

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改 10
提出年月日	平成 30 年 5 月 11 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-13 【機電分耐震計算書の補足について】

平成 30 年 5 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
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における振幅マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価の検討方針
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）
7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について

下線：ご提出資料

2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法

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設計上の考慮について	4

参考 床応答スペクトル固有周期計算間隔について

添付 1 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

添付 2 設計用床応答曲線の作成点について

下線：本日まで提出資料

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 秒超え	設計用床応答曲線 (静解析)	—
	0.05 秒以下	1.2ZPA (静解析)	アキュムレータ
多質点系モデル*1	0.05 秒超え	設計用床応答曲線（スペクトルモーダル解析）及び 1.2ZPA（静解析）	配管系
	0.05 秒以下	1.2ZPA (静解析)	制御ユニット
有限要素モデル	0.05 秒超え	設計用床応答曲線（スペクトルモーダル解析）及び 1.2ZPA（静解析）	使用済燃料貯蔵ラック
	0.05 秒以下	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、材料物性のばらつき等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。

また、各解析手法として静解析及びスペクトルモーダル解析にて適用する加速度値を図 2-1 に示す。静解析は、建物・構築物等の地震応答解析結果から得られる最大応答加速度（ZPA）を 1.2 倍した加速度値を適用する。スペクトルモーダル解析については、0.05 秒（20Hz）までの加速度値を考慮し解析を実施する。高次モードの影響を確認するために実施する配管に設置された弁の動的機能維持評価に対するスペクトルモーダル解析は、0.02 秒（50Hz）までを考慮する。

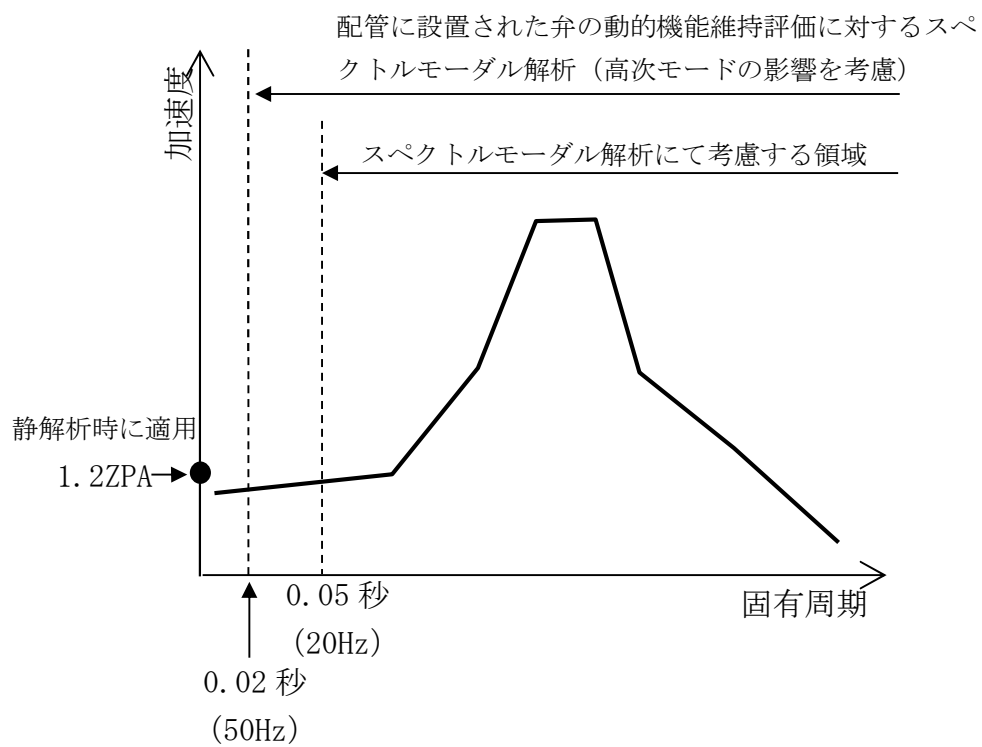


図 2-1 静解析及びスペクトルモーダル解析にて適用する加速度値

3.2 耐震計算に用いる耐震評価条件の設計上の考慮について

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設計上の配慮を考慮して設定したものをを用いる。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、設計上の配慮を考慮した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。動的解析に適用する床応答曲線は、以下に示す(1)項又は(2)項とする。

