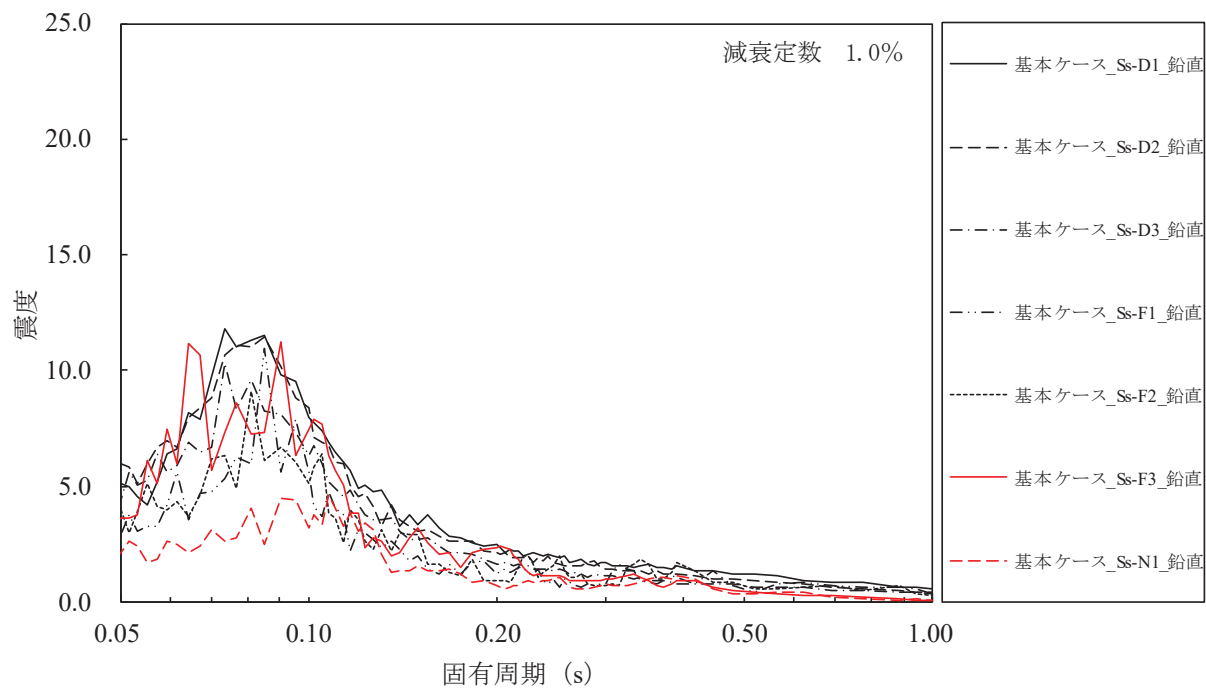


添付図 1-8 原子炉建屋 (O.P. -0.800m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

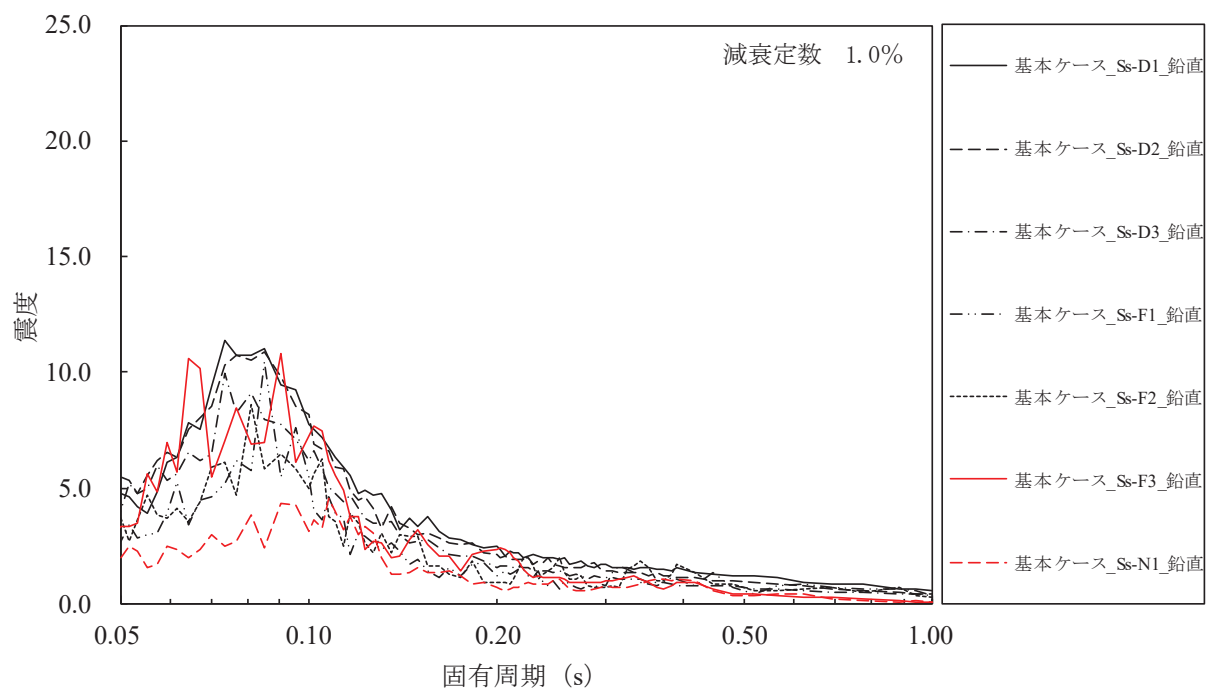




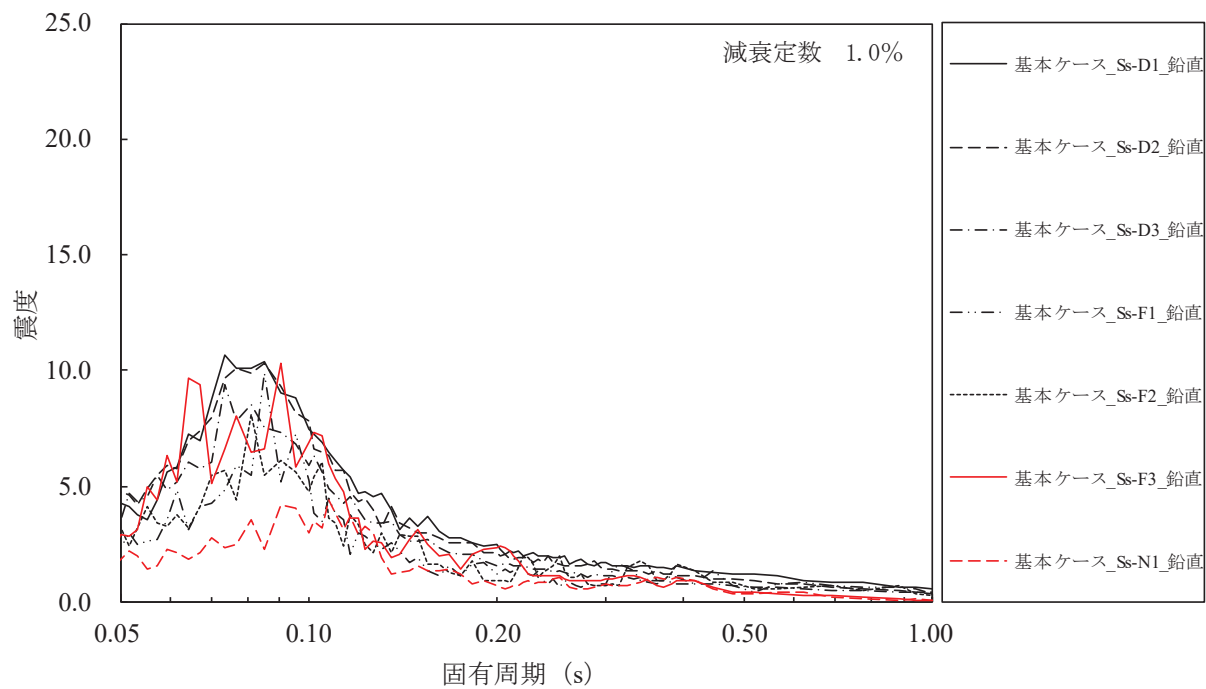
添付図 1-9 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル  
 (水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



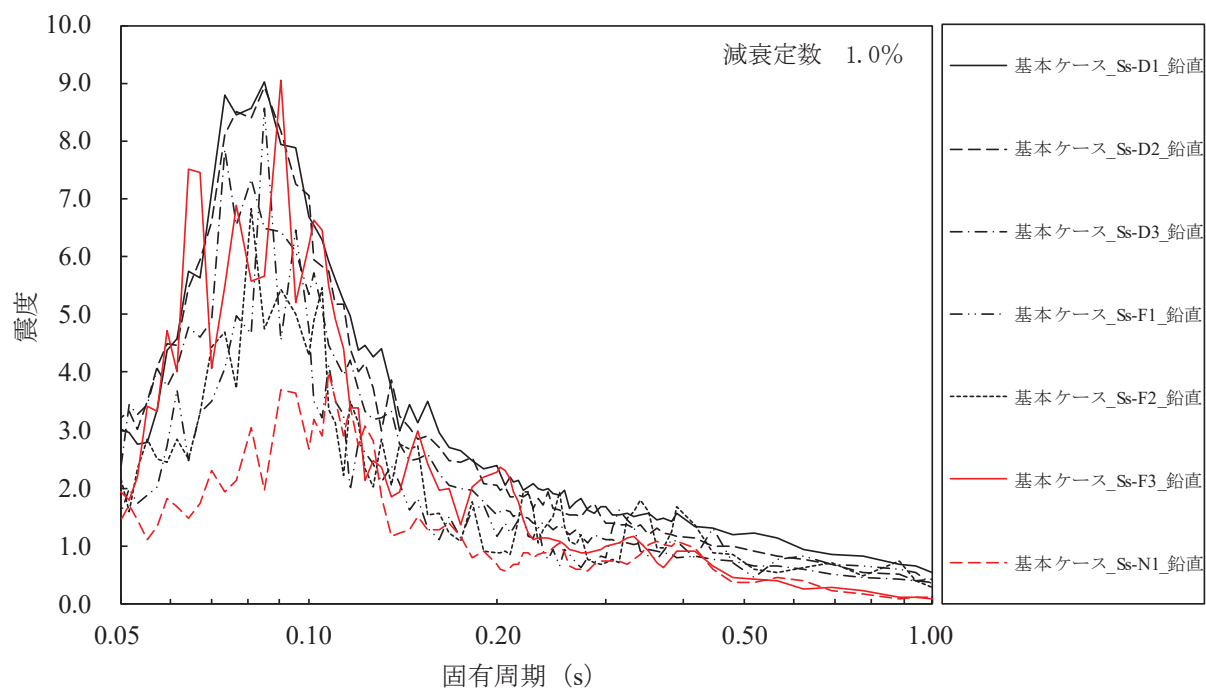
添付図 2-1 原子炉建屋 (O.P. 48.725m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



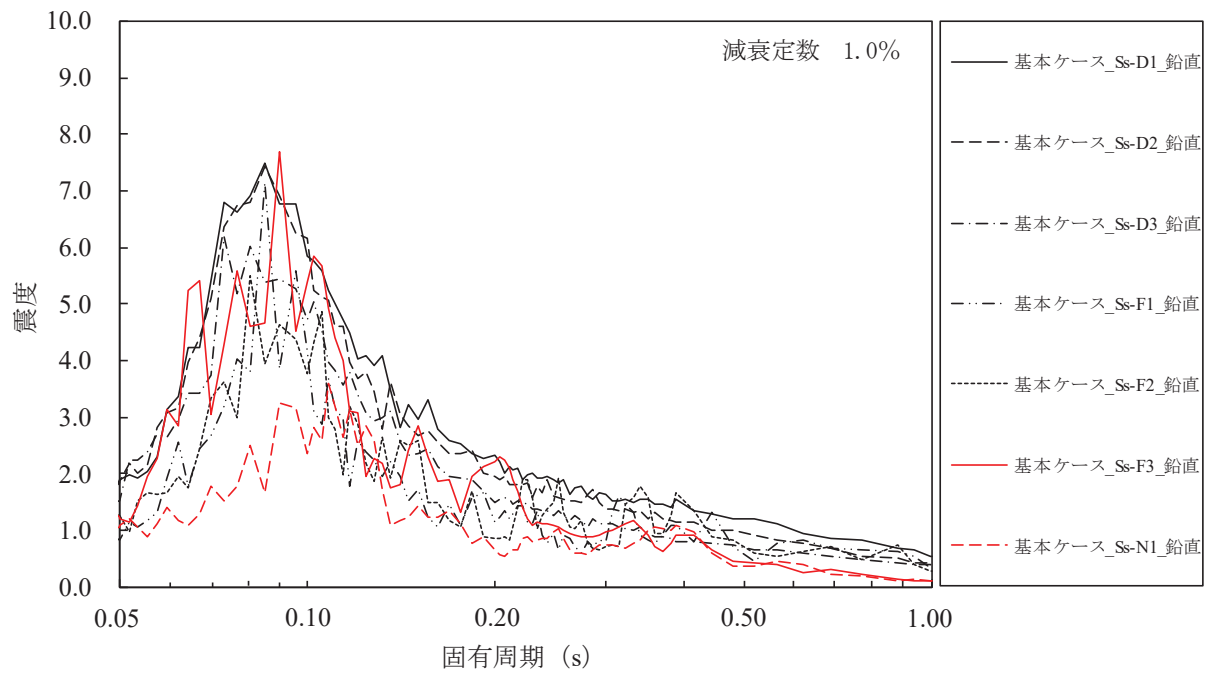
添付図 2-2 原子炉建屋 (O.P. 41.200m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



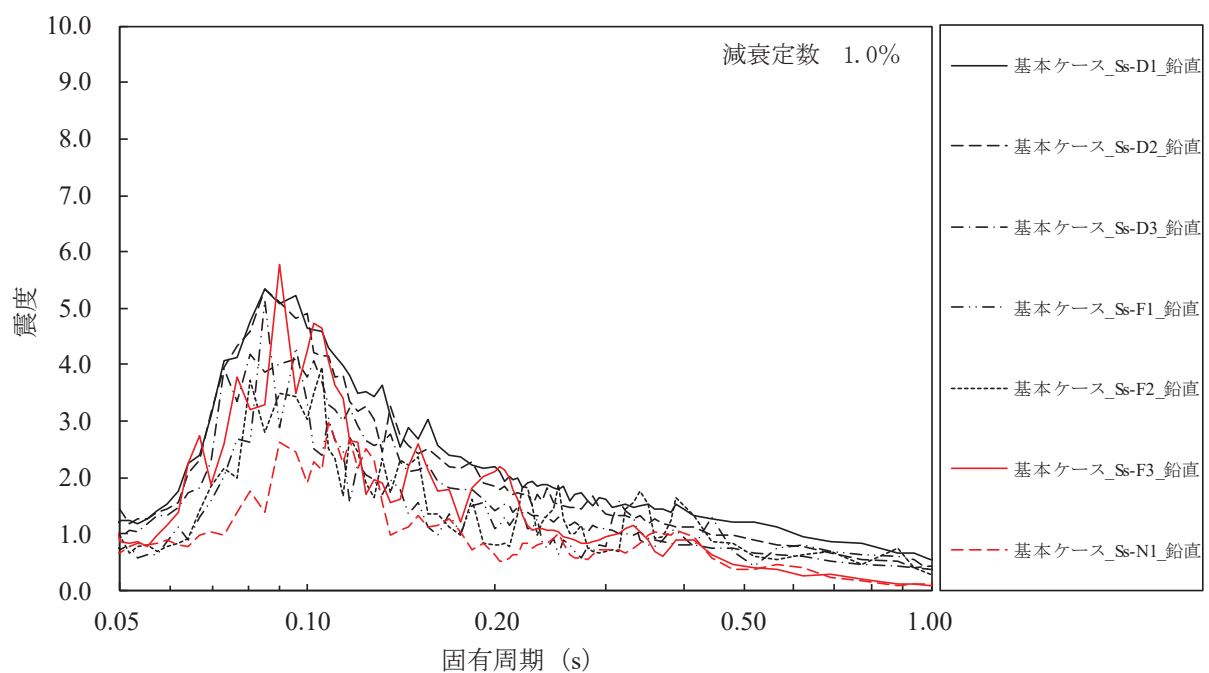
添付図 2-3 原子炉建屋 (O.P. 33.200m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



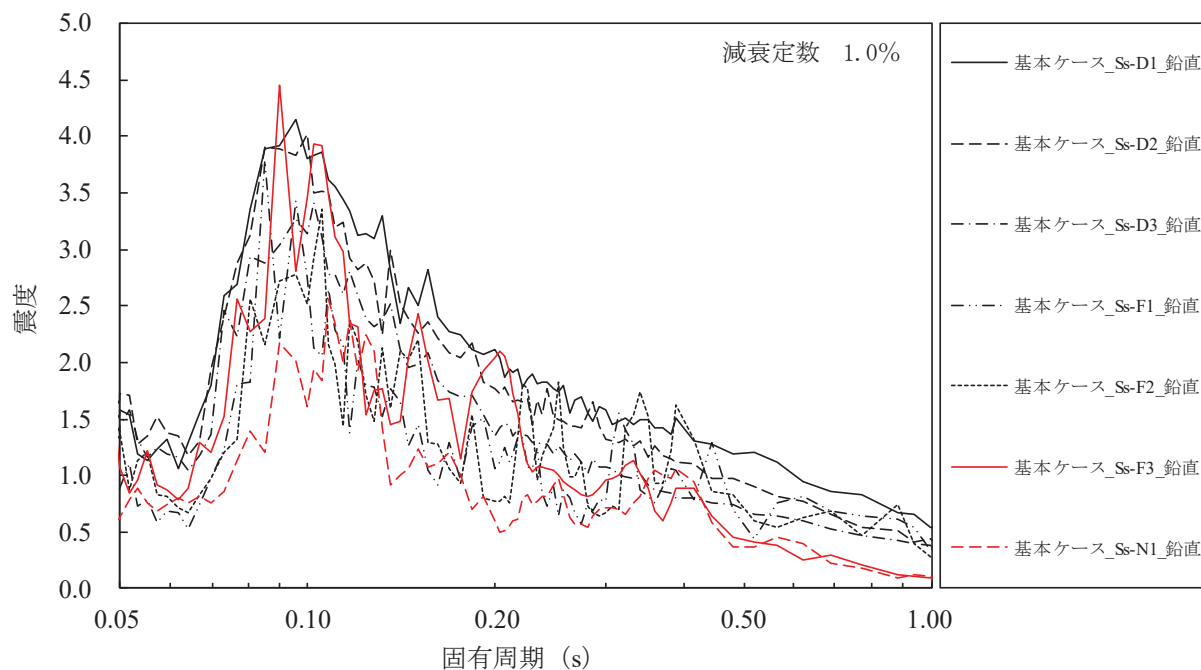
添付図 2-4 原子炉建屋 (O.P. 22.500m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



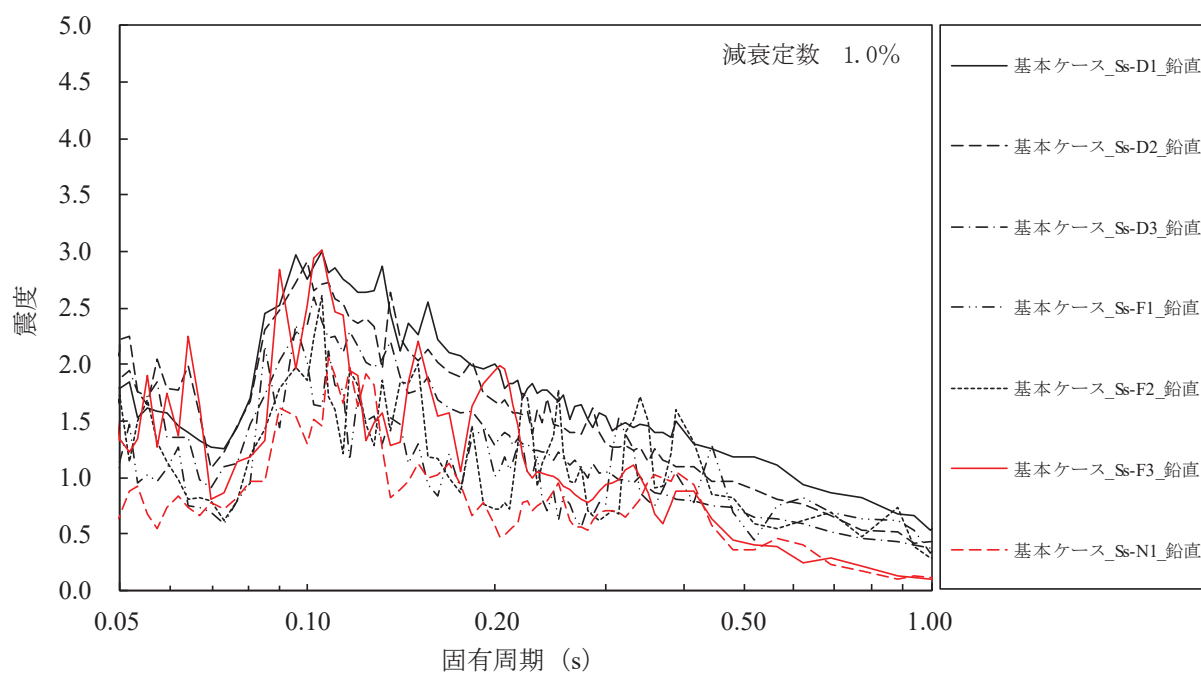
添付図 2-5 原子炉建屋 (O.P. 15.000m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



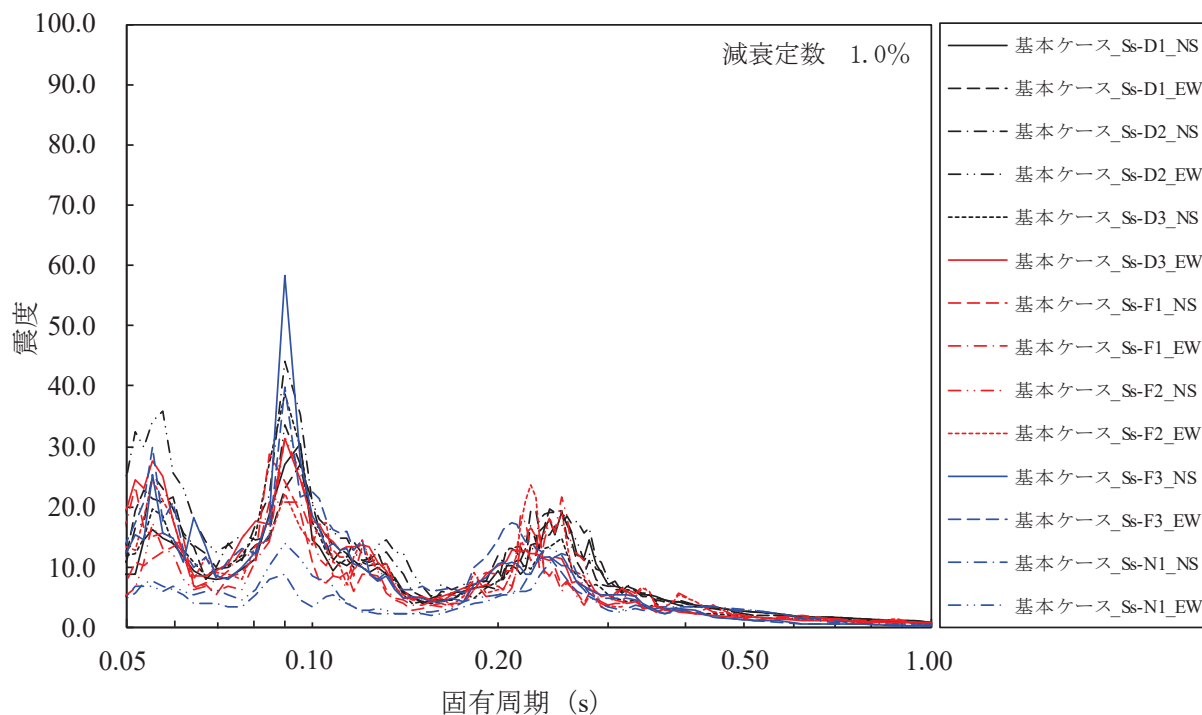
添付図 2-6 原子炉建屋 (O.P. 6.000m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



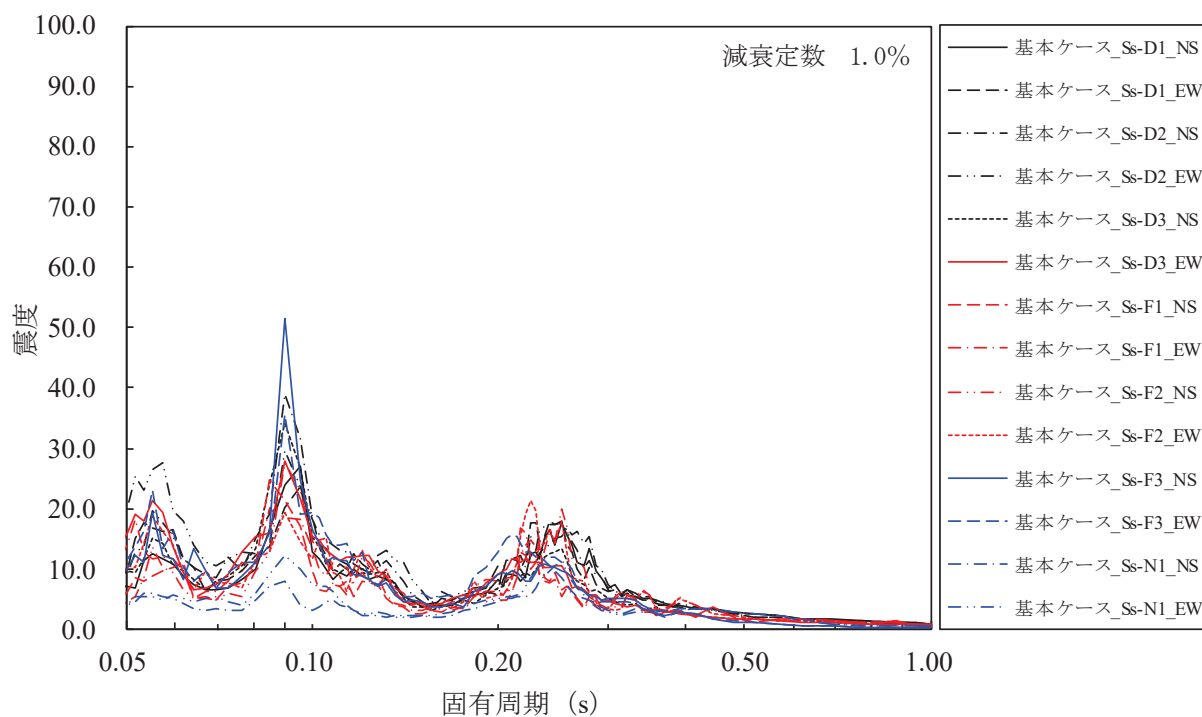
添付図 2-7 原子炉建屋 (O.P. -0.800m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