(1) 設計用床応答曲線に設計上の配慮を考慮して設定

「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設計上の配慮として加速度方向に一律 1.5 倍を考慮する(図 3-1)。また、1.2ZPA を用いる場合も同様に 1.2ZPA に一律 1.5 倍を考慮する。

(2) 材料物性のばらつき等を踏まえた考慮

「V-2-1-2 耐震設計の基本方針」において、材料物性のばらつき等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。

材料物性のばらつき等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(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、設計上の配慮を考慮した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。動的解析に適用する床応答曲線は、以下に示す(1)項又は(2)項とする。

(1) 設計用床応答曲線に設計上の配慮を考慮して設定

「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設計上の配慮として加速度方向に一律 1.5 倍を考慮する。また、1.2ZPA を用いる場合も同様に 1.2ZPA に一律 1.5 倍を考慮する。

(2) 材料物性のばらつき等を踏まえた考慮

「V-2-1-2 耐震設計の基本方針」において、材料物性のばらつき等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。

材料物性のばらつき等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。

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 (%)

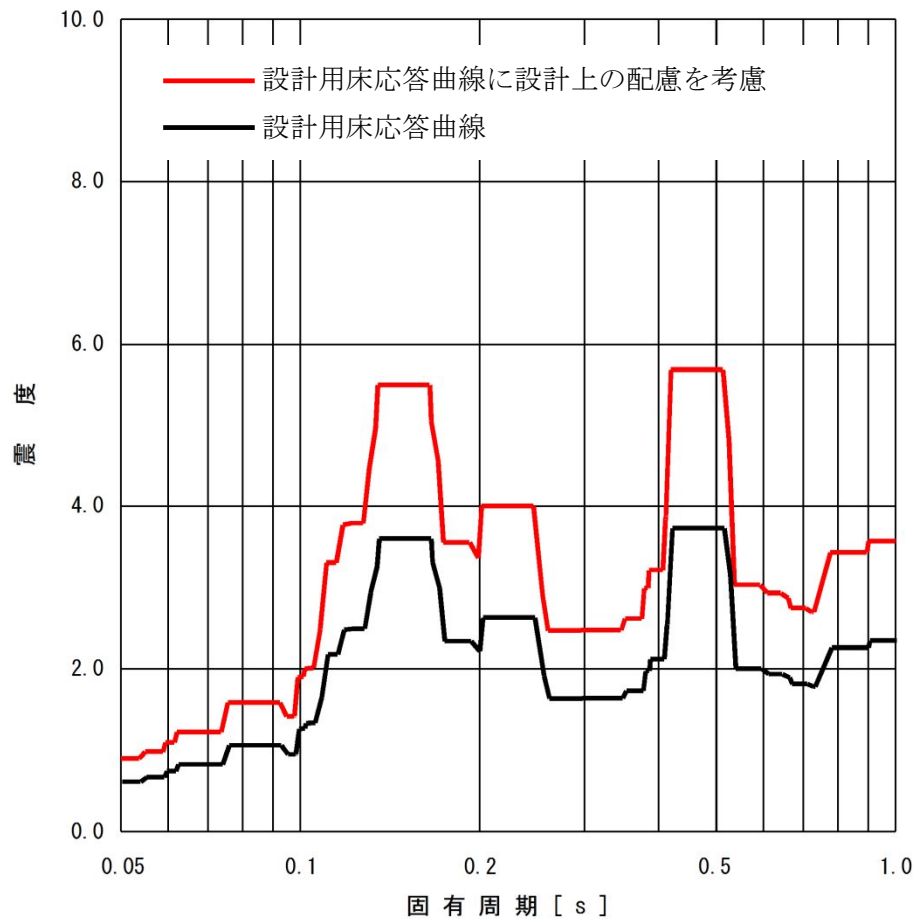


図 3-1 設計用床応答曲線に一律 1.5 倍を考慮 (例)

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 (%)