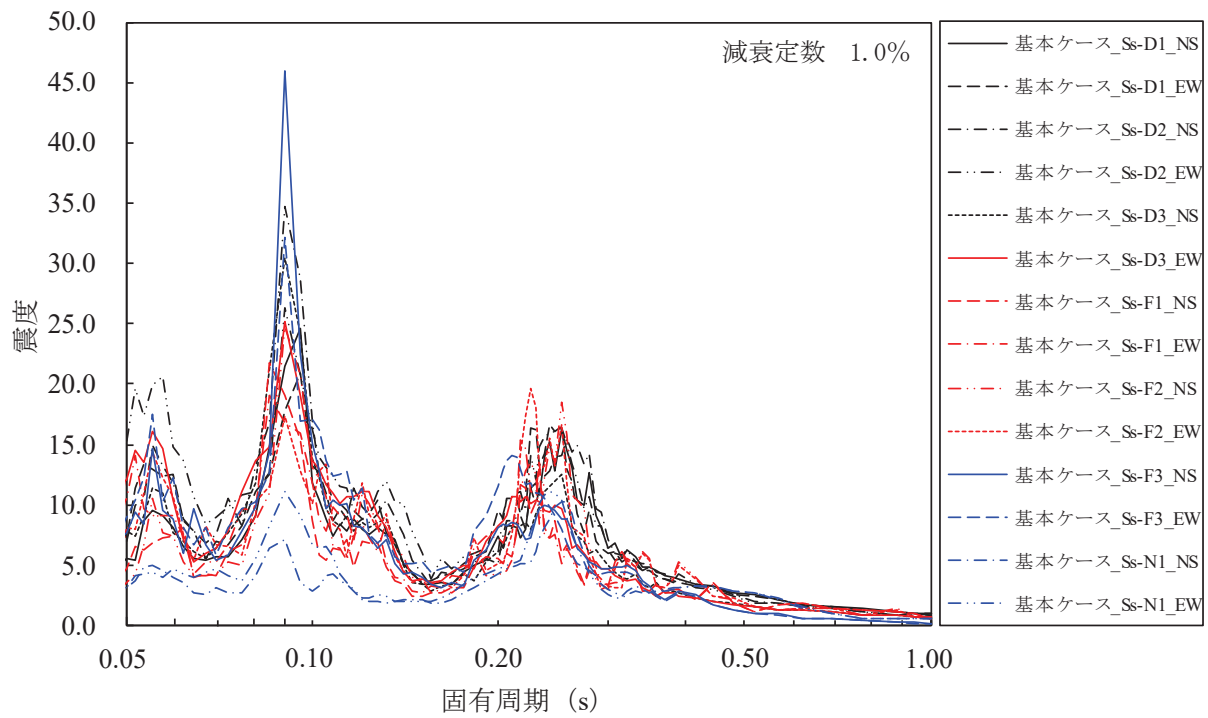
添付図 2-8 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



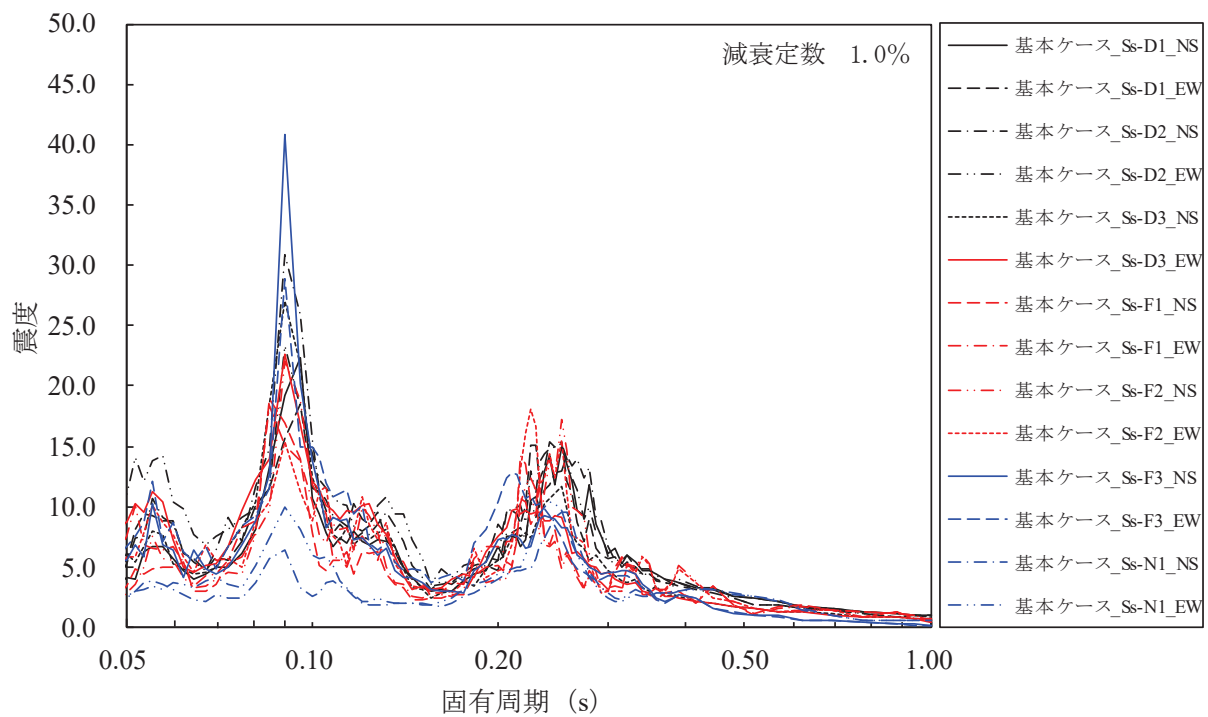
添付図 3-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



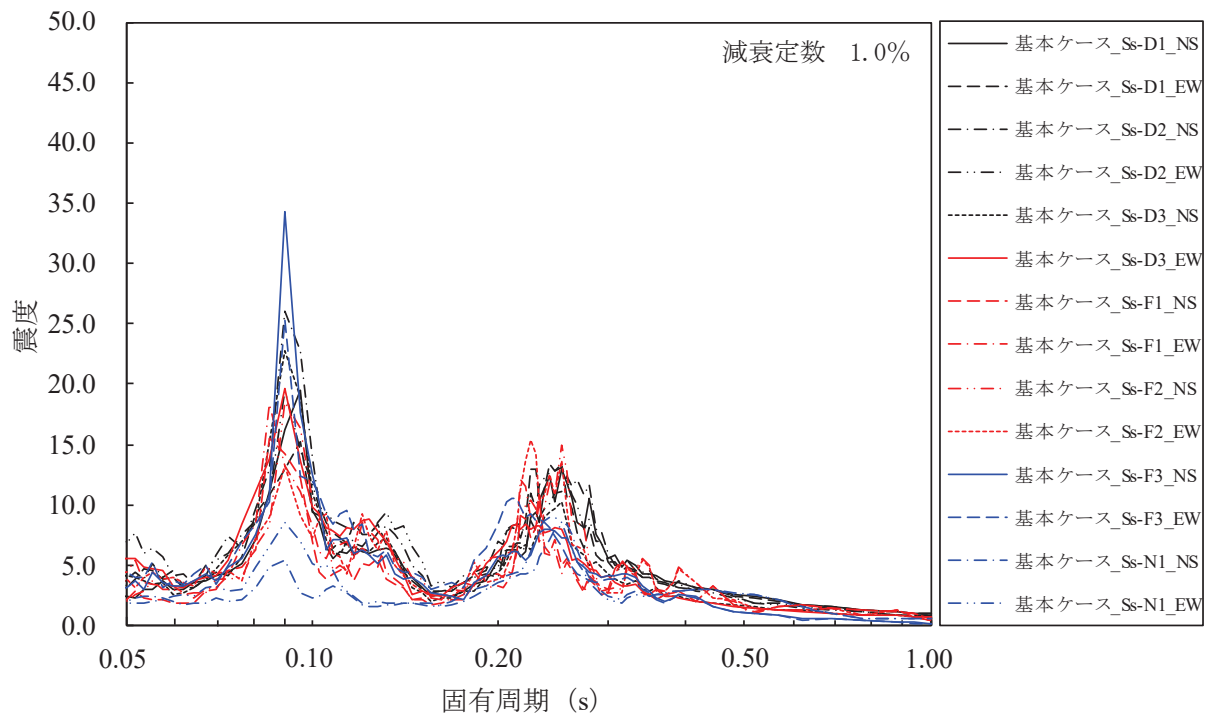
添付図 3-2 原子炉压力容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



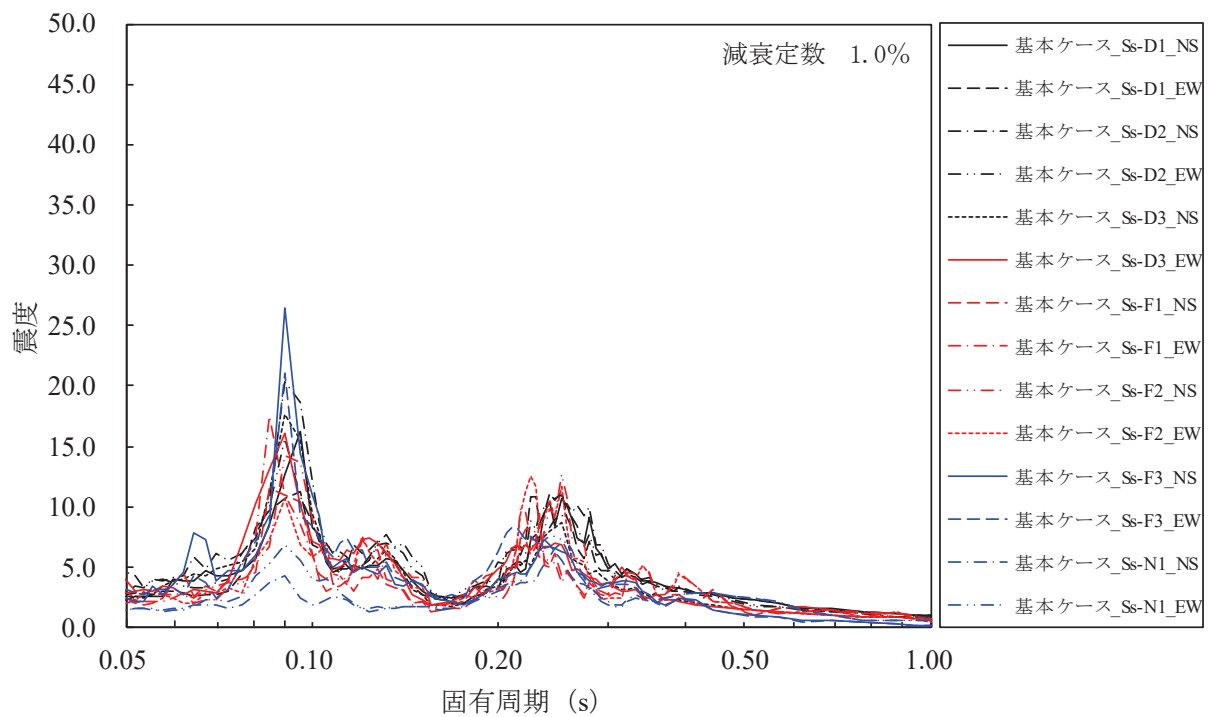
添付図 3-3 原子炉压力容器 (O.P. 23.667m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 3-4 原子炉压力容器 (O.P. 21.770m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

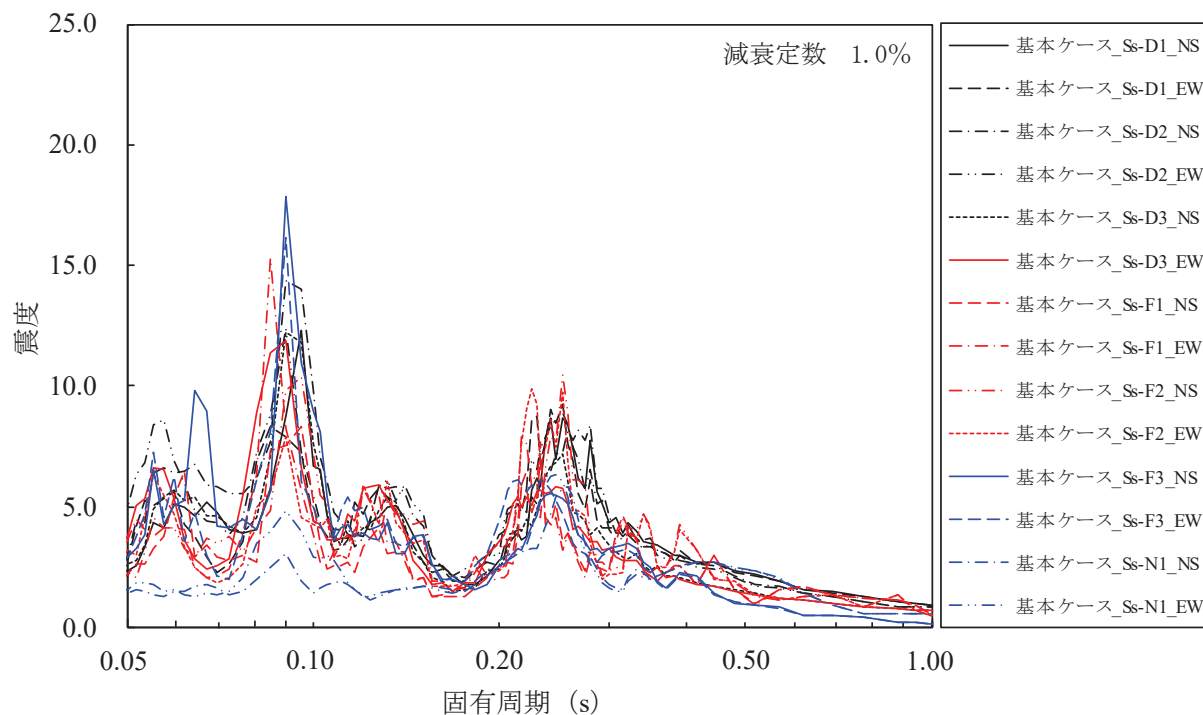


添付図 3-5 原子炉压力容器 (O.P. 18.417m) の加速度応答スペクトル  
 (水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

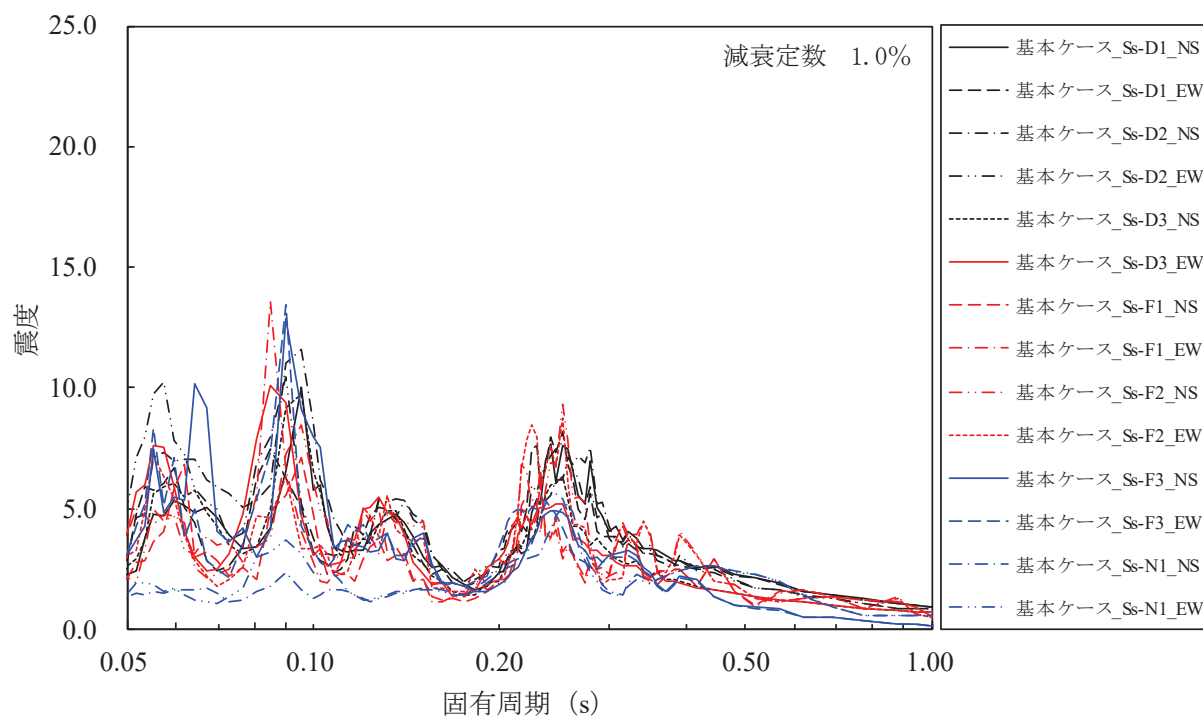


添付図 3-6 原子炉压力容器 (O.P. 14.776m) の加速度応答スペクトル  
 (水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

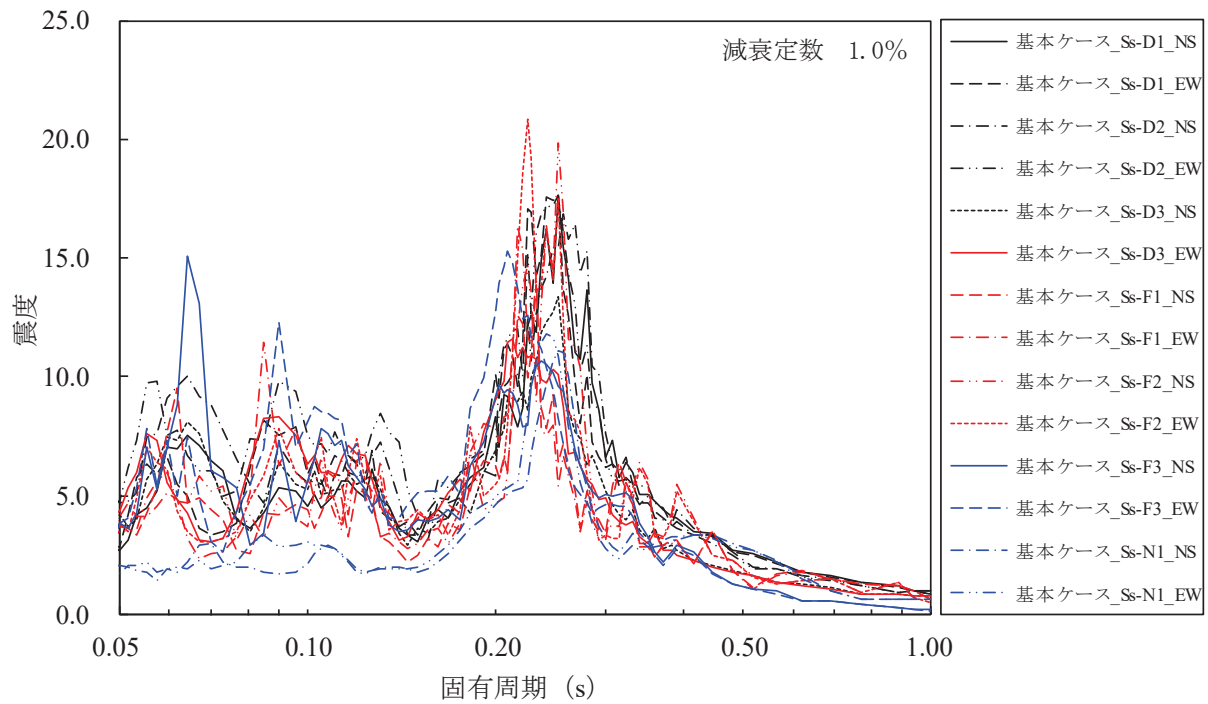




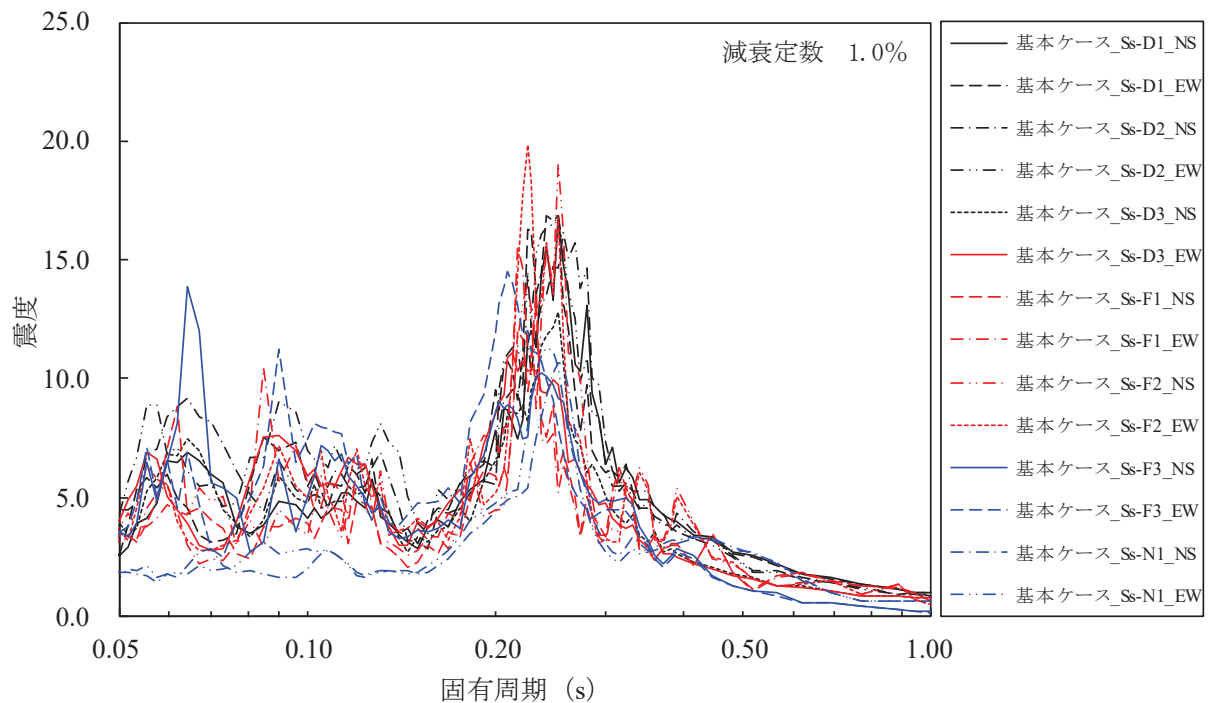
添付図 3-7 原子炉压力容器 (O.P. 11.310m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



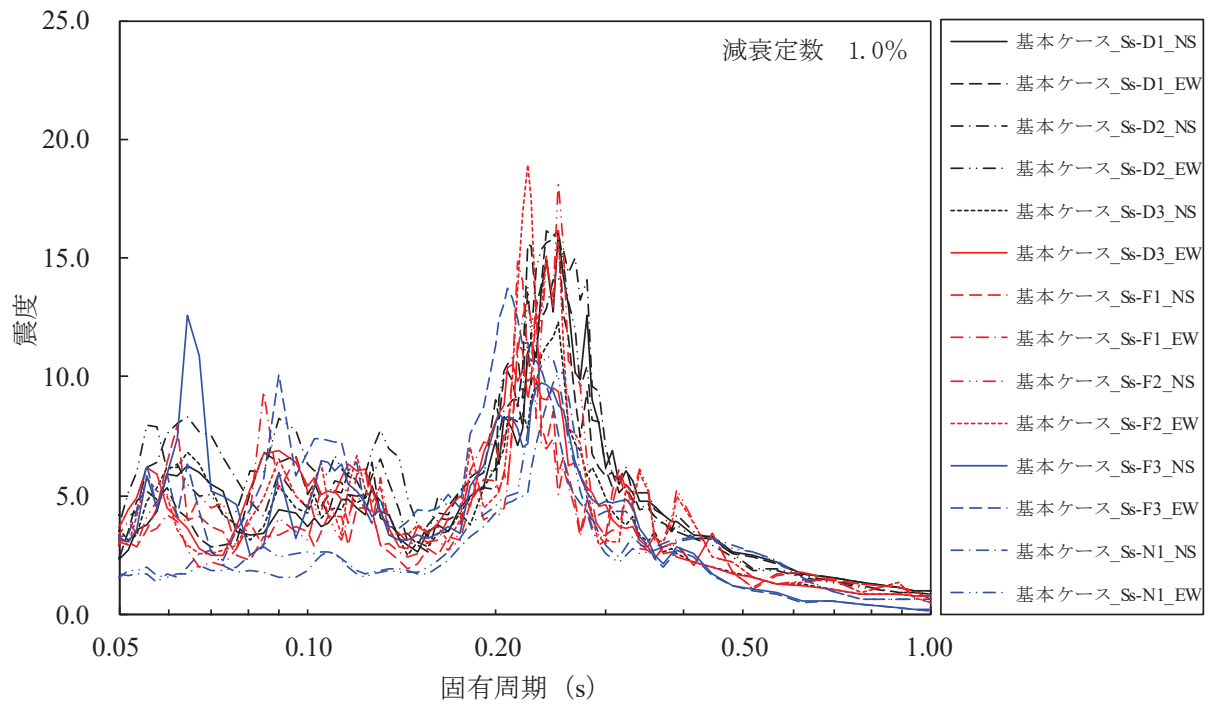
添付図 3-8 原子炉压力容器 (O.P. 9.334m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



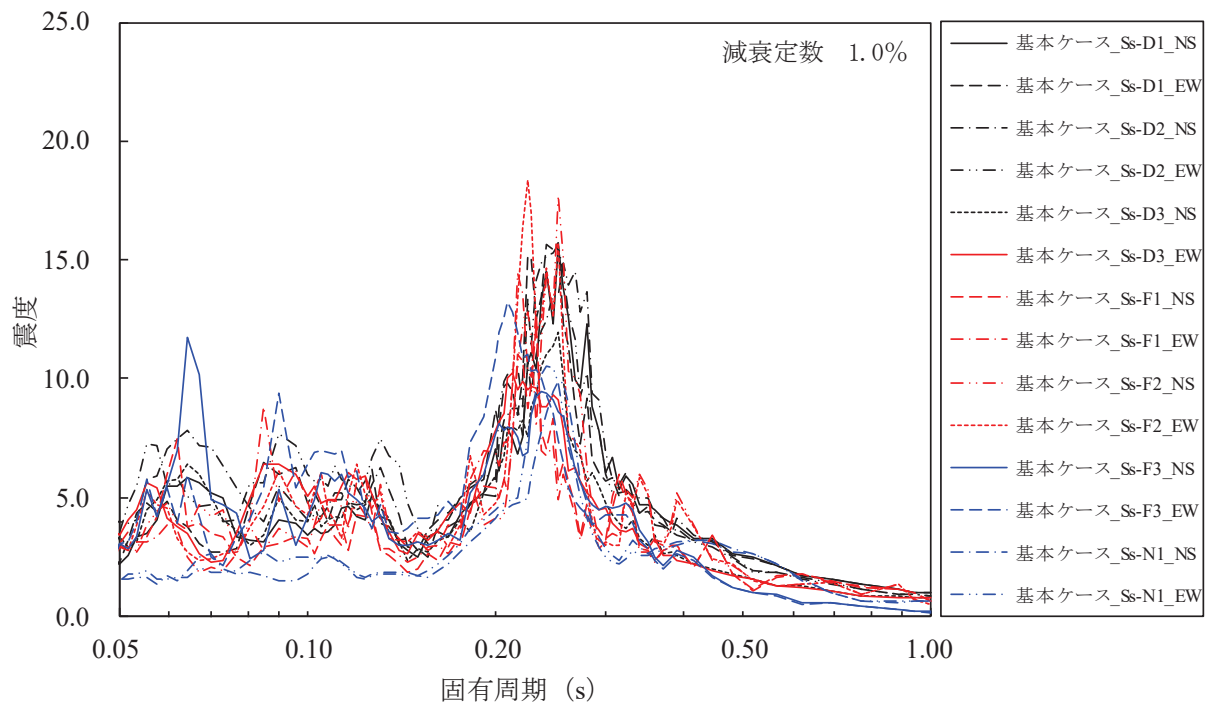
添付図 3-9 原子炉格納容器 (O.P. 30.300m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



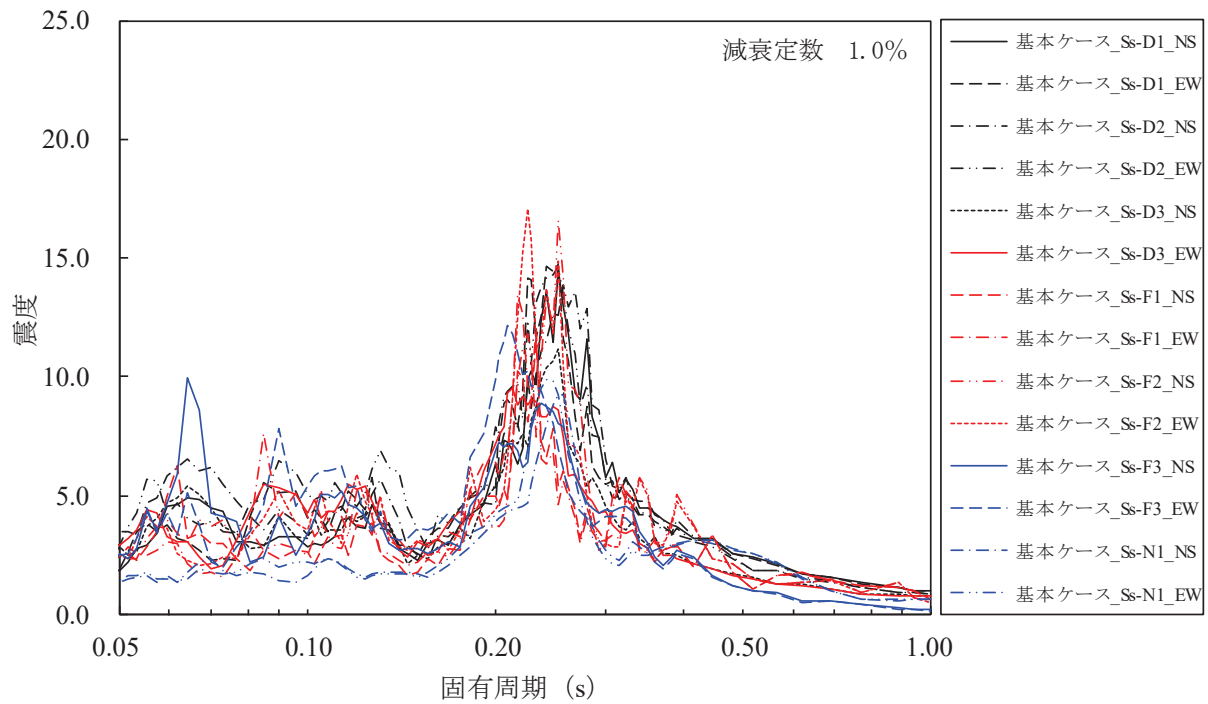
添付図 3-10 原子炉格納容器 (O.P. 27.995m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



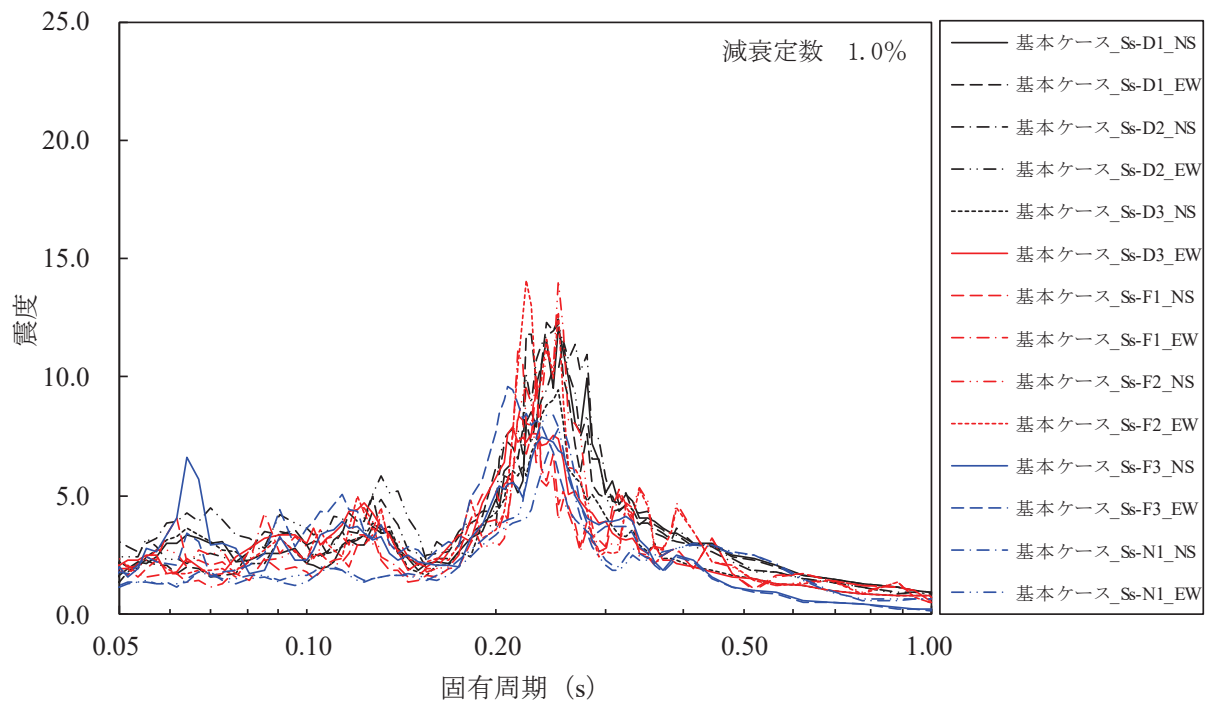
添付図 3-11 原子炉格納容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



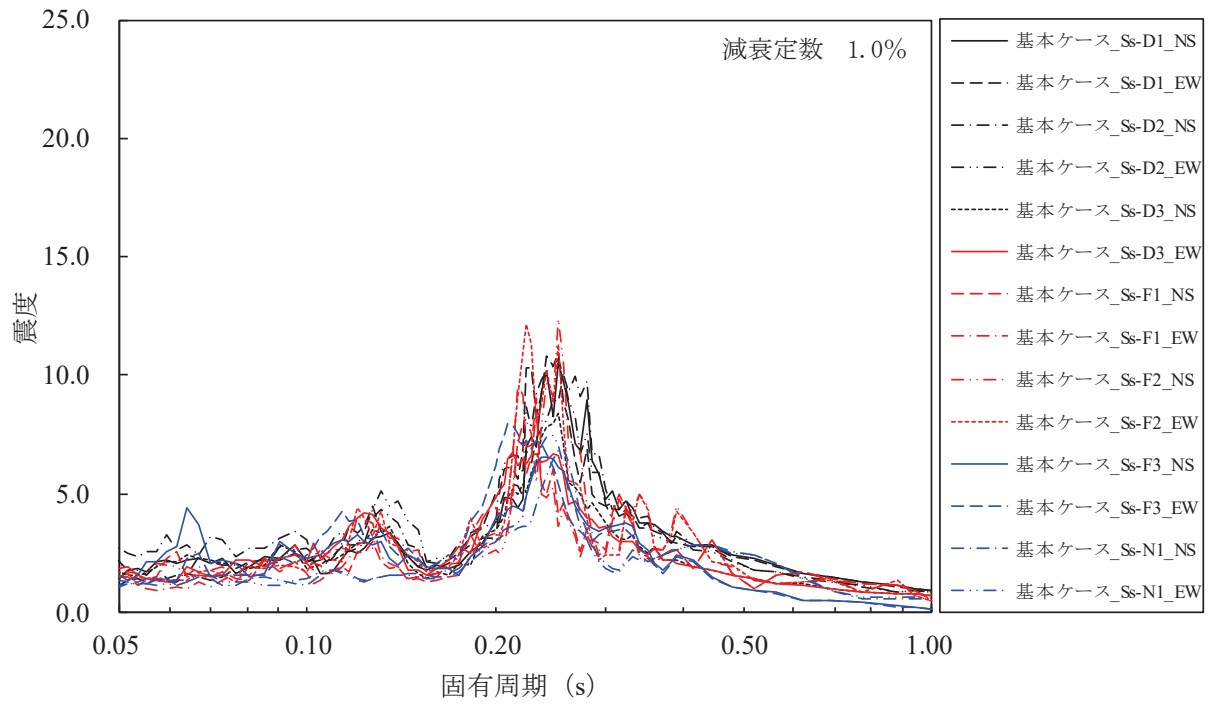
添付図 3-12 原子炉格納容器 (O.P. 24.464m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



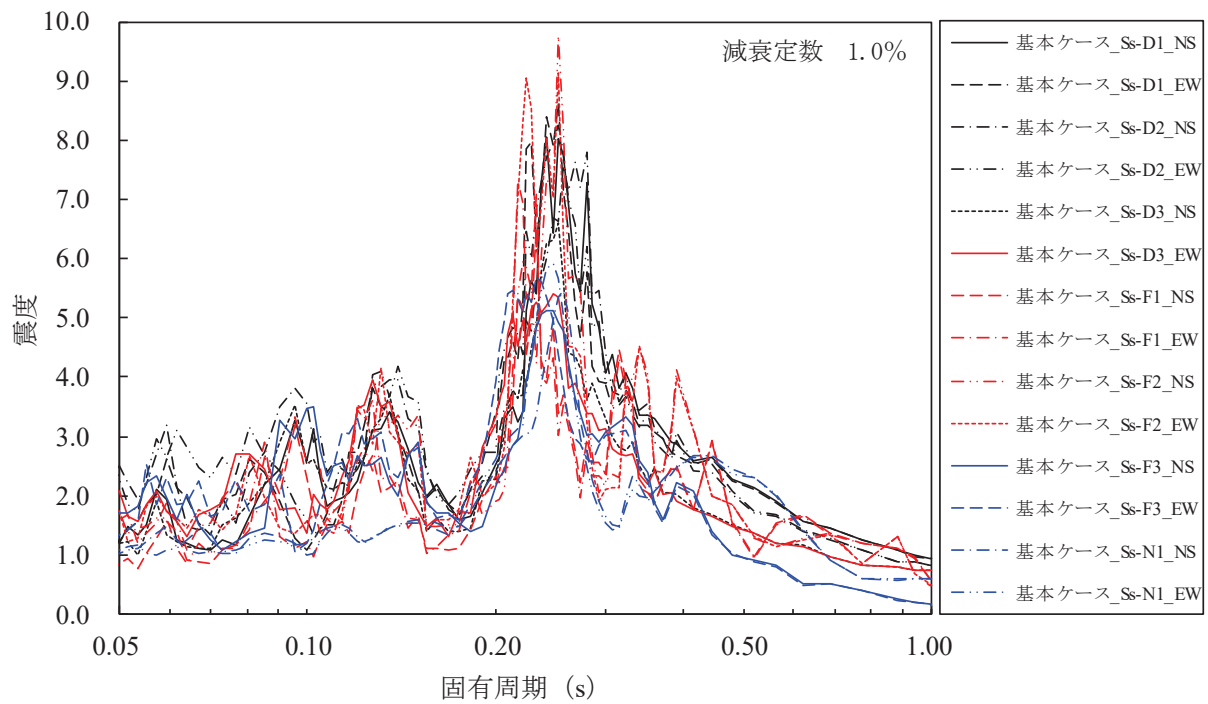
添付図 3-13 原子炉格納容器 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



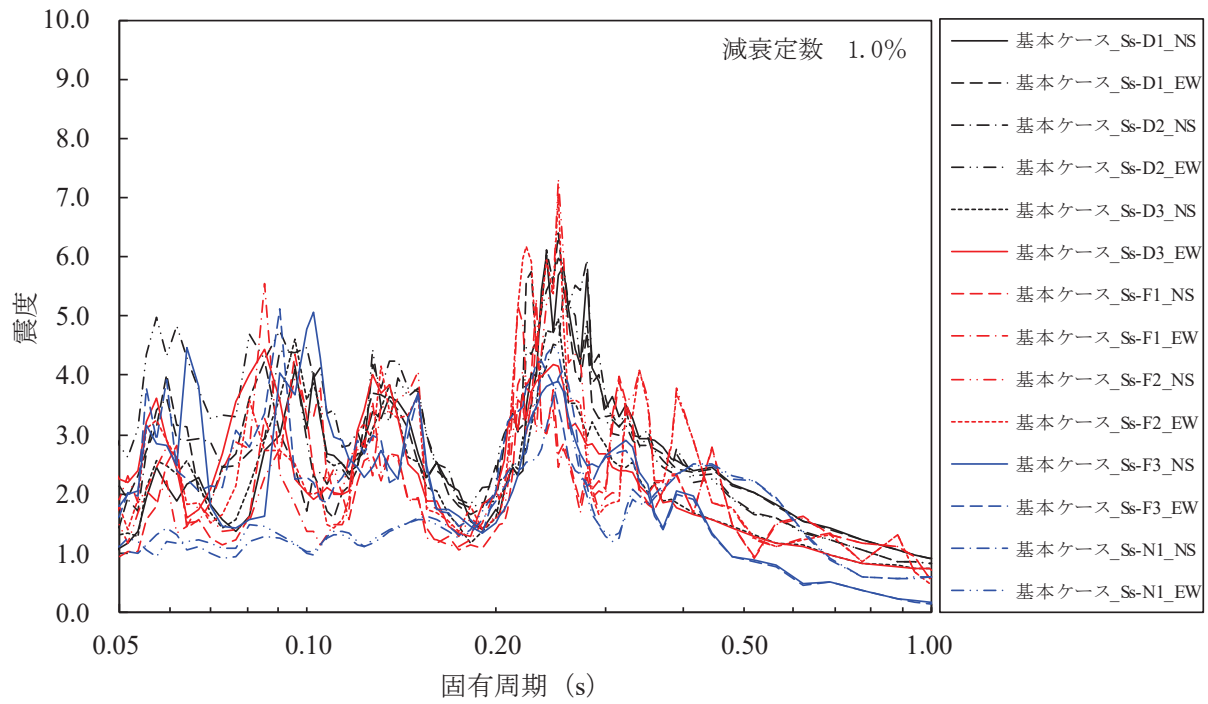
添付図 3-14 原子炉格納容器 (O.P. 17.150m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



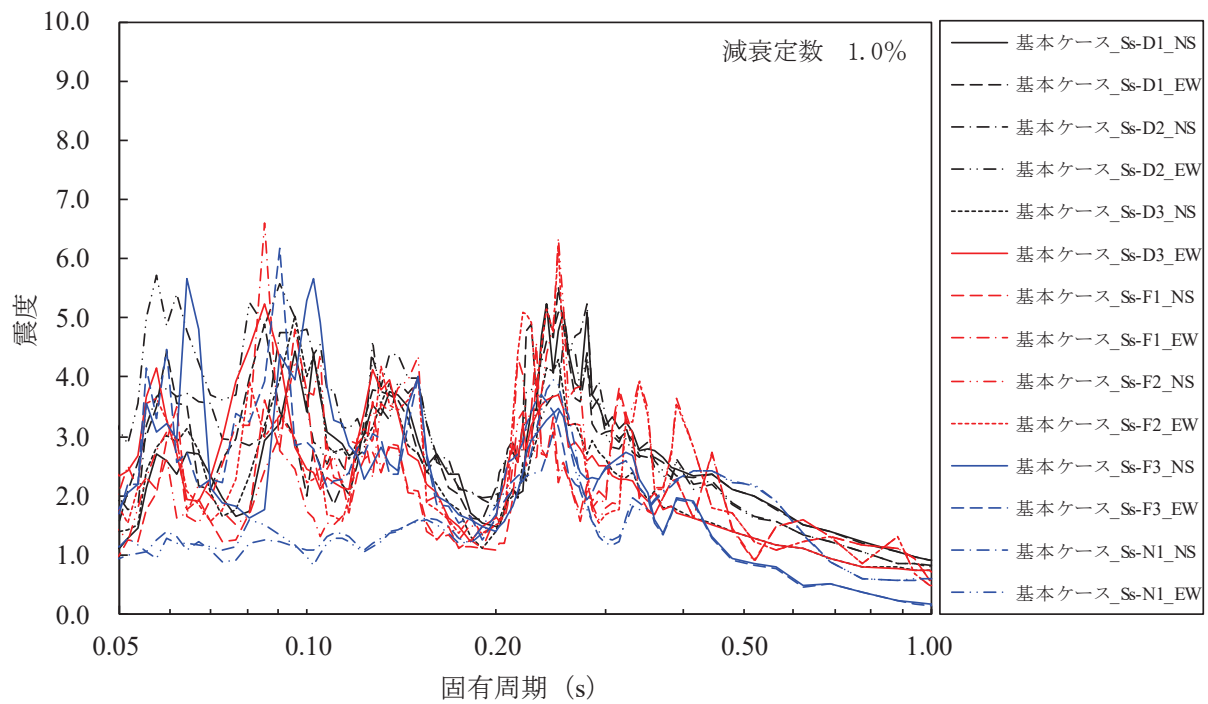
添付図 3-15 原子炉格納容器 (O.P. 14.295m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



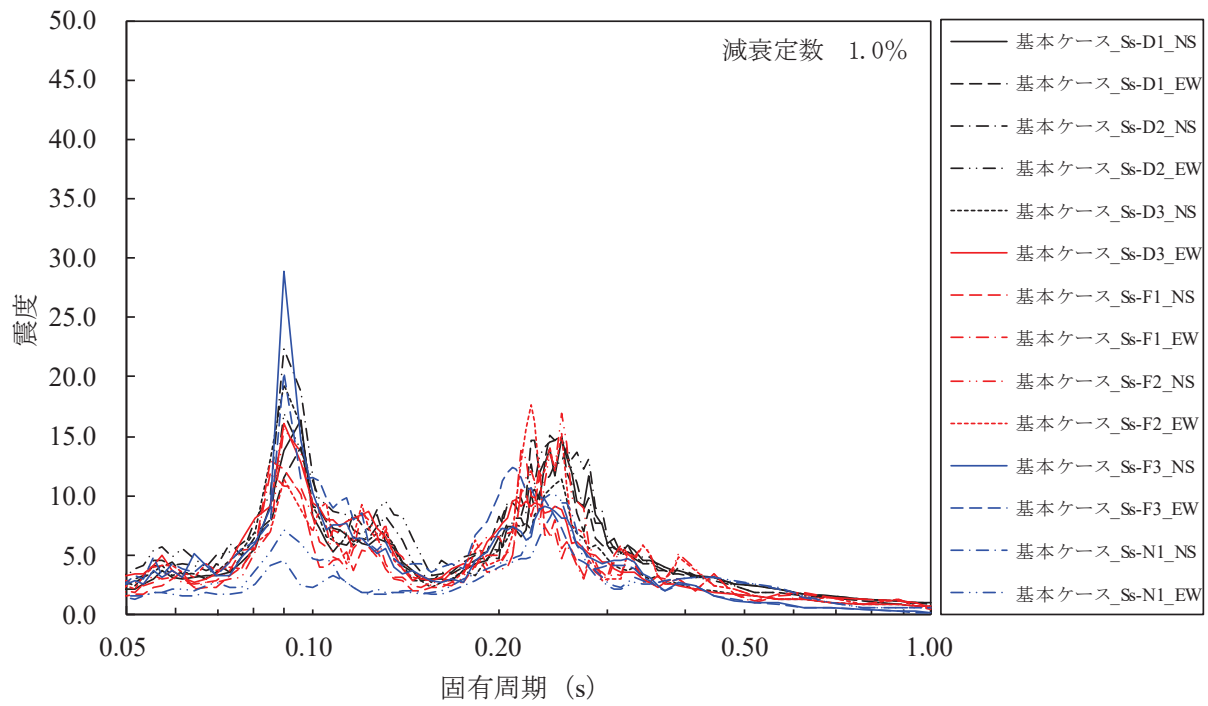
添付図 3-16 原子炉格納容器 (O.P. 9.448m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



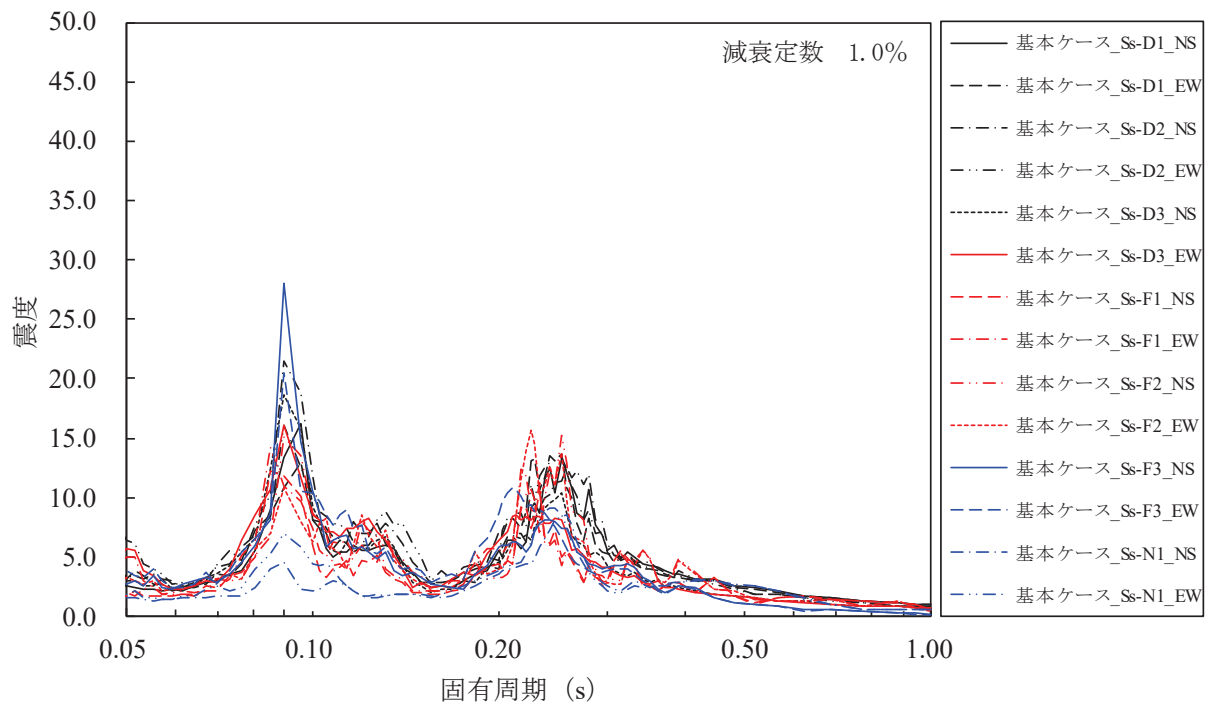
添付図 3-17 原子炉格納容器 (O.P. 4.600m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