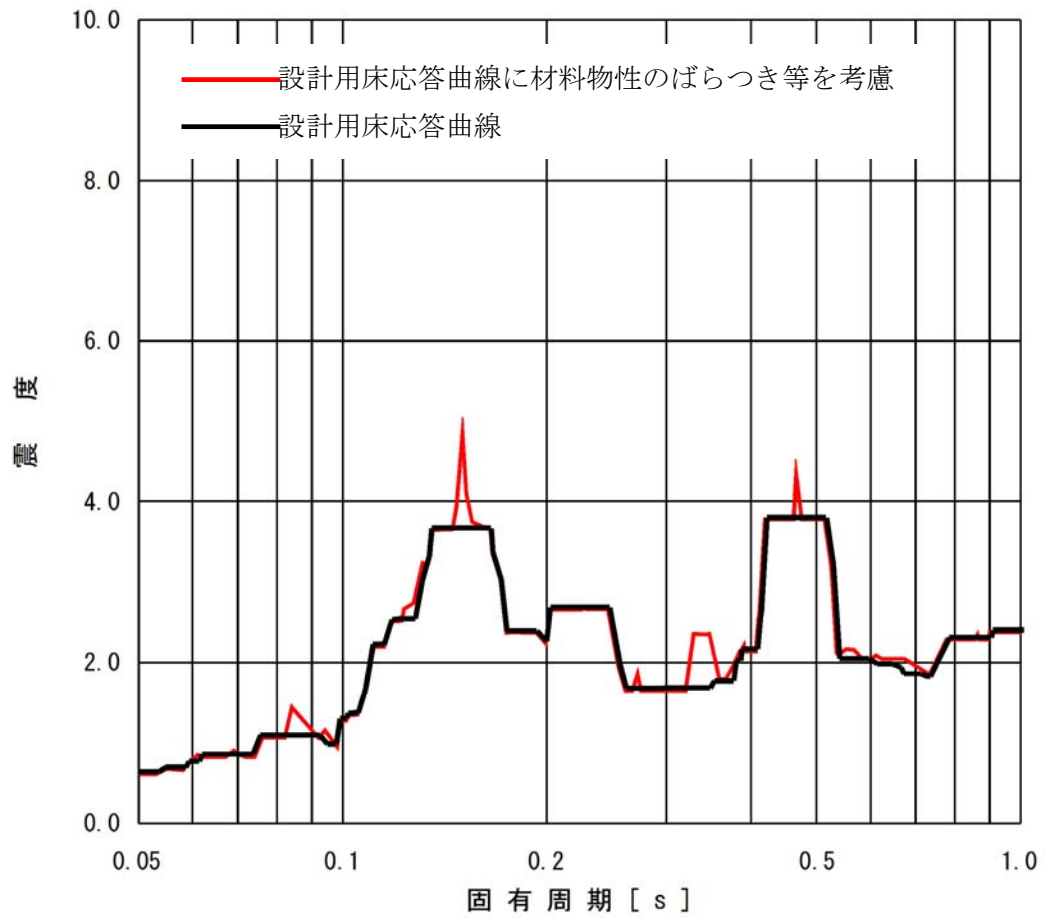


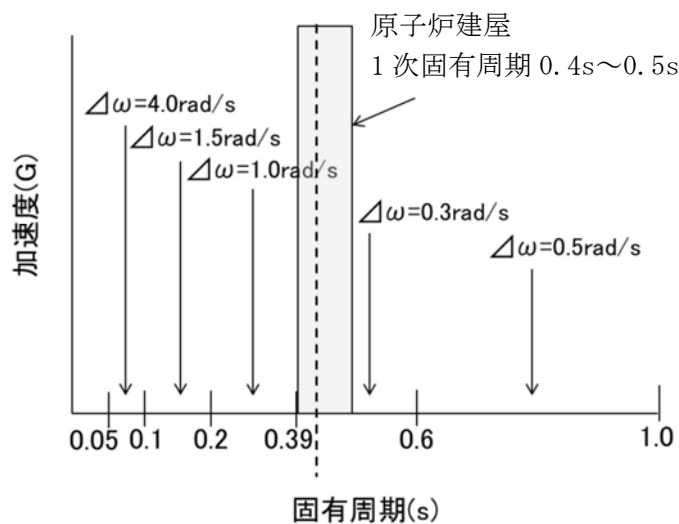
図 3-2 地盤物性等のばらつきを踏まえた考慮 (例)

(参考)

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区分けし、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
	0.500	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
	0.500	10.783185	0.583
0.600	0.300	10.471976	0.600
	0.300	10.771976	0.583
	0.300	11.071976	0.567
	•	•	•
	•	•	•