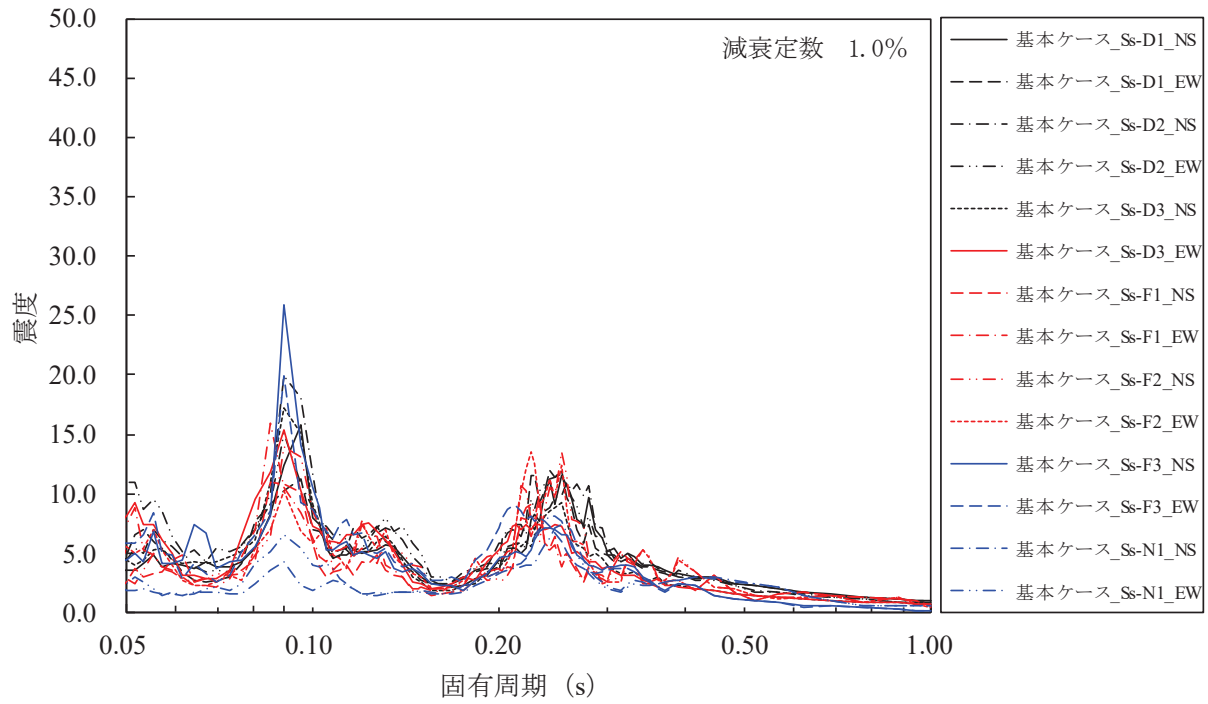
添付図 3-18 原子炉格納容器 (O.P. 2.600m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



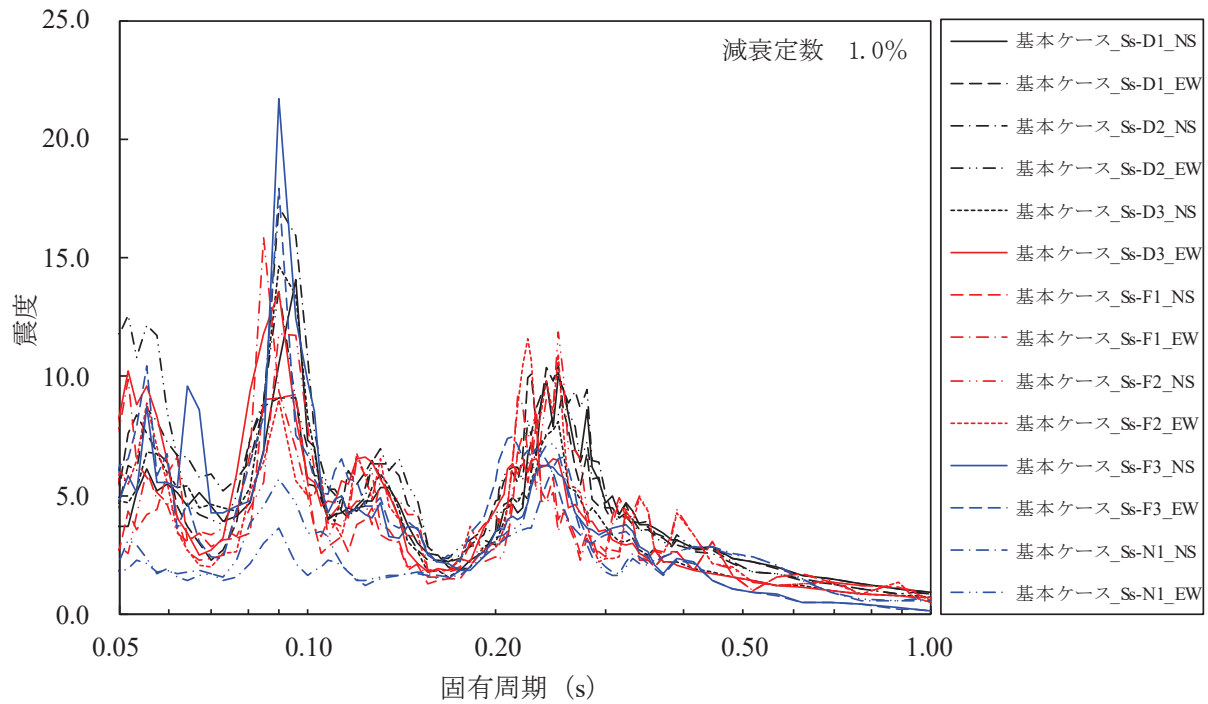
添付図 3-19 原子炉しゃへい壁 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 3-20 原子炉しゃへい壁 (O.P. 18.790m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

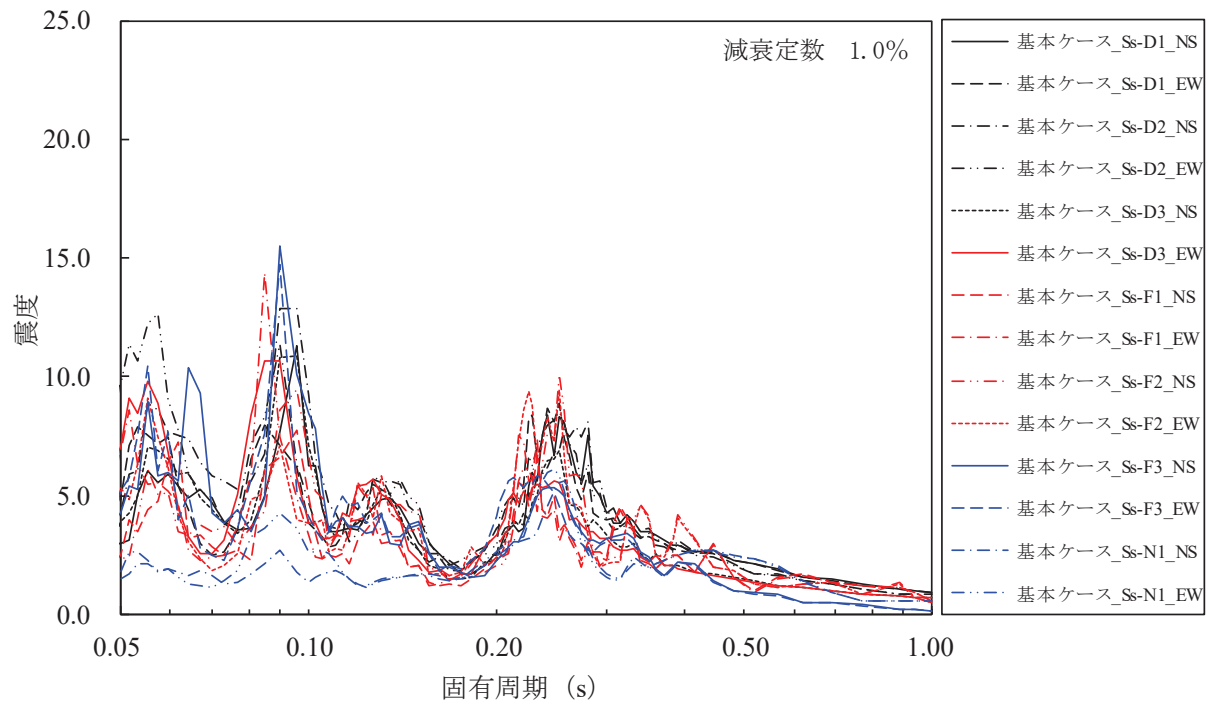


添付図 3-21 原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

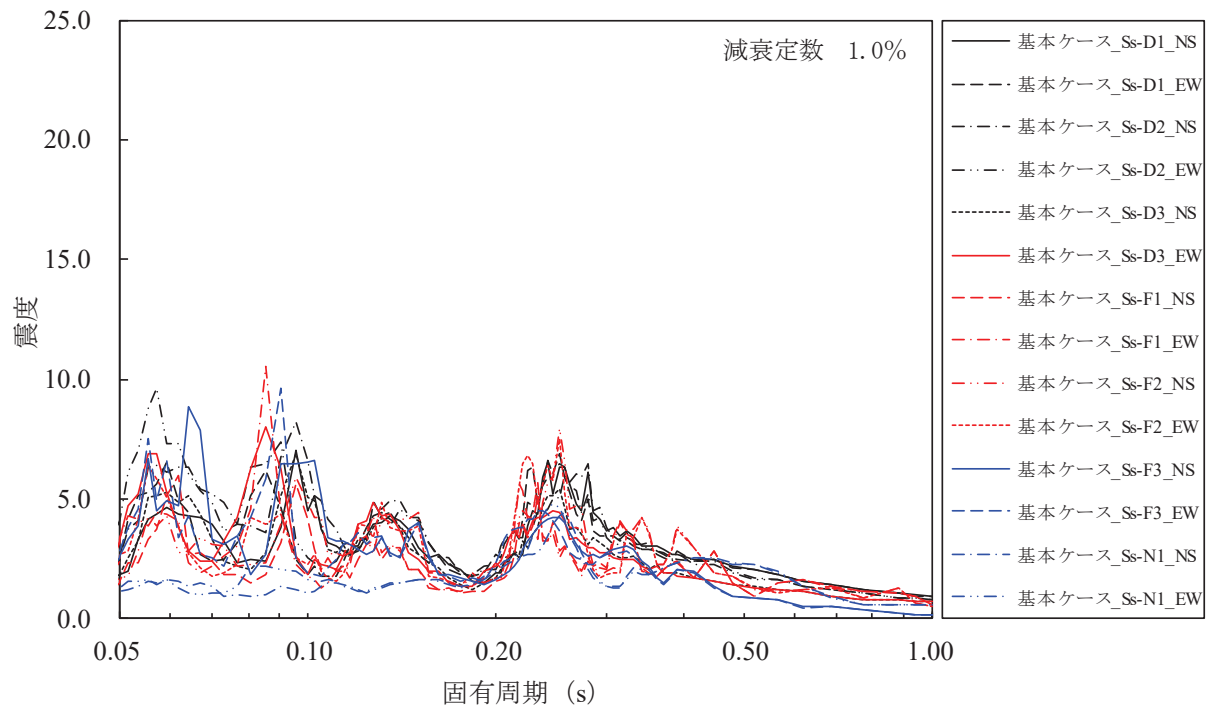


添付図 3-22 原子炉しゃへい壁 (O.P. 13.400m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

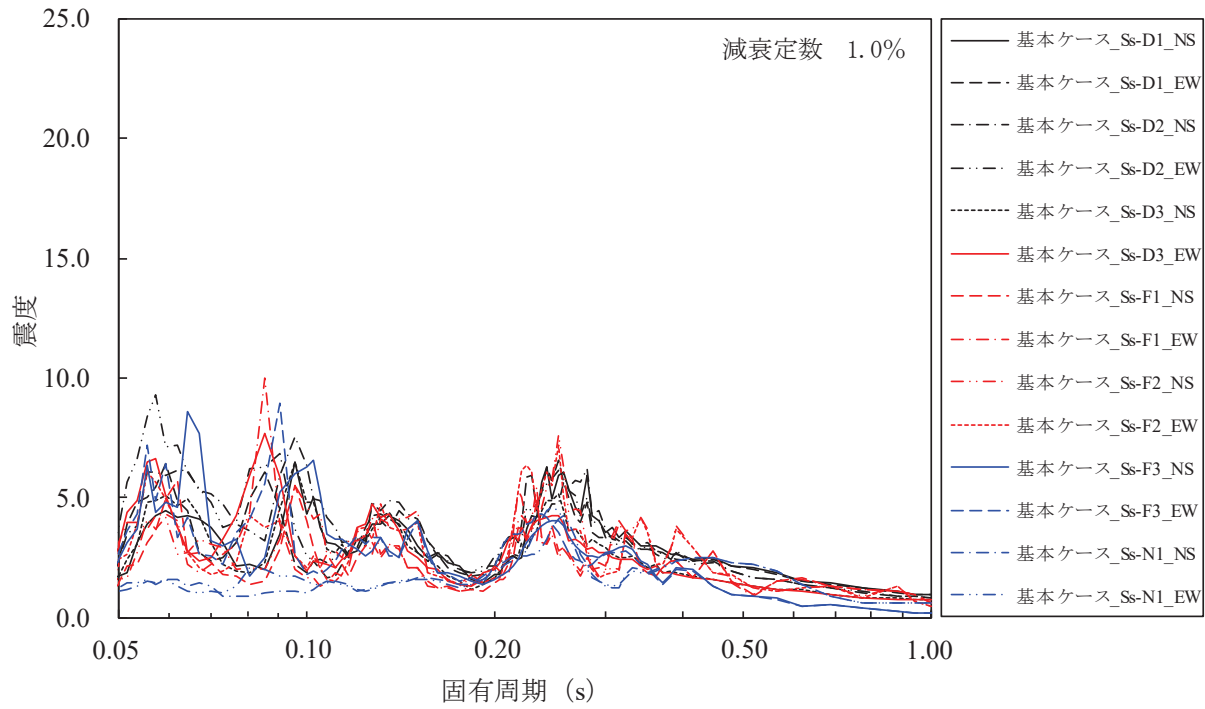




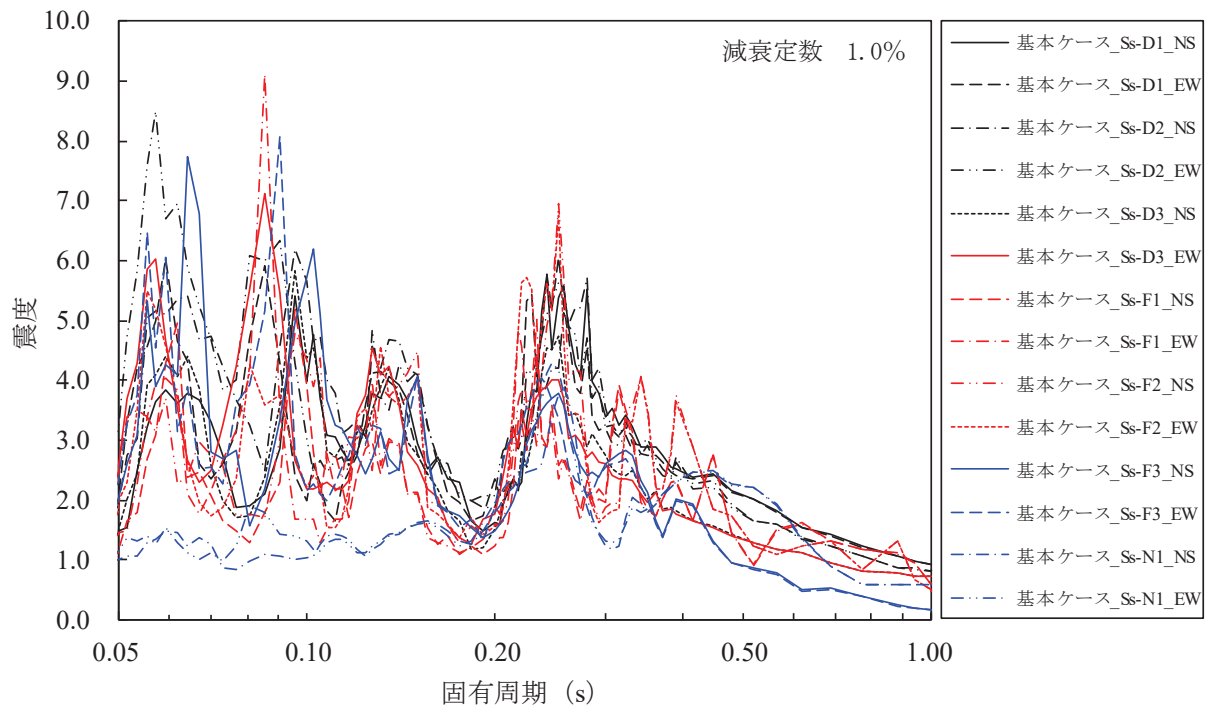
添付図 3-23 原子炉しゃへい壁 (O.P. 10.600m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



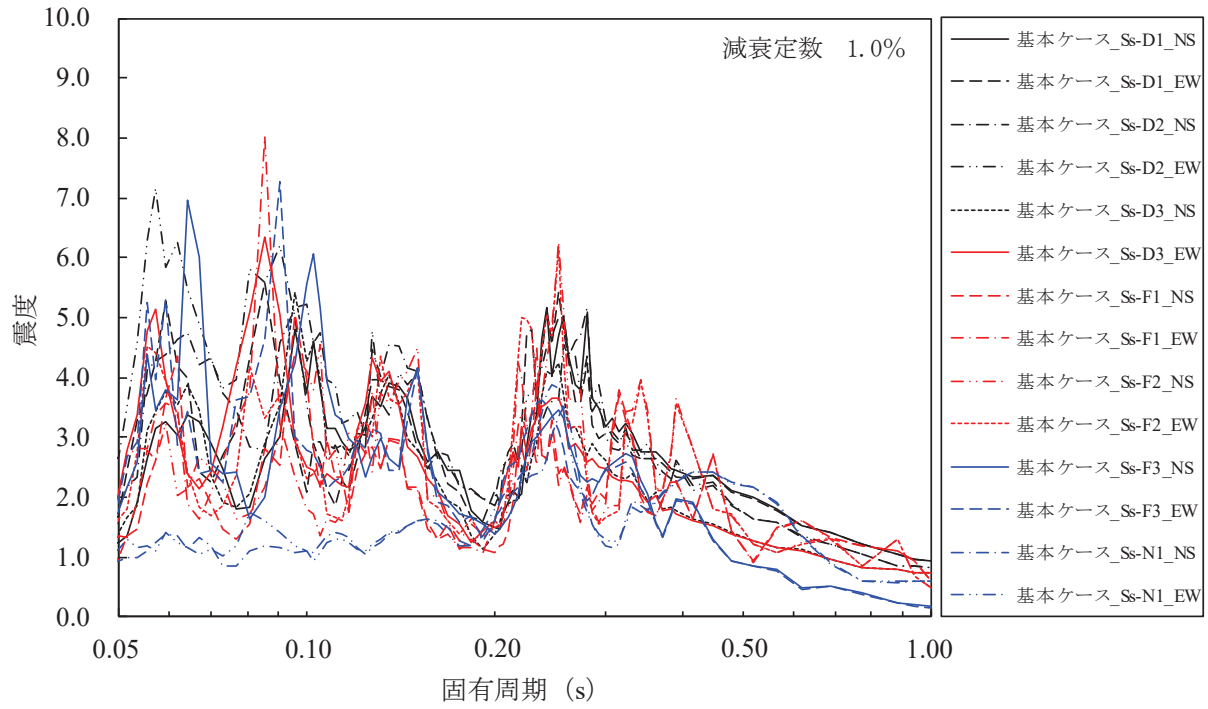
添付図 3-24 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



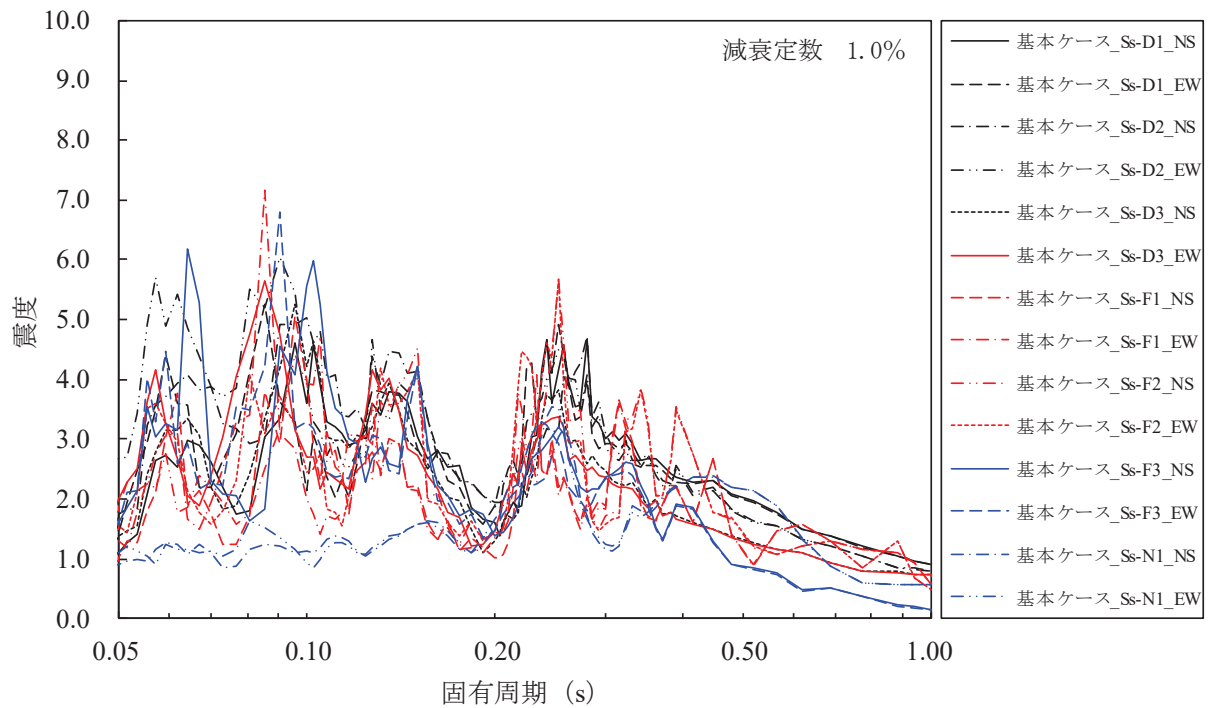
添付図 3-25 原子炉本体の基礎 (O.P. 6.240m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



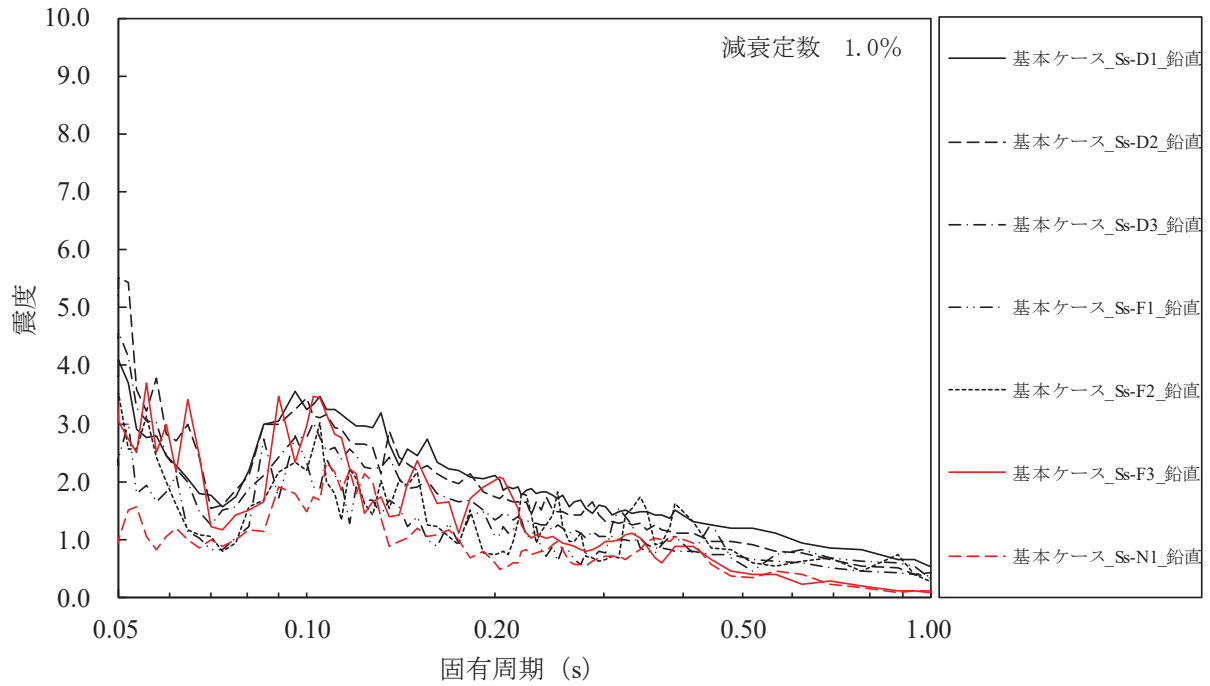
添付図 3-26 原子炉本体の基礎 (O.P. 4.950m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



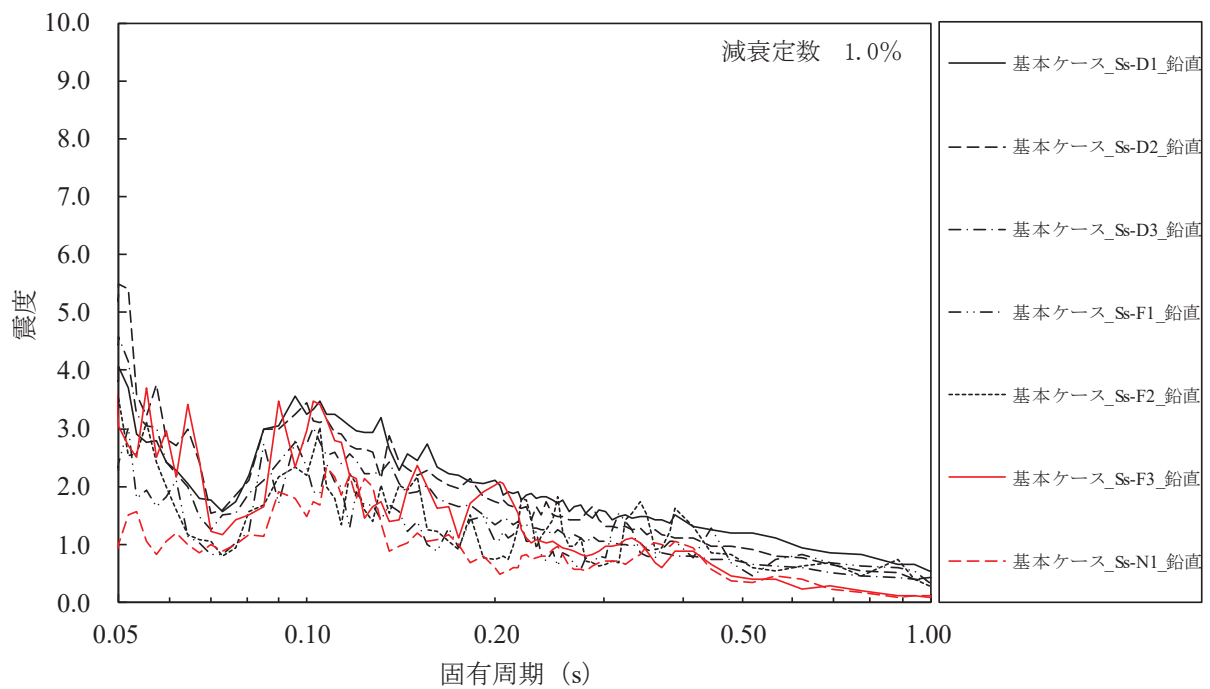
添付図 3-27 原子炉本体の基礎 (O.P. 3.05m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



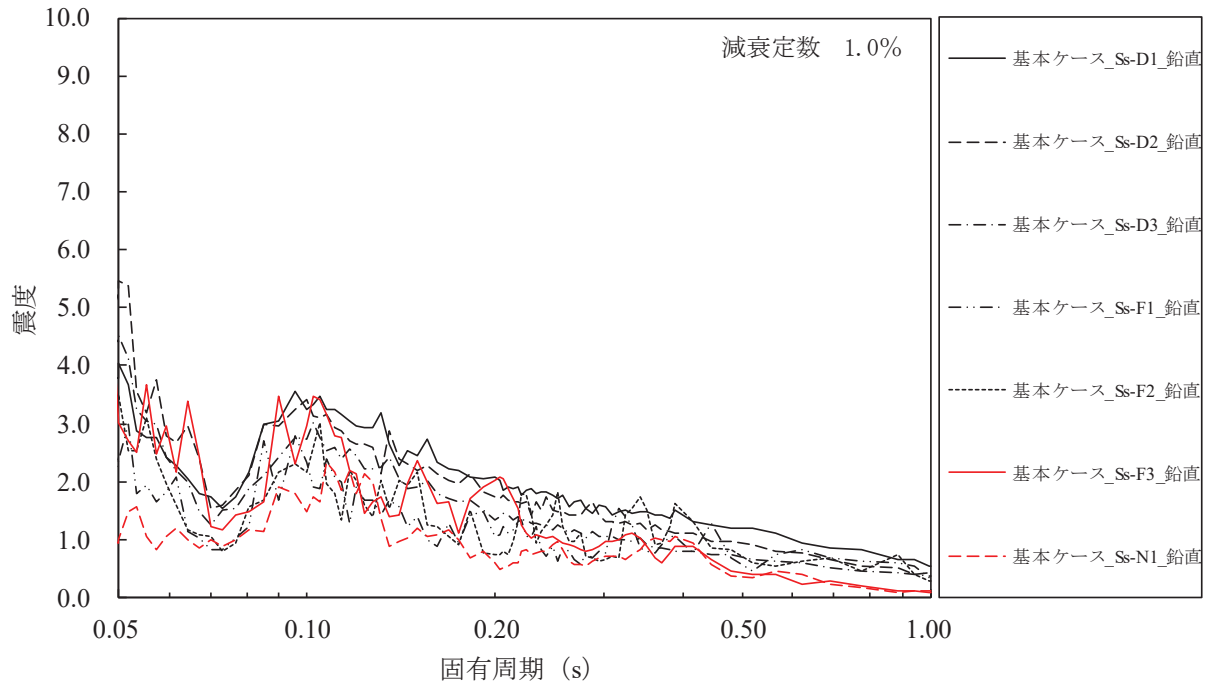
添付図 3-28 原子炉本体の基礎 (O.P. 1.15m) の加速度応答スペクトル  
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



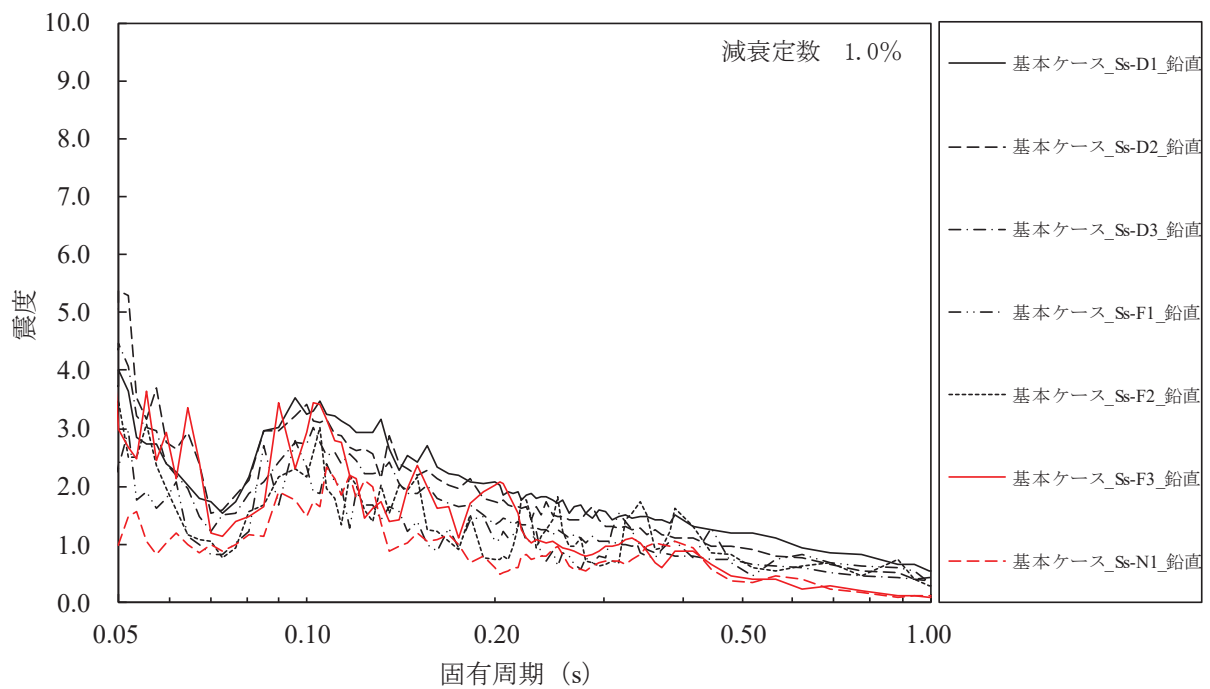
添付図 4-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



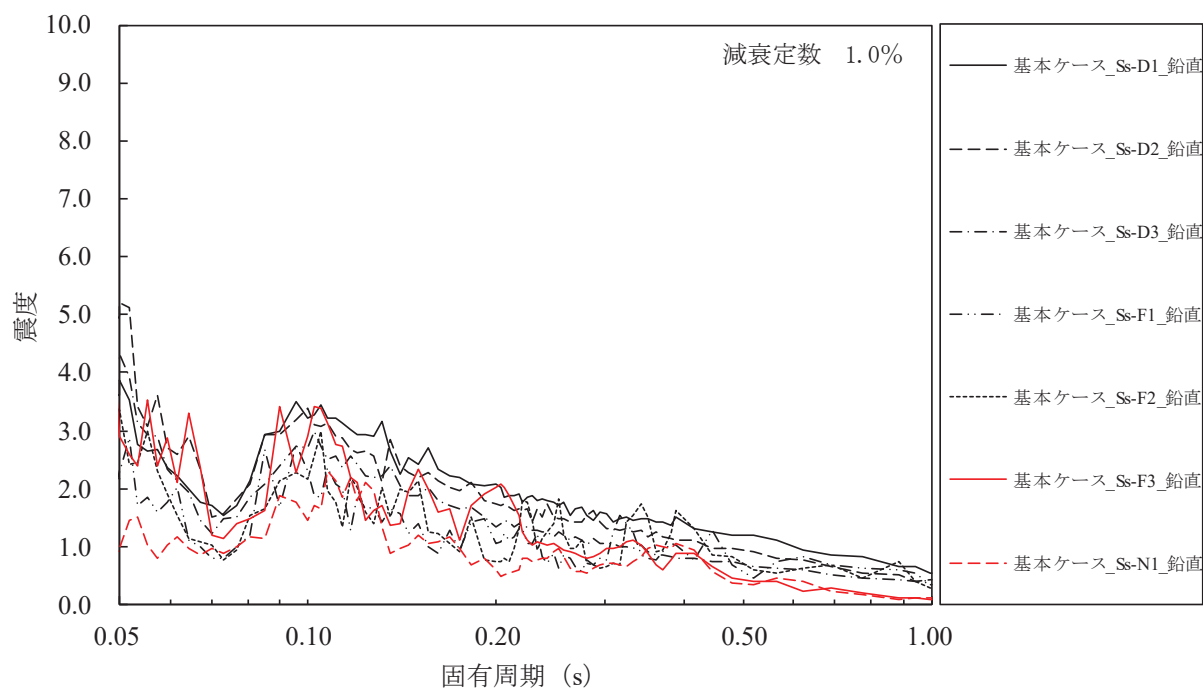
添付図 4-2 原子炉压力容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



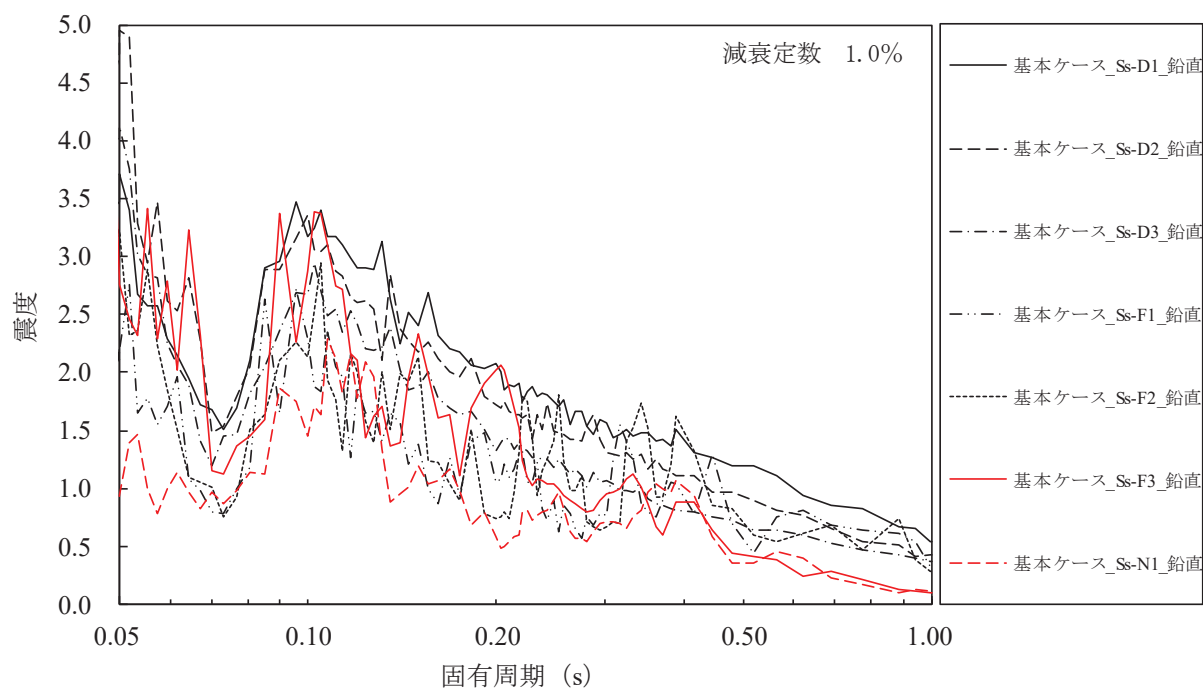
添付図 4-3 原子炉压力容器 (O.P. 23.667m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



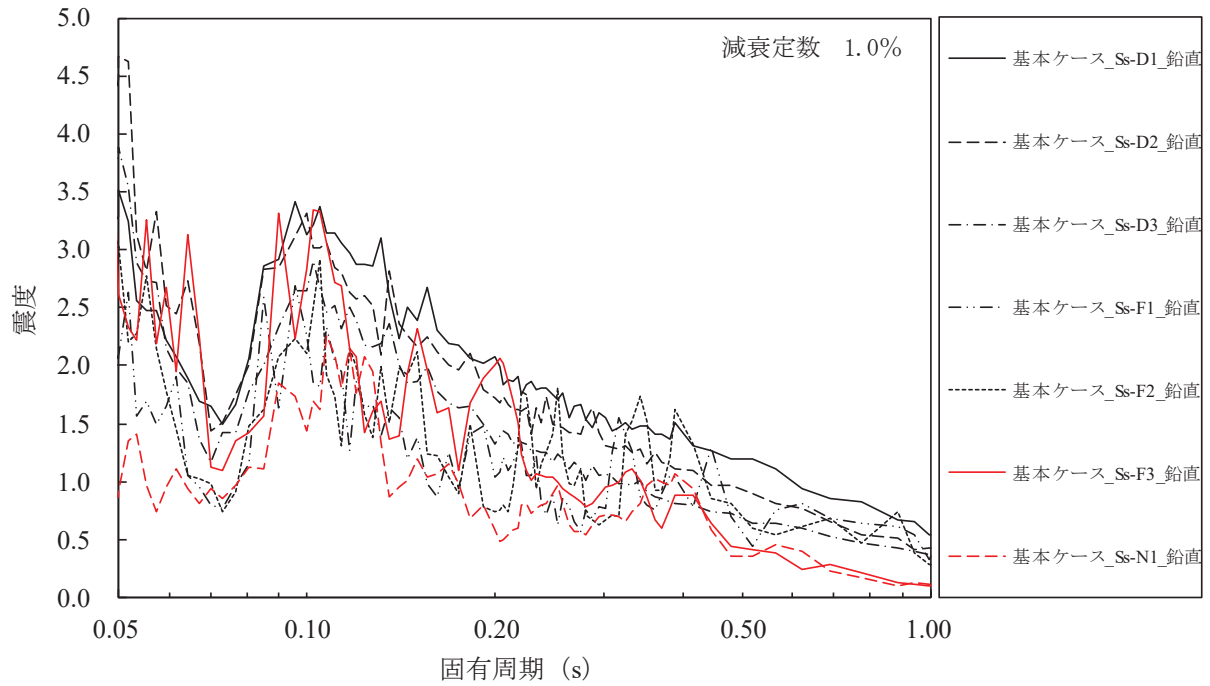
添付図 4-4 原子炉压力容器 (O.P. 21.770m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



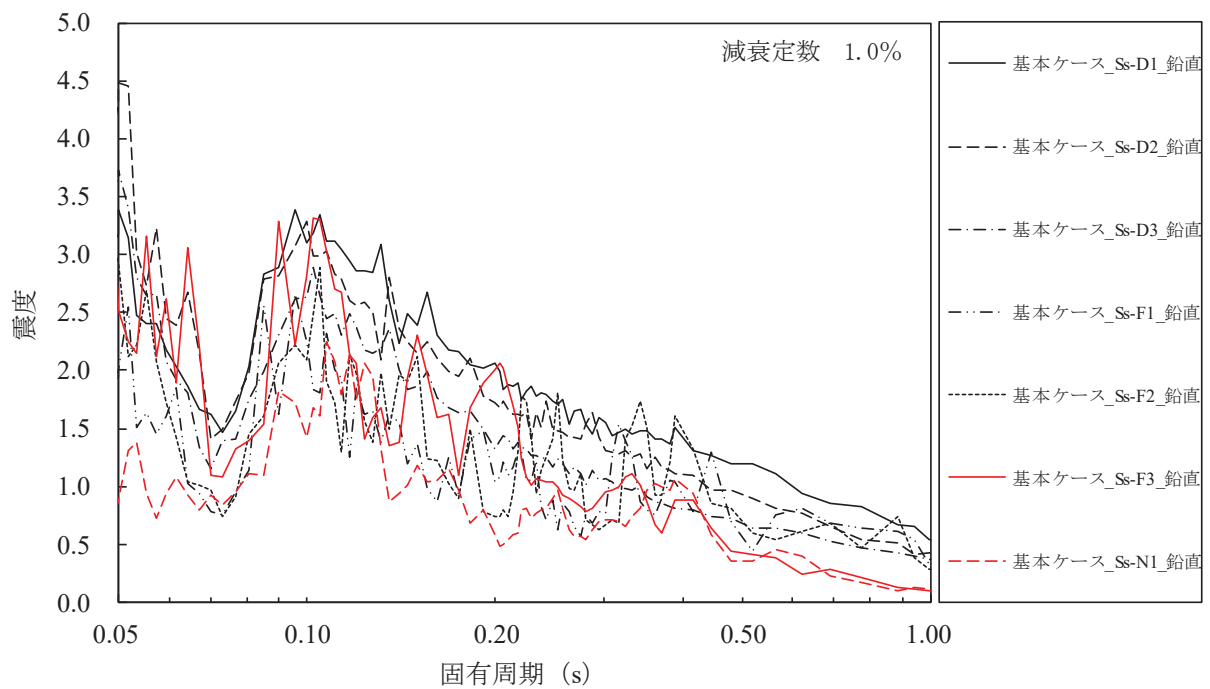
添付図 4-5 原子炉压力容器 (O.P. 18.417m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



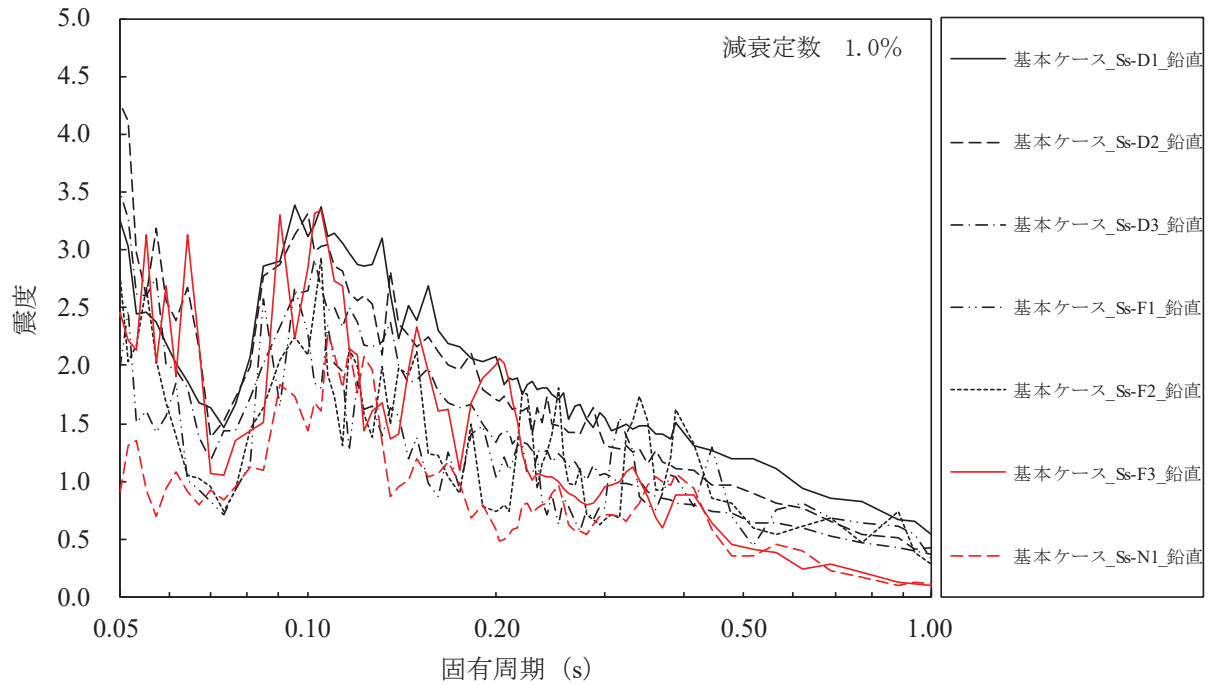
添付図 4-6 原子炉压力容器 (O.P. 14.776m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



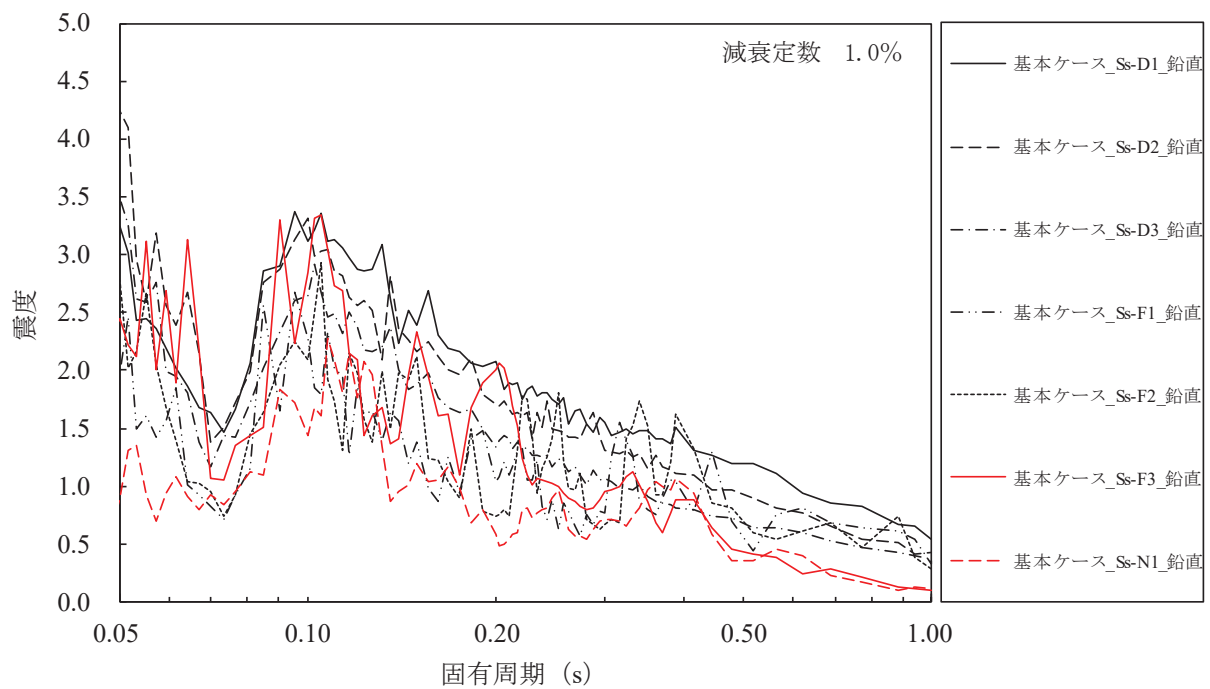
添付図 4-7 原子炉压力容器 (O.P. 11.310m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-8 原子炉压力容器 (O.P. 9.334m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

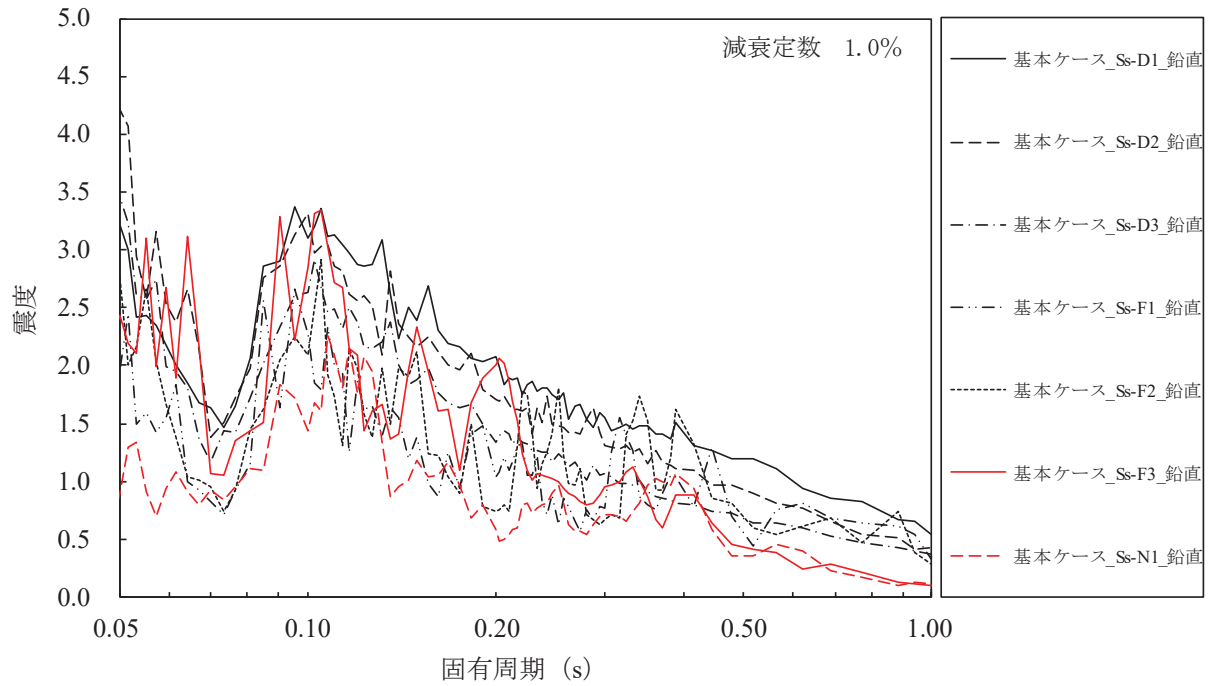


添付図 4-9 原子炉格納容器 (O.P. 30.300m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