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

1. 剛柔判定を行う固有周期の考え方

機器・配管系の耐震設計では、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d に対して動的解析を行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。その機器・配管系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。

ここで、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 4601-1970 に示されている。

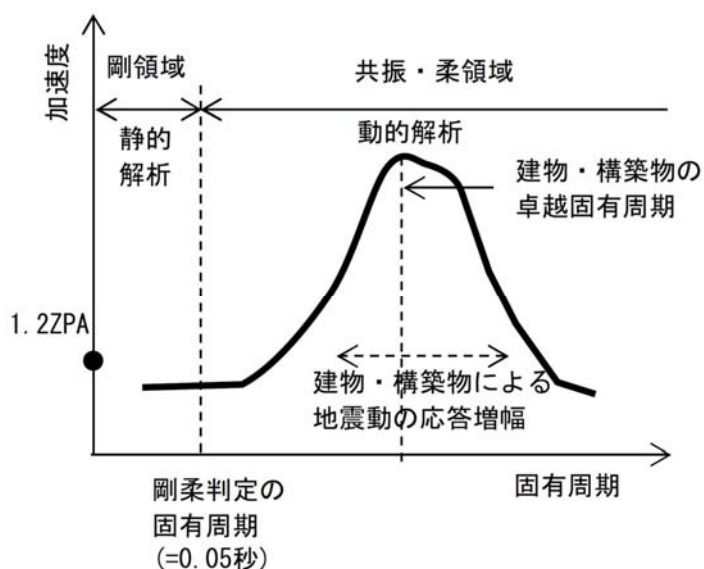


図 1 剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲（概要図）

2. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法

J E A G 4601-1987 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 4601-1987 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 秒以下の場合は剛、0.05 秒を超える場合は柔とする。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 秒を超える場合は地震応答を動的解析により行い、0.05 秒以下の地震応答は動的解析を行うのに代えて静的解析を行う。

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 As 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) As 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 As 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、As、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 4601-1987（抜粋）

3. 実機に対する適用性

J E A G 4601-1987 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 4601-1970 の抜粋を図 3 に示す。J E A G 4601-1970 に示す建物・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。

東海第二発電所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（基準地震動 S_s-D1 の例）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及び鉛直方向とも 0.2 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。また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 に示すが、固有周期 0.05 秒で加速度はおおむね収斂している。

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、東海第二発電所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 4601-1970（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	N S 方向		E W 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. 409	2. 44	0. 411	2. 43
2 次	0. 202	4. 96	0. 202	4. 96