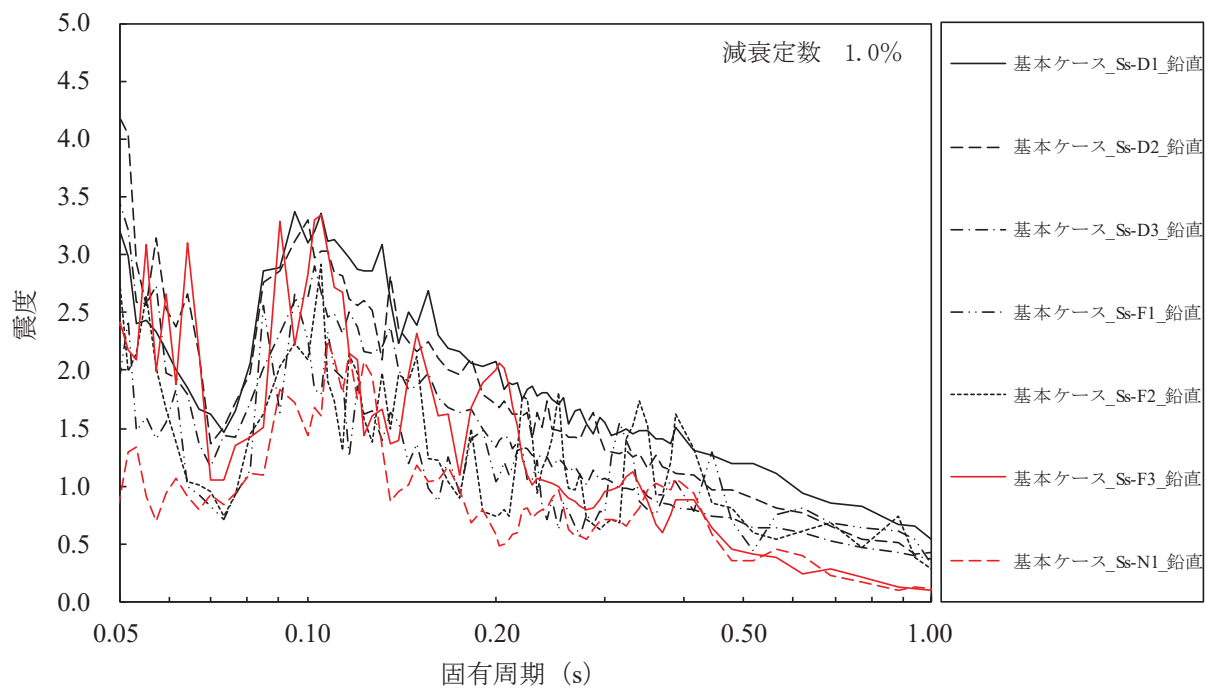


添付図 4-10 原子炉格納容器 (O.P. 27.995m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

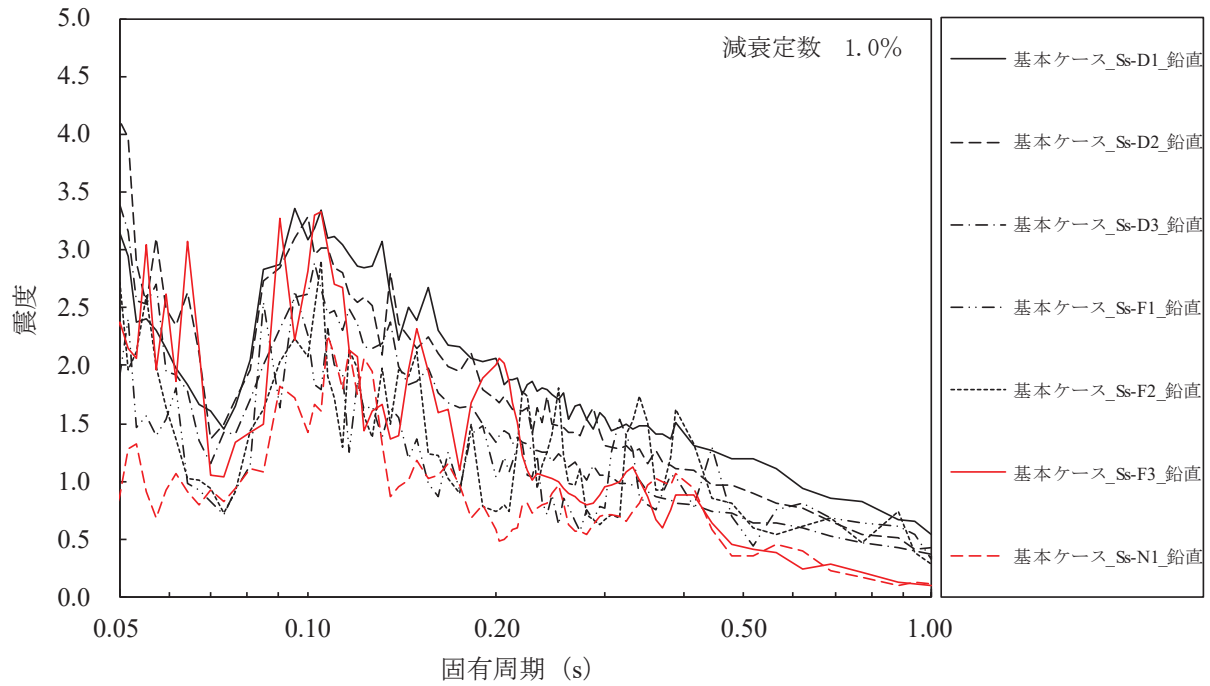




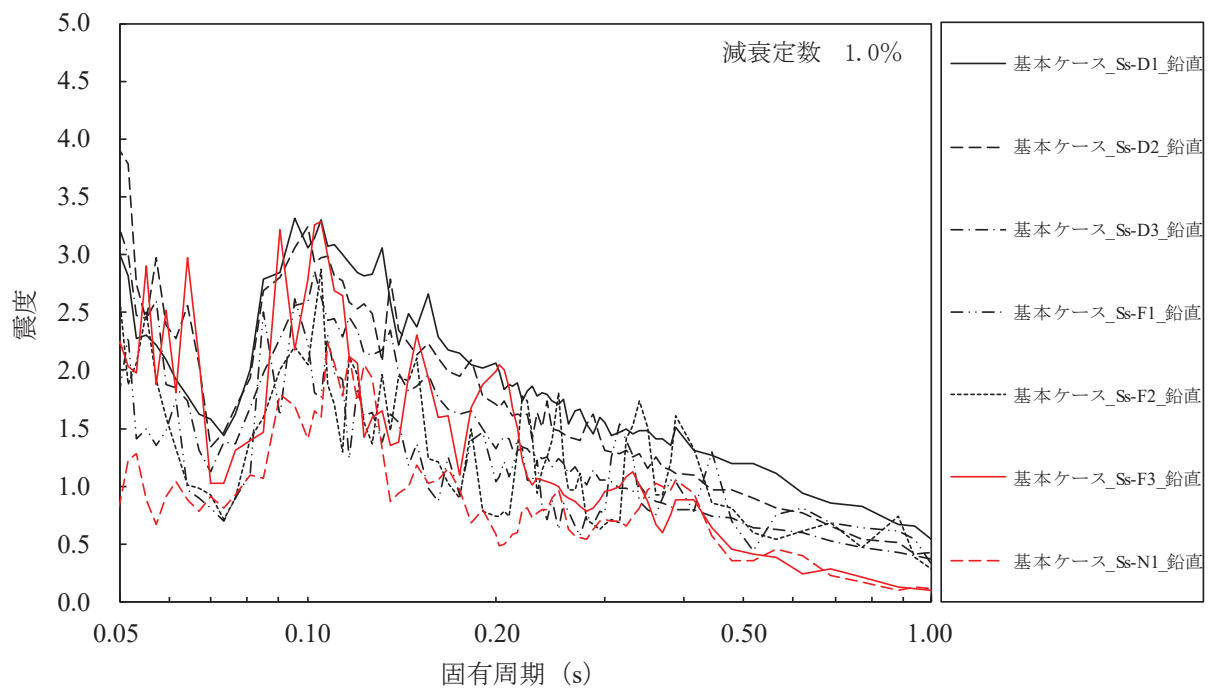
添付図 4-11 原子炉格納容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



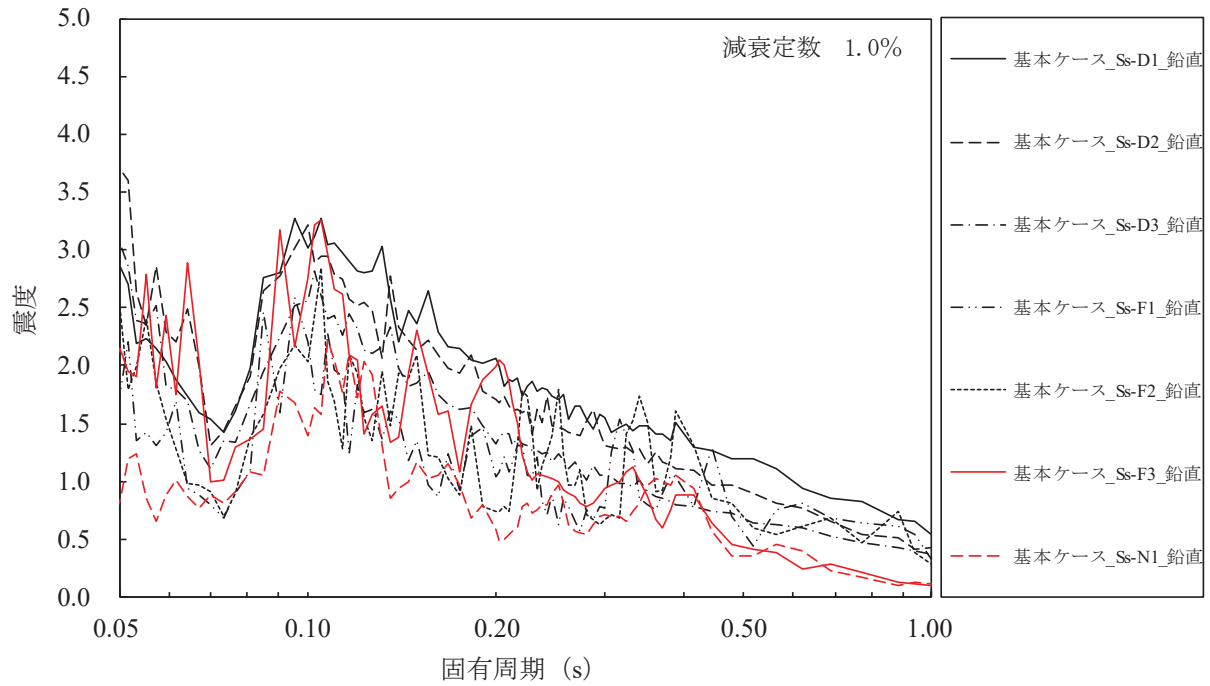
添付図 4-12 原子炉格納容器 (O.P. 24.464m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



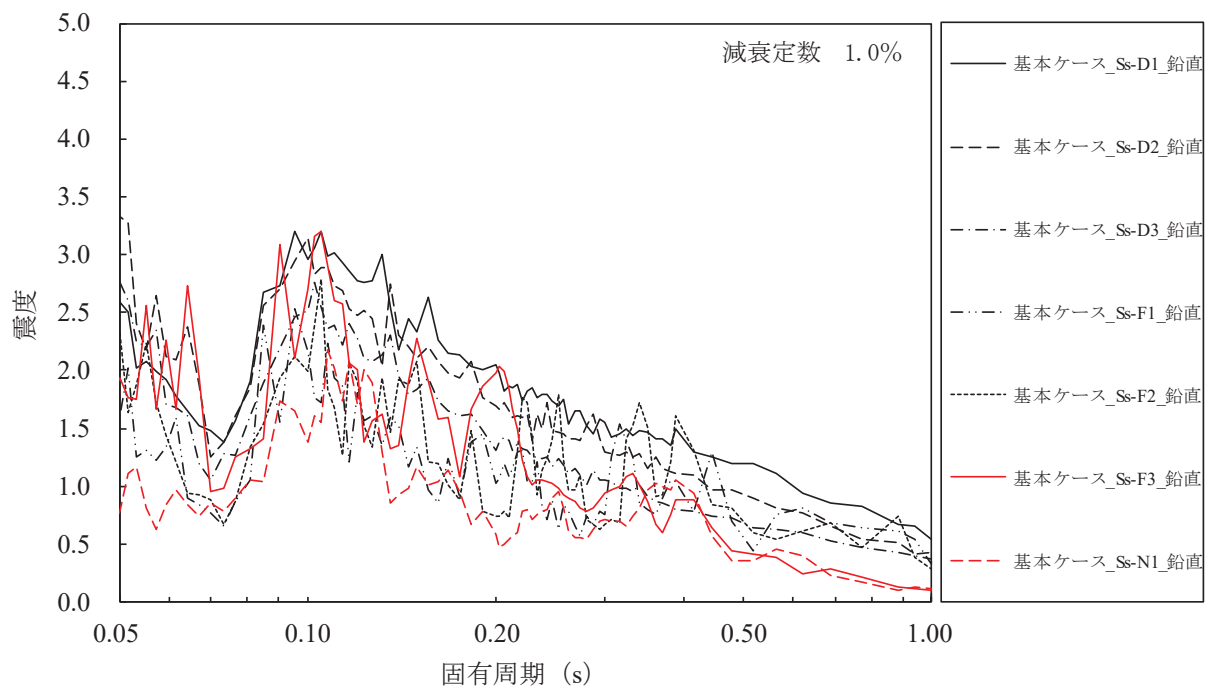
添付図 4-13 原子炉格納容器 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



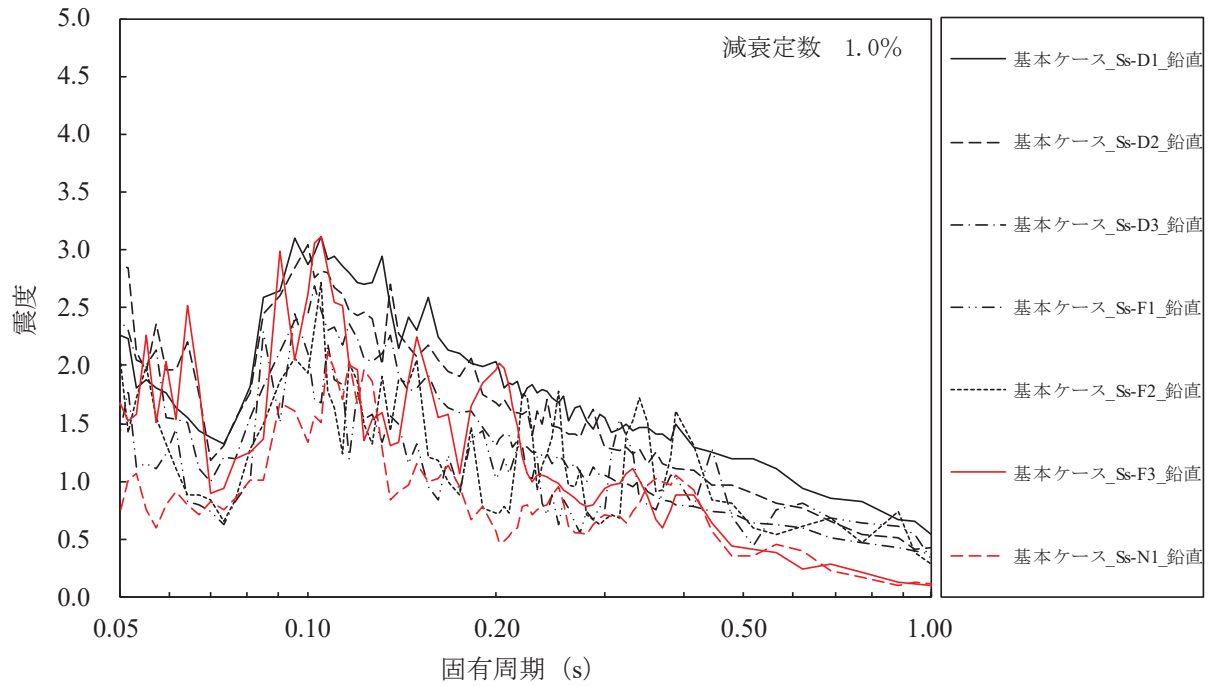
添付図 4-14 原子炉格納容器 (O.P. 17.150m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



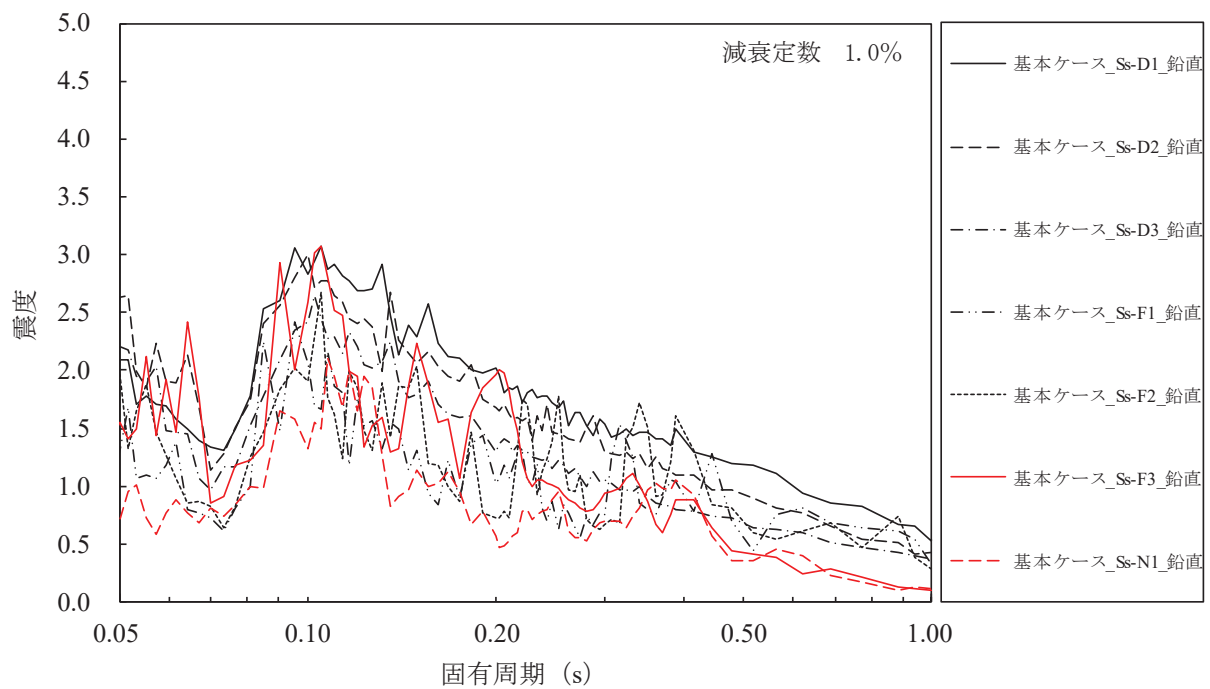
添付図 4-15 原子炉格納容器 (O.P. 14.295m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



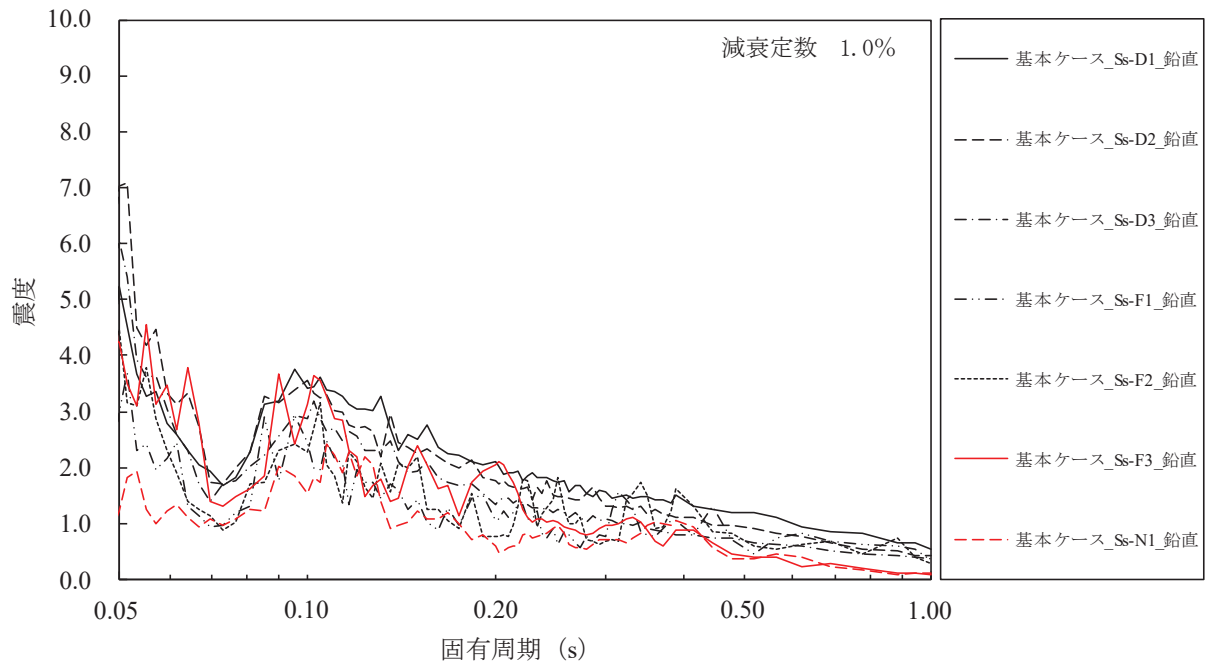
添付図 4-16 原子炉格納容器 (O.P. 9.448m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



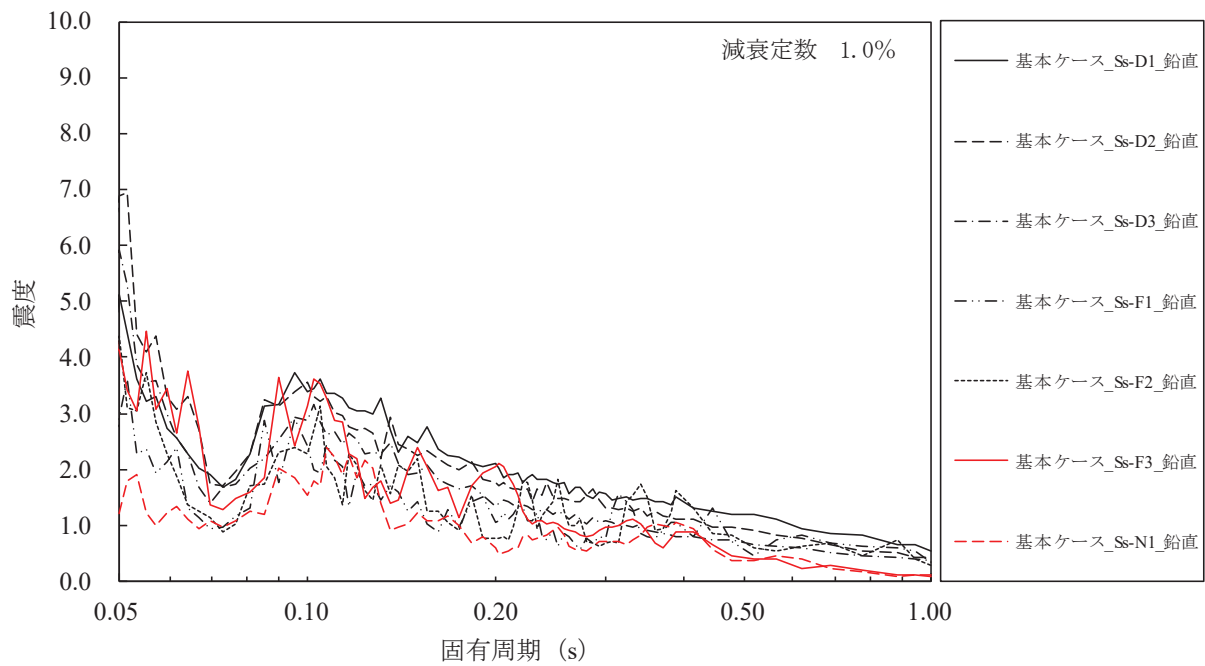
添付図 4-17 原子炉格納容器 (O.P. 4.600m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



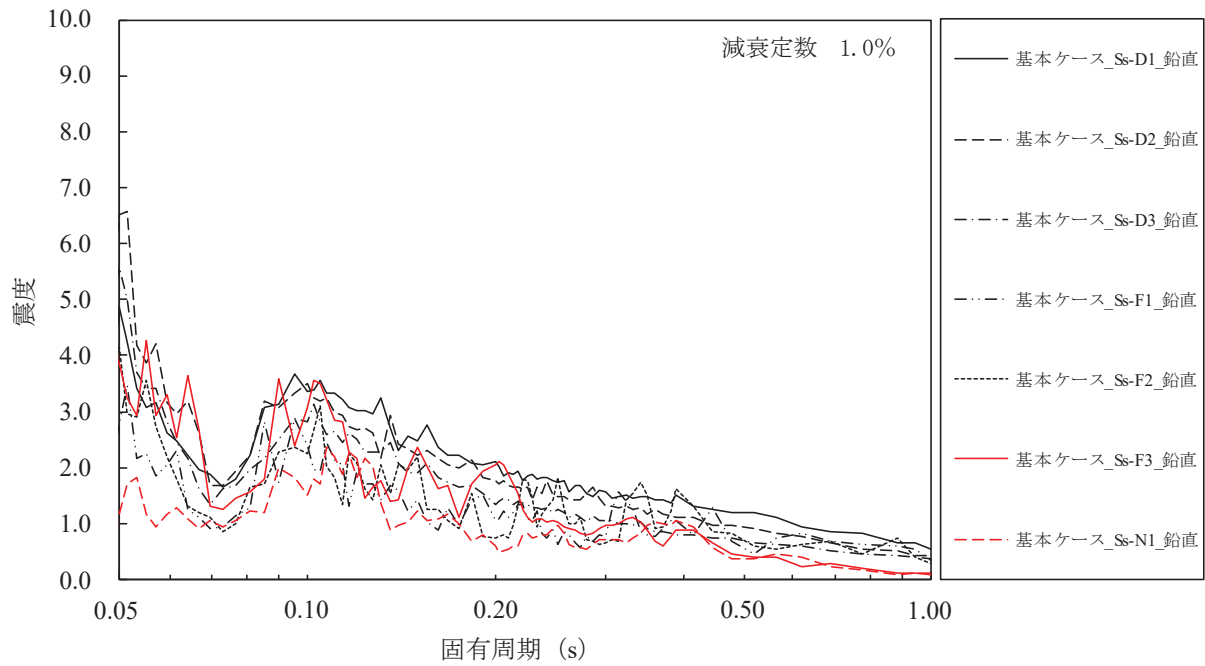
添付図 4-18 原子炉格納容器 (O.P. 2.600m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



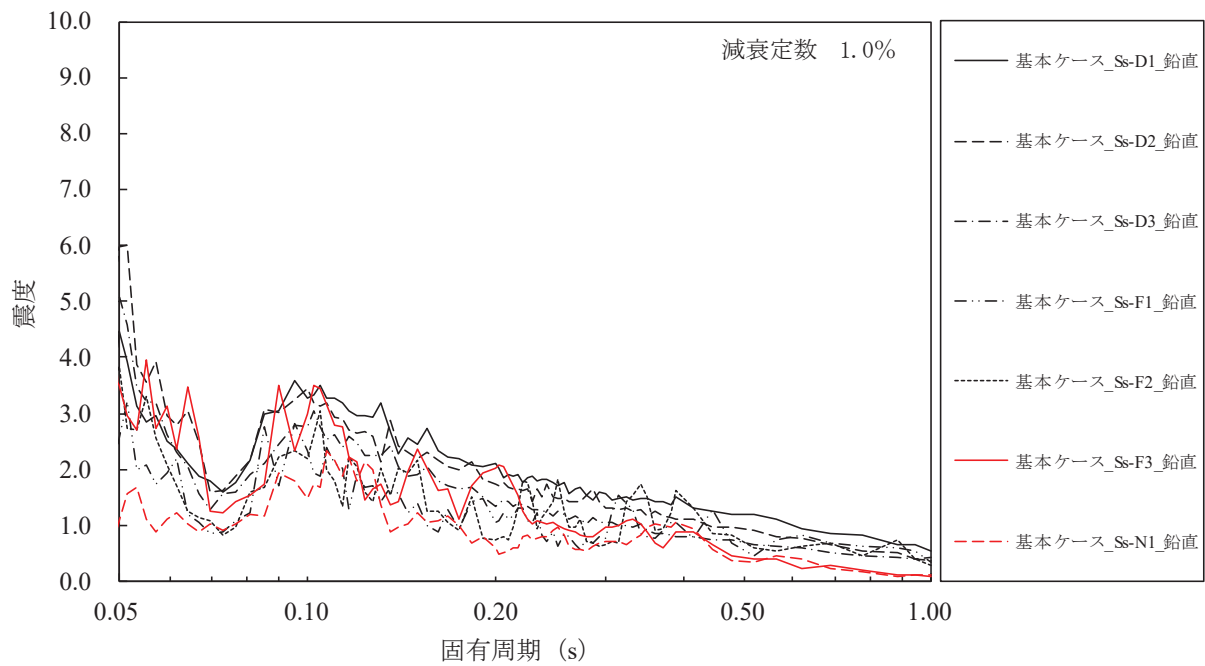
添付図 4-19 原子炉しゃへい壁 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



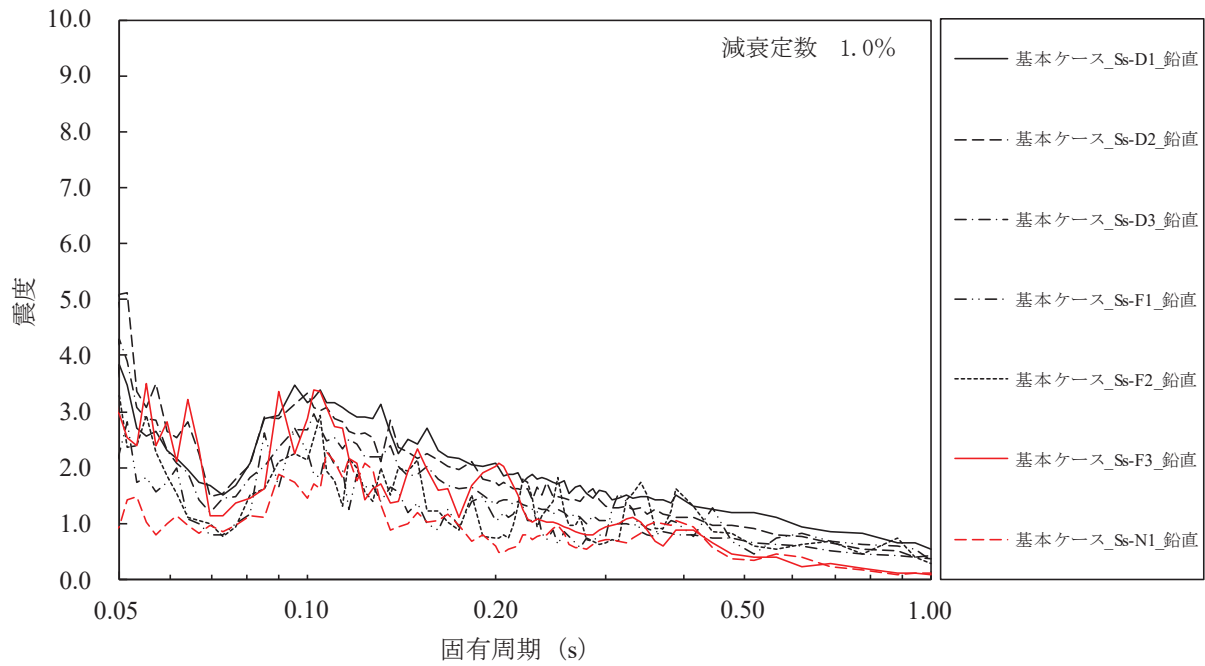
添付図 4-20 原子炉しゃへい壁 (O.P. 18.790m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



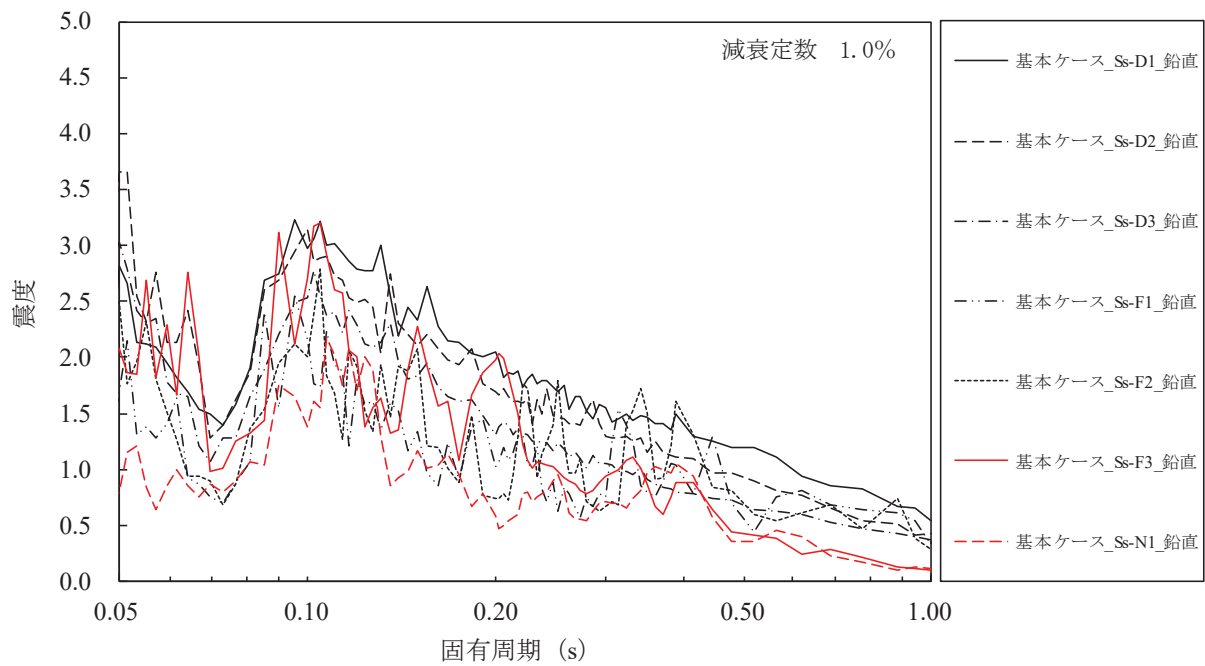
添付図 4-21 原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



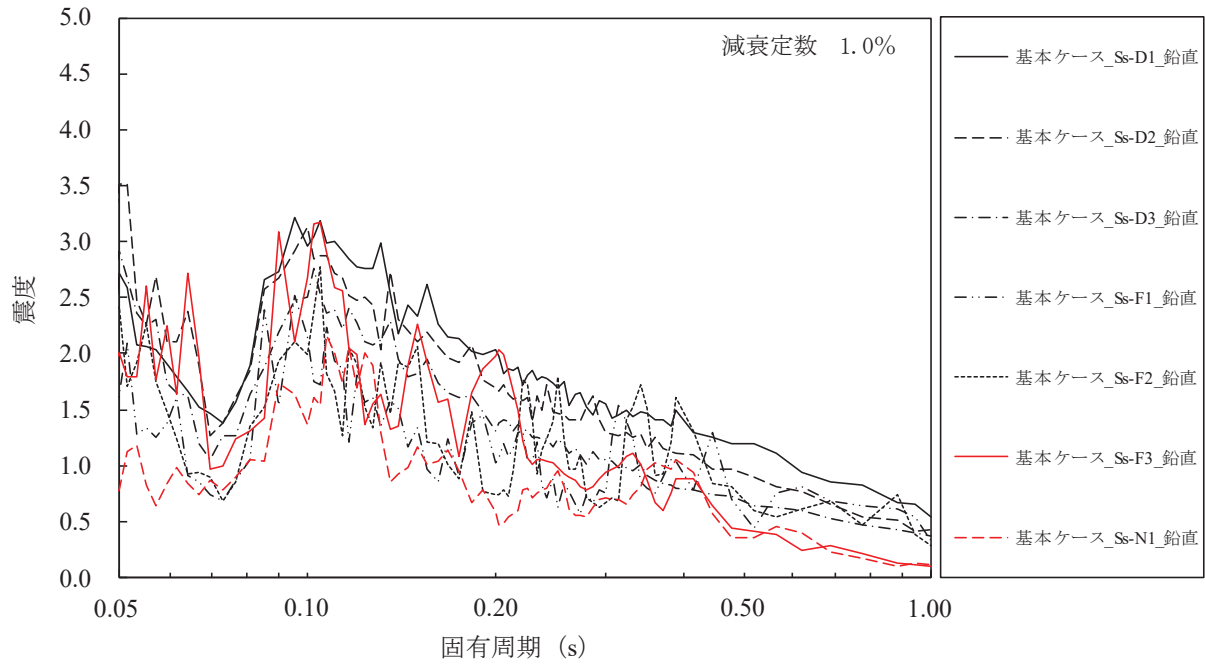
添付図 4-22 原子炉しゃへい壁 (O.P. 13.400m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



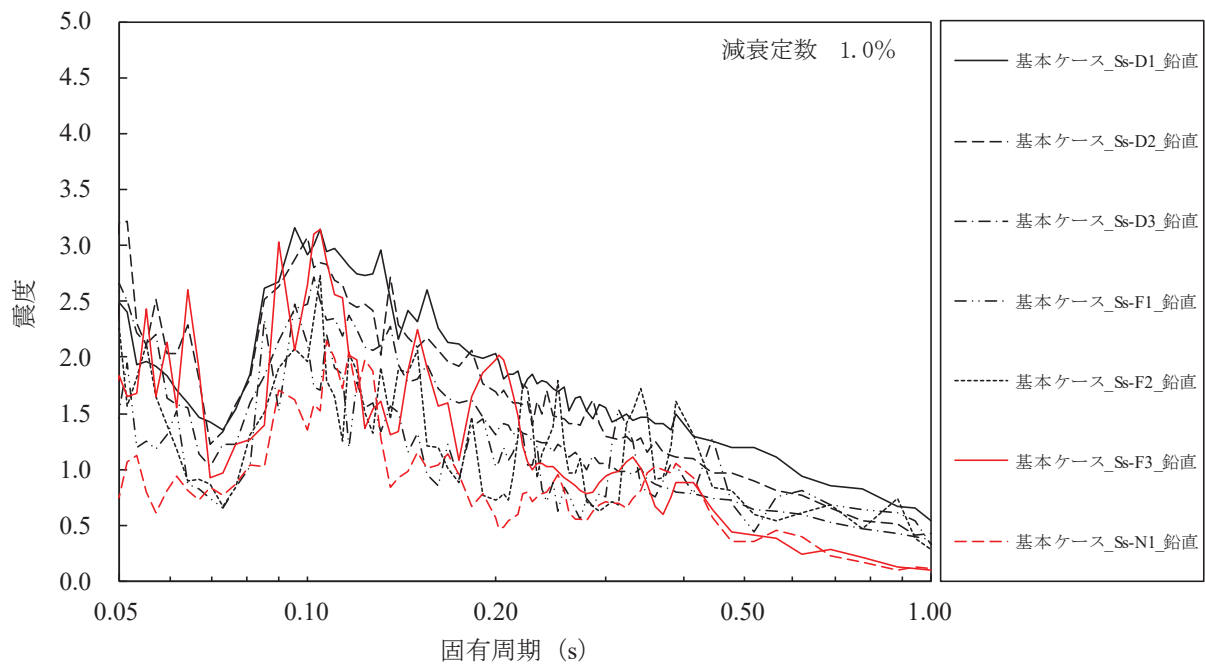
添付図 4-23 原子炉しゃへい壁 (O.P. 10.600m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-24 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

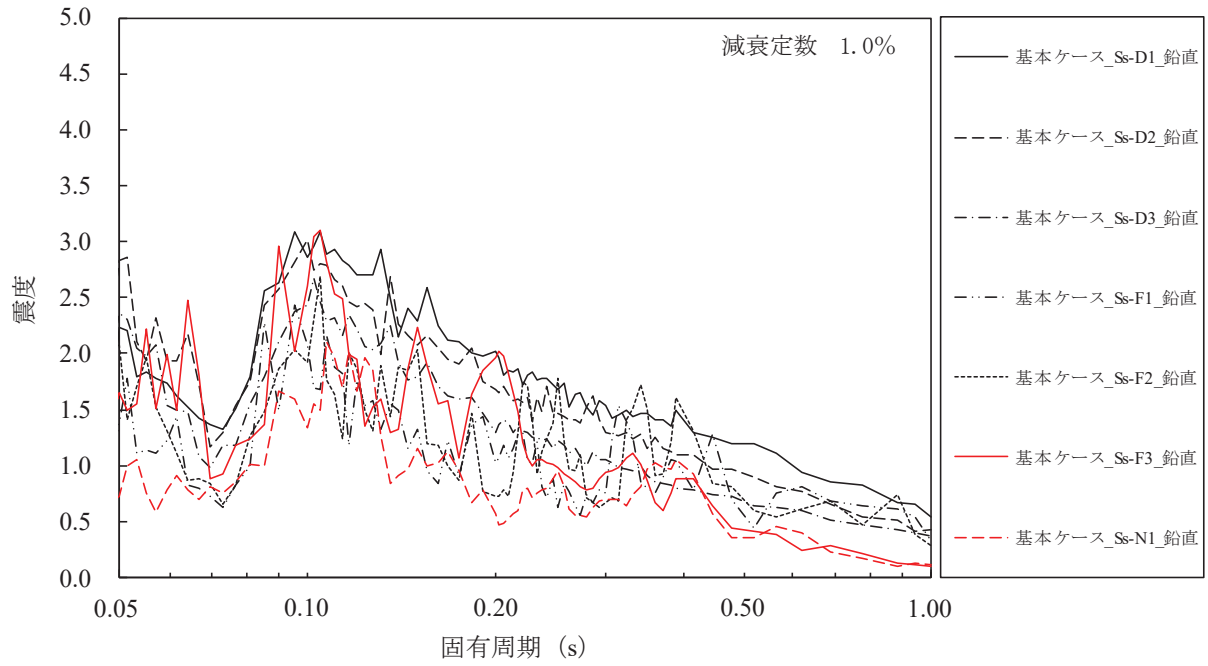


添付図 4-25 原子炉本体の基礎 (O.P. 6.240m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

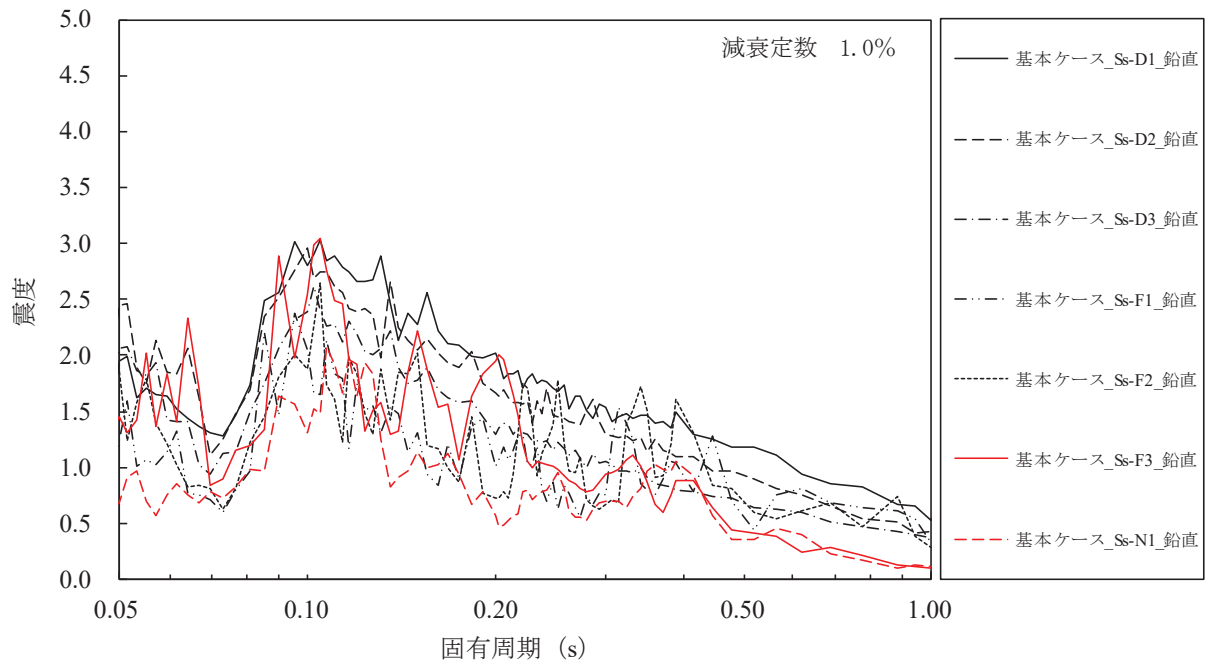


添付図 4-26 原子炉本体の基礎 (O.P. 4.950m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)





添付図 4-27 原子炉本体の基礎 (O.P. 3.050m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-28 原子炉本体の基礎 (O.P. 1.150m) の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

添付表 1-1 原子炉建屋の最大応答加速度（水平方向，1.2ZPA）

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ ) $\times 1.2$																					
		Ss-D1			Ss-D2			Ss-D3			Ss-F1			Ss-F2			Ss-F3			Ss-N1			
		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		
原子炉建屋	50.500	5.37	4.38	5.66	4.78	5.17	4.39	3.54	3.77	5.19	4.22	6.21	4.82	2.65	2.49		6.21	4.82	2.65	2.49			
	41.200	2.61	2.59	3.07	2.90	2.47	2.42	2.05	2.52	2.84	2.56	3.15	2.95	2.14	2.14		3.15	2.95	2.14	2.14			
	33.200	2.36	2.15	2.44	2.38	2.53	2.19	1.53	1.62	2.18	2.25	2.02	2.06	1.88	1.90		2.02	2.06	1.88	1.90			
	22.500	1.53	1.61	2.09	2.06	1.45	1.86	1.17	1.18	1.48	1.56	1.30	1.43	1.63	1.57		1.30	1.43	1.63	1.57			
	15.000	1.19	1.60	1.57	1.67	1.17	1.97	0.97	1.04	1.14	1.64	1.26	1.31	1.55	1.54		1.26	1.31	1.55	1.54			
	6.000	1.00	1.08	1.55	1.44	1.06	1.05	0.92	0.87	1.16	1.10	1.27	1.06	1.20	1.15		1.27	1.06	1.20	1.15			
	1.150	0.83	0.86	1.01	1.20	0.96	0.90	0.83	0.82	1.03	0.87	1.25	1.07	1.11	1.18		1.25	1.07	1.11	1.18			
	-0.800	0.87	0.78	1.16	1.18	0.94	0.89	0.87	0.72	0.89	0.91	1.28	0.95	1.11	1.09		1.28	0.95	1.11	1.09			
-8.100	0.69	0.66	0.75	0.79	0.71	0.69	0.70	0.67	0.74	0.75	0.91	0.93	0.82	0.80		0.91	0.93	0.82	0.80				

添付表 1-2 原子炉建屋の最大応答加速度（鉛直方向，1.2ZPA）

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ ) $\times 1.2$																					
		Ss-D1			Ss-D2			Ss-D3			Ss-F1			Ss-F2			Ss-F3			Ss-N1			
		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		NS	EW		
原子炉建屋	48.725	1.84	1.90	2.03	1.84	1.63	1.29	0.67	1.00	1.13	1.52	1.15					1.52	1.13	1.15				
	41.200	1.78	1.75	1.84	1.75	1.66	1.29	0.67	0.93	1.06	1.38	1.11					1.38	1.06	1.11				
	33.200	1.69	1.66	1.63	1.66	1.63	1.29	0.67	0.83	0.96	1.22	1.05					1.22	0.96	1.05				
	22.500	1.50	1.46	1.46	1.46	1.46	1.29	0.67	0.67	0.79	0.95	0.92					0.95	0.79	0.92				
	15.000	1.32	1.19	0.95	1.19	0.95	1.29	0.67	0.56	0.67	0.79	0.79					0.79	0.67	0.79				
	6.000	1.06	0.90	0.71	0.90	0.71	1.29	0.67	0.48	0.58	0.62	0.60					0.62	0.58	0.60				
	-0.800	0.86	0.74	0.60	0.74	0.60	1.29	0.67	0.43	0.53	0.50	0.51					0.50	0.53	0.51				
	-8.100	0.62	0.66	0.53	0.66	0.53	1.29	0.67	0.44	0.48	0.51	0.46					0.51	0.48	0.46				

添付表 2-1 原子炉压力容器, 原子炉しゃへい壁, 原子炉本体の基礎及び  
原子炉格納容器の最大応答加速度 (水平方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ ) $\times 1.2$													
		Ss-D1		Ss-D2		Ss-D3		Ss-F1		Ss-F2		Ss-F3		Ss-N1	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉 压力容器	28.600	3.48	3.36	3.63	3.88	3.56	3.33	2.13	2.91	2.98	3.21	3.16	3.82	2.02	2.22
	25.858	3.05	2.90	3.20	3.22	3.20	2.85	1.82	2.51	2.62	2.81	2.70	3.26	1.88	1.94
	23.667	2.70	2.68	2.85	2.78	2.93	2.51	1.58	2.19	2.34	2.49	2.37	2.81	1.78	1.76
	21.770	2.38	2.47	2.53	2.45	2.68	2.24	1.42	1.89	2.07	2.21	2.08	2.39	1.71	1.59
	18.417	2.08	2.23	2.11	2.24	2.32	1.85	1.26	1.51	1.71	1.86	1.72	1.88	1.65	1.52
	14.776	1.82	1.99	1.67	1.96	1.81	1.65	1.29	1.35	1.44	1.53	1.64	1.52	1.51	1.42
	11.310	1.54	1.62	1.40	1.51	1.36	1.35	1.23	1.25	1.21	1.28	1.64	1.21	1.32	1.35
	9.334	1.39	1.39	1.25	1.29	1.23	1.21	1.16	1.13	1.17	1.18	1.58	1.25	1.22	1.25
原子炉 本体の基礎	7.040	1.22	1.16	1.13	1.23	1.08	1.14	1.00	0.97	1.07	0.99	1.37	1.19	1.12	1.14
	6.240	1.17	1.11	1.09	1.22	1.06	1.06	0.97	0.91	1.05	0.94	1.35	1.17	1.09	1.09
	4.950	1.11	1.03	1.04	1.19	0.99	1.00	0.91	0.86	1.01	0.87	1.28	1.14	1.03	1.05
	3.050	1.00	0.94	0.98	1.13	0.94	0.88	0.85	0.79	0.99	0.83	1.24	1.08	0.99	1.06
	1.150	0.88	0.85	0.92	1.07	0.89	0.86	0.82	0.74	0.98	0.82	1.21	1.01	0.96	1.00
原子炉 しゃへい壁	21.550	1.98	2.11	2.04	2.02	2.28	1.97	1.22	1.42	1.65	1.88	1.58	1.70	1.61	1.58
	18.790	1.86	1.99	1.90	1.79	2.00	1.67	1.19	1.38	1.51	1.87	1.53	1.64	1.58	1.55
	15.950	1.75	1.95	1.76	1.79	1.72	1.59	1.23	1.40	1.47	1.82	1.41	1.60	1.55	1.49
	13.400	1.72	1.85	1.57	1.70	1.42	1.53	1.22	1.38	1.38	1.62	1.40	1.42	1.47	1.39
	10.600	1.53	1.55	1.41	1.48	1.25	1.35	1.15	1.24	1.26	1.31	1.42	1.36	1.30	1.31
原子炉 格納容器	30.300	1.88	2.01	2.32	2.27	2.08	2.38	1.34	1.33	1.71	1.90	1.77	1.72	1.59	1.71
	27.995	1.77	1.90	2.20	2.14	1.96	2.25	1.29	1.28	1.59	1.81	1.64	1.64	1.56	1.67
	25.858	1.67	1.80	2.08	2.01	1.83	2.11	1.24	1.23	1.51	1.72	1.51	1.57	1.52	1.62
	24.464	1.61	1.73	2.00	1.92	1.74	2.03	1.21	1.20	1.46	1.67	1.43	1.51	1.50	1.59
	21.550	1.52	1.61	1.81	1.73	1.56	1.84	1.13	1.13	1.36	1.56	1.25	1.38	1.44	1.52
	17.150	1.26	1.41	1.43	1.51	1.28	1.46	1.00	1.00	1.19	1.38	1.15	1.15	1.36	1.38
	14.295	1.15	1.37	1.19	1.32	1.11	1.28	0.90	0.92	1.09	1.24	1.11	0.99	1.31	1.30
	9.448	1.04	1.22	1.01	0.99	0.88	1.09	0.75	0.80	0.92	1.04	1.03	0.92	1.20	1.20
	4.600	0.94	0.93	0.90	1.06	0.81	0.82	0.77	0.78	0.97	0.85	1.07	1.00	1.06	1.09
	2.600	0.90	0.89	0.93	1.08	0.85	0.85	0.80	0.77	0.98	0.81	1.16	1.03	1.01	1.03

添付表 2-2 原子炉压力容器, 原子炉しゃへい壁, 原子炉本体の基礎及び  
原子炉格納容器の最大応答加速度 (鉛直方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ ) $\times 1.2$						
		Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
原子炉 压力容器	28.600	1.09	1.36	1.30	0.74	0.74	1.23	0.54
	25.858	1.09	1.35	1.30	0.74	0.74	1.22	0.54
	23.667	1.08	1.34	1.28	0.73	0.74	1.21	0.54
	21.770	1.07	1.33	1.24	0.71	0.72	1.18	0.54
	18.417	1.04	1.29	1.15	0.68	0.70	1.12	0.53
	14.776	1.02	1.26	1.05	0.64	0.67	1.03	0.53
	11.310	0.99	1.21	0.93	0.61	0.64	0.95	0.52
9.334	0.96	1.18	0.87	0.60	0.62	0.90	0.52	
原子炉 本体の基礎	7.040	0.77	0.92	0.72	0.53	0.57	0.78	0.50
	6.240	0.74	0.89	0.70	0.52	0.56	0.75	0.50
	4.950	0.68	0.81	0.64	0.50	0.54	0.68	0.49
	3.050	0.62	0.74	0.57	0.48	0.52	0.61	0.48
	1.150	0.62	0.68	0.54	0.46	0.49	0.54	0.47
原子炉 しゃへい壁	21.550	1.38	1.88	1.57	0.98	1.01	1.77	0.55
	18.790	1.36	1.84	1.51	0.97	0.99	1.71	0.55
	15.950	1.30	1.73	1.39	0.92	0.93	1.59	0.54
	13.400	1.19	1.54	1.23	0.84	0.83	1.42	0.54
	10.600	1.04	1.29	1.04	0.72	0.68	1.18	0.53
原子炉 格納容器	30.300	0.90	1.15	1.06	0.60	0.68	0.80	0.54
	27.995	0.90	1.13	1.06	0.60	0.68	0.80	0.54
	25.858	0.88	1.12	1.05	0.59	0.68	0.80	0.54
	24.464	0.87	1.10	1.04	0.58	0.68	0.80	0.54
	21.550	0.86	1.06	1.01	0.57	0.67	0.79	0.54
	17.150	0.82	0.99	0.90	0.53	0.64	0.75	0.53
	14.295	0.78	0.94	0.84	0.51	0.62	0.71	0.53
	9.448	0.71	0.86	0.75	0.47	0.58	0.65	0.52
	4.600	0.66	0.77	0.63	0.46	0.53	0.59	0.50
2.600	0.64	0.73	0.58	0.46	0.51	0.56	0.48	

緊急時対策建屋及び緊急用電気品建屋に設置される設備の  
高振動数領域の応答に係る影響検討

1. はじめに

女川 2 号機に新設する建屋の「緊急時対策建屋」及び「緊急用電気品建屋」においては、重大事故等対処設備が設置されており、これらの設備においては、基準地震動  $S_s$  に対する耐震評価を行っている。各建屋の設計用床応答曲線について、別図 1,2 に重大事故等対処設備が設置されているフロアの床応答の例（配管系で適用している代表的な減衰定数として 2.0% の例とし添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」より抜粋）を示す。図に示すとおり、各建屋の設計用床応答曲線は 20Hz 近傍の応答が卓越していることが分かる。

そこで本資料では、本文において原子炉建屋内の設備に対して実施した検討内容を踏まえて、20Hz 以上の高振動数領域の応答が設備の構造強度評価に及ぼす影響を確認し、剛柔判定を行う閾値として固有周期 0.05 秒を適用していることの妥当性を検討する。

2. 検討方法

本文での検討内容と同様に、20Hz 近傍の応答が卓越した設計用床応答曲線を適用して評価を行っている設備のうち、一次応力の裕度が最も小さい設備を対象とする。対象設備に適用している設計用床応答曲線の 20Hz 以上の範囲の応答を確認すると共に、対象設備の設計用床応答曲線に対する評価から得られている一次応力の裕度を確認し、高振動数領域の影響を検討する。

【TSC-SsH-TSCB1-020】

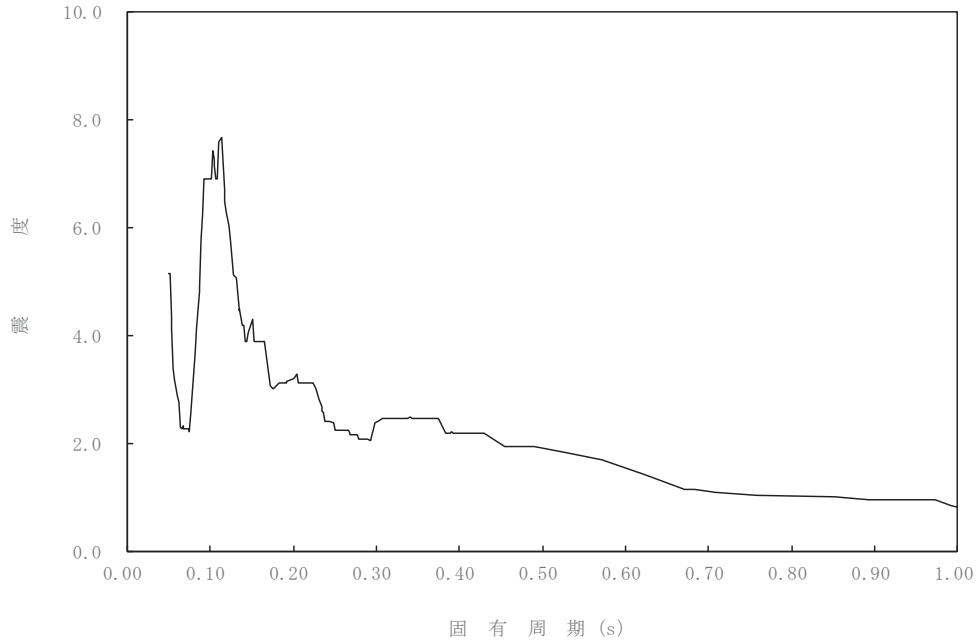
構造物名：緊急時対策建屋

標高：O.P. 57.300m

— 水平方向

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s



別図 1-1 緊急時対策建屋の設計用床応答曲線の例（水平方向）

【TSC-SsV-TSCB1-020】

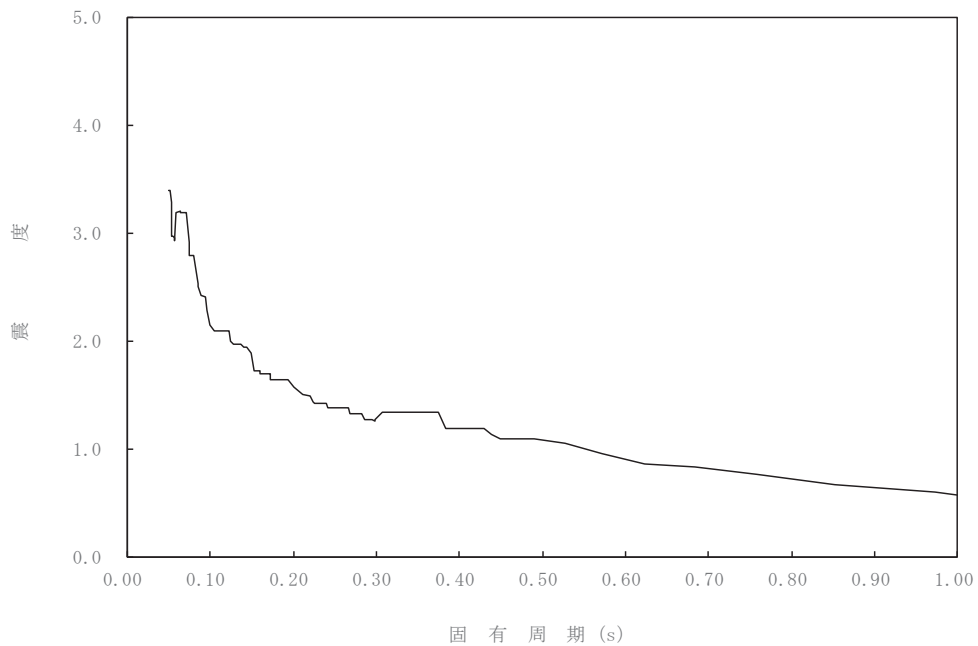
構造物名：緊急時対策建屋

標高：O.P. 57.300m

— 鉛直方向

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s



別図 1-2 緊急時対策建屋の設計用床応答曲線の例（鉛直方向）

【EB-SsH-EB1-020】

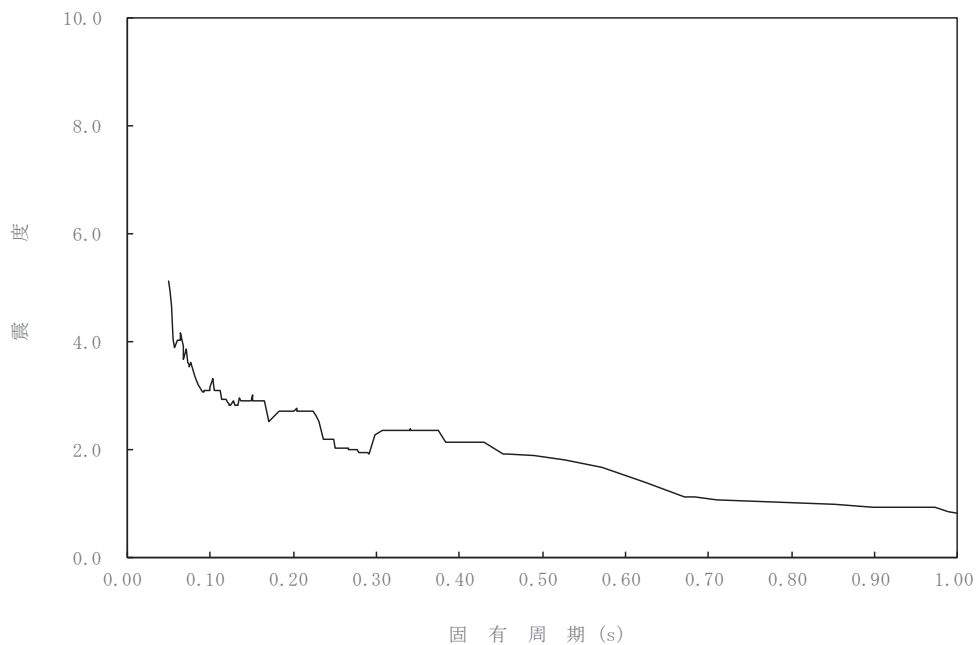
構造物名：緊急用電気品建屋

標高：O.P. 62.900m

— 水平方向

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s



別図 2-1 緊急用電気品建屋の設計用床応答曲線の例（水平方向）

【EB-SsV-EB2-020】

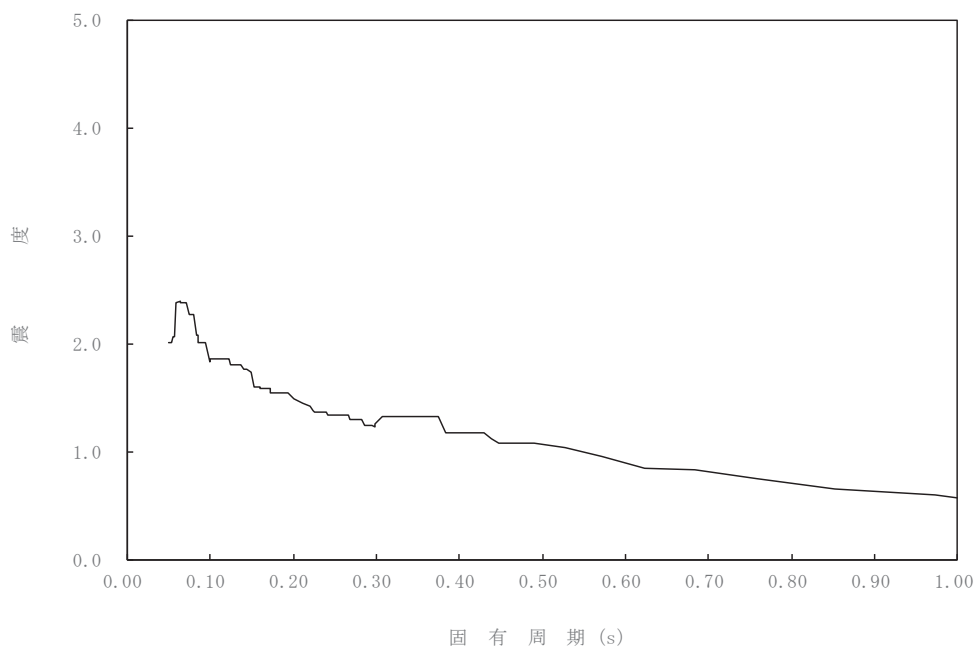
構造物名：緊急用電気品建屋

標高：O.P. 68.900m

— 鉛直方向

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s



別図 2-2 緊急用電気品建屋の設計用床応答曲線の例（鉛直方向）

## 3. 緊急時対策建屋に設置された設備の影響検討

緊急時対策建屋に設置された設備のうち、1次固有振動数を20Hz近傍に有する設備として、緊急時対策所加圧空気供給系配管及び緊急時対策所ディーゼル発電設備配管がある。本検討ではこのうち一次応力の裕度が最も小さい緊急時対策所加圧空気供給系配管（HAPS-002）を対象とする。

対象設備の緊急時対策所加圧空気供給系配管（HAPS-002）に適用する設計用地震力の条件を別表1に示す。また、固有値解析結果及び振動モード図を別表2、別図3に、設計用床応答曲線（添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」参照）を適用した評価結果を別表3に示す。

さらに、設計用床応答曲線について、本文に記載の作成方法と同様の方法で、固有周期を0.02秒（50Hz）まで拡大して作成した検討用床応答曲線を別図4に示す。

別図4に示すとおり、20Hz以上の領域で一部応答が卓越しているものの、3次固有周期における震度は1次及び2次固有周期における震度に対して1.2倍から1.3倍程度であり、別表3に示す本配管モデルが有する裕度よりも十分に小さいことから、高振動数領域を考慮した場合でも設計成立性に影響を及ぼすことはない。

別表1 緊急時対策所加圧空気供給系配管（HAPS-002）に適用する設計用地震力の条件

建物・構築物	標高（O.P. (m)）	減衰定数（%）
緊急時対策建屋		

別表2 緊急時対策所加圧空気供給系配管（HAPS-002）の固有振動数及び刺激係数

モード	固有周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
		X方向	Y方向	Z方向	水平方向		鉛直方向
					X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							

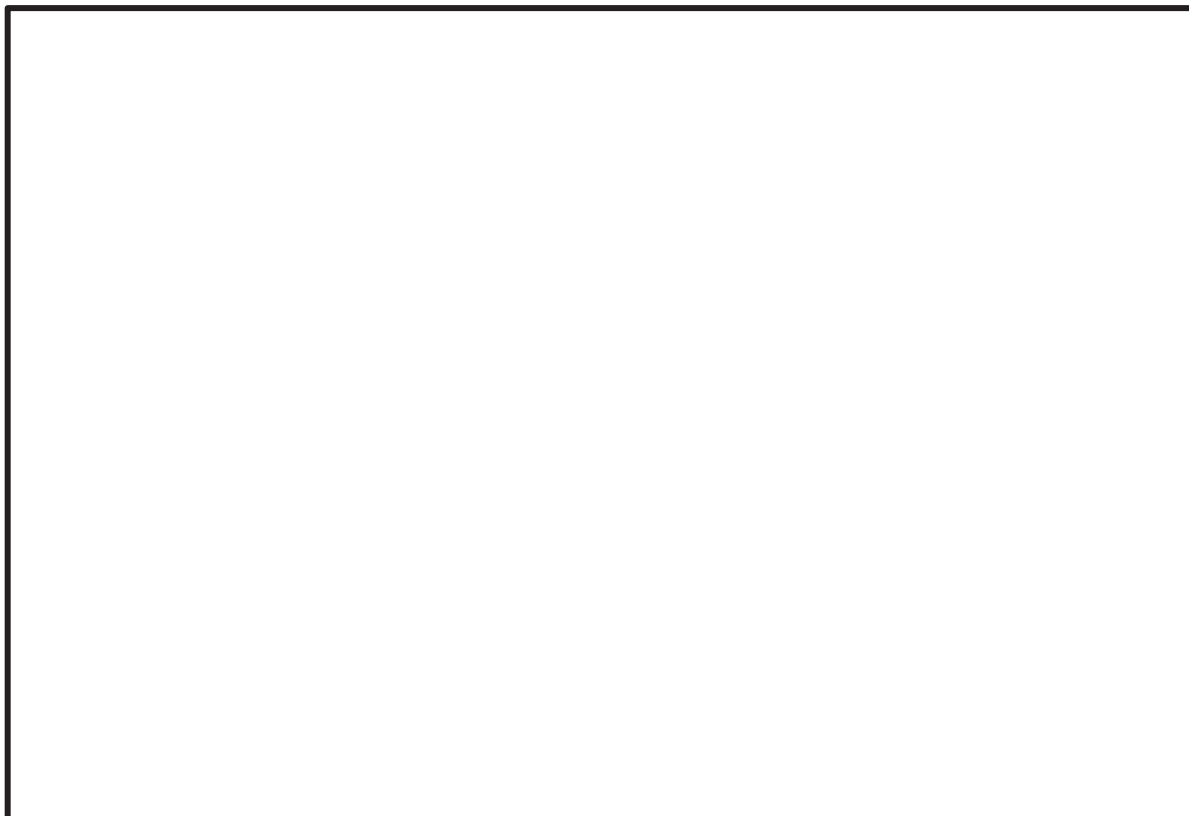
注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

別表3 設計用床応答曲線に対する評価結果

配管モデル	評価点	一次応力		
		計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
HAPS-002	32	122	431	3.53

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

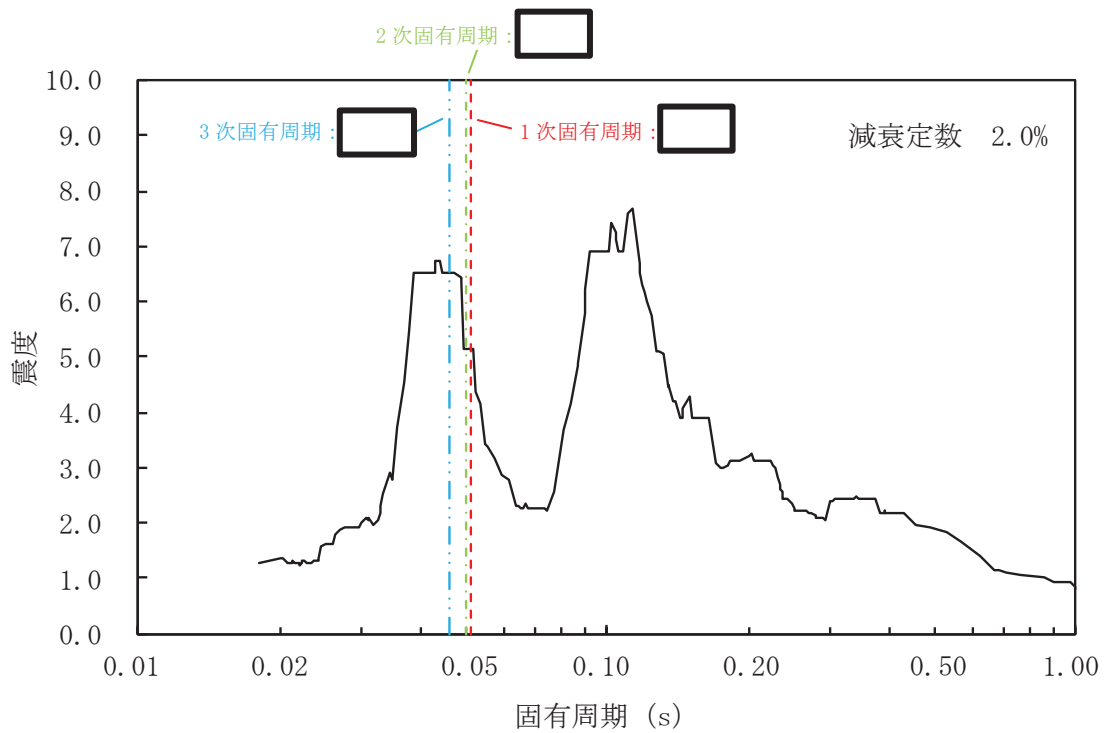




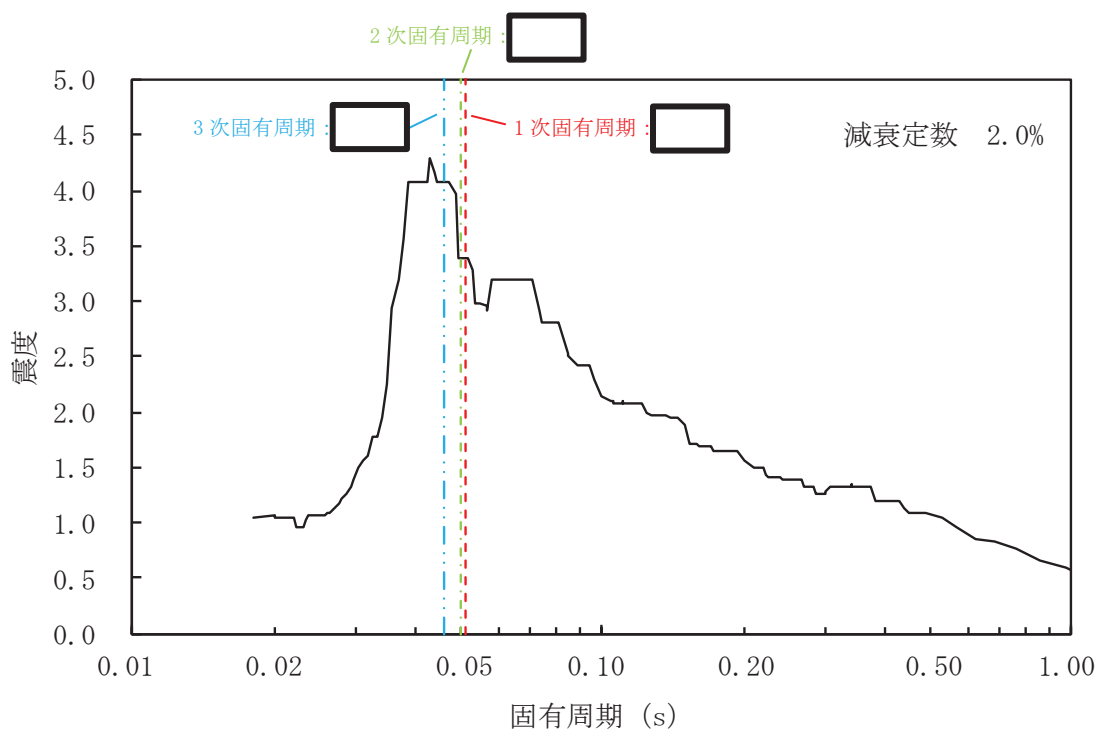
別図 3-1 緊急時対策所加圧空気供給系配管 (HAPS-002) の振動モード図 (1 次)



別図 3-2 緊急時対策所加圧空気供給系配管 (HAPS-002) の振動モード図 (2 次)



別図 4-1 緊急時対策所加圧空気供給系配管 (HAPS-002) に対する検討用床応答曲線  
(水平方向, 減衰定数 2.0%)



別図 4-2 緊急時対策所加圧空気供給系配管 (HAPS-002) に対する検討用床応答曲線  
(鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 緊急用電気品建屋に設置された設備の影響検討

緊急時用電気品建屋に設置された設備のうち、1次固有振動数を20Hz近傍に有する設備はない。ただし、設計用床応答曲線を適用する設備として、ガスタービン発電設備機関・発電機等があるが、いずれも車両に設置された設備であり、車両の固有周期は0.1秒～1秒の範囲（詳細は補足説明資料「補足-600-21 ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照）となっており比較的長周期の領域が卓越する設備であることから、高振動数領域の応答影響は軽微であり、設計成立性に影響を及ぼすことはない。

#### 5. まとめ

上記の検討結果より、緊急時対策建屋及び緊急用電気品建屋において、高振動数領域の応答が設備の設計成立性に影響を及ぼすことがないことを確認したことから、剛柔判定を行う閾値として固有周期0.05秒を適用していることは妥当である。