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)
1 次	0. 274	3. 65

屋根トラス部が卓越するモード除く

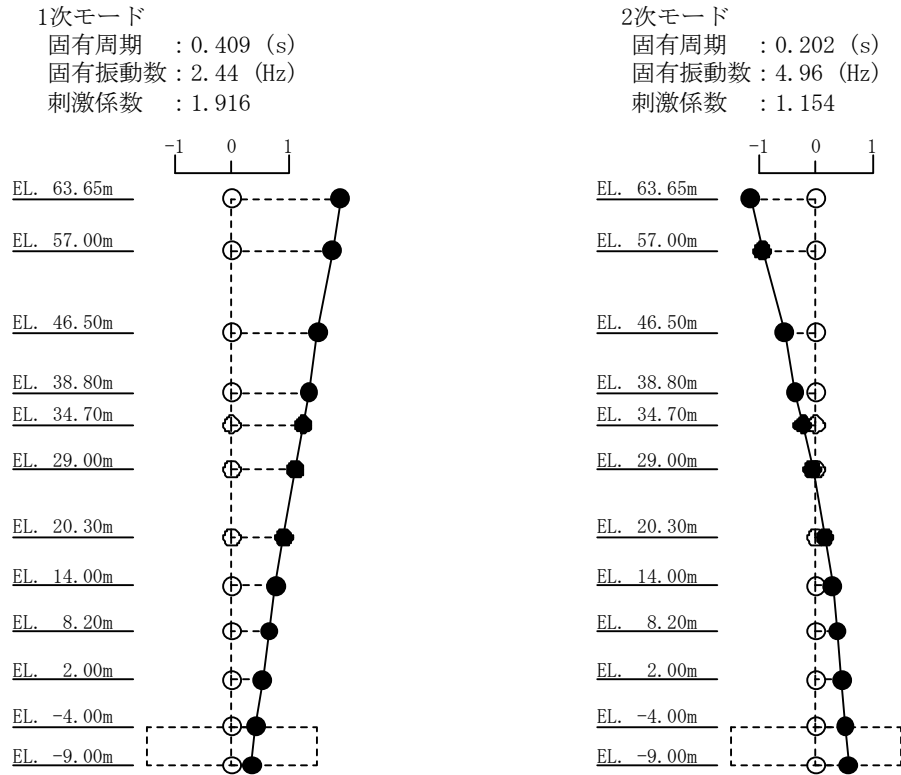


図4 刺激関数図 (S_s -D 1, NS 方向)

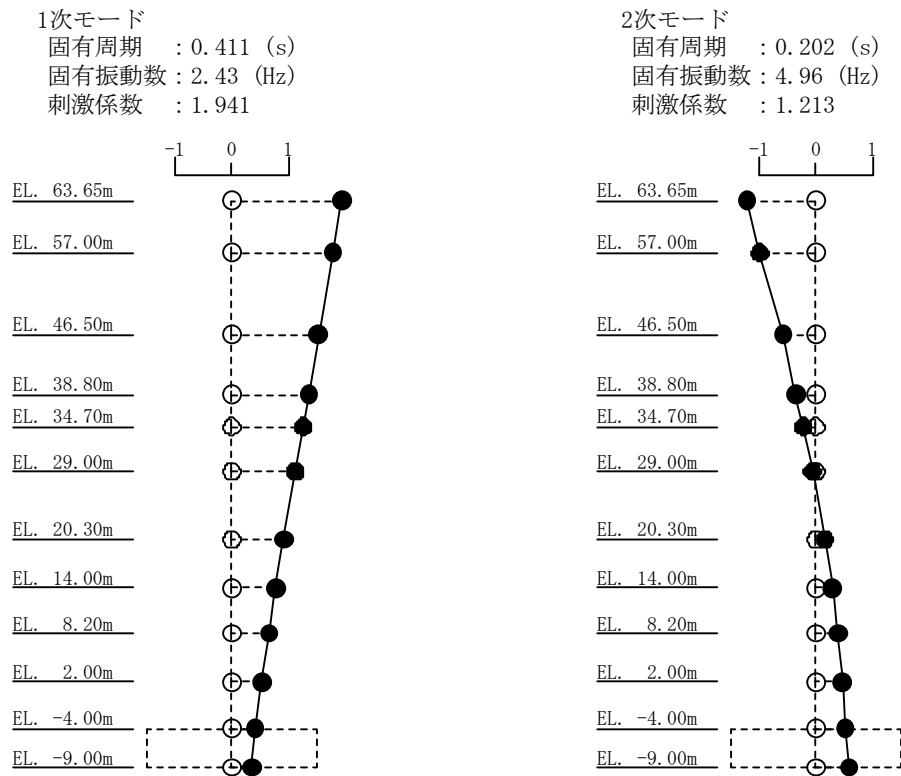


図5 刺激関数図 (S_s -D 1, EW 方向)

1 次モード

固有周期 : 0.274 (s)

固有振動数 : 3.65 (Hz)

刺激係数 : 1.596

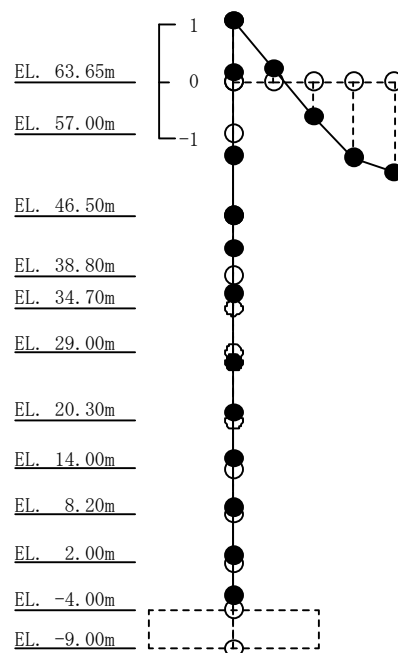


図 6 刺激関数図 ($S_s - D 1$, UD 方向)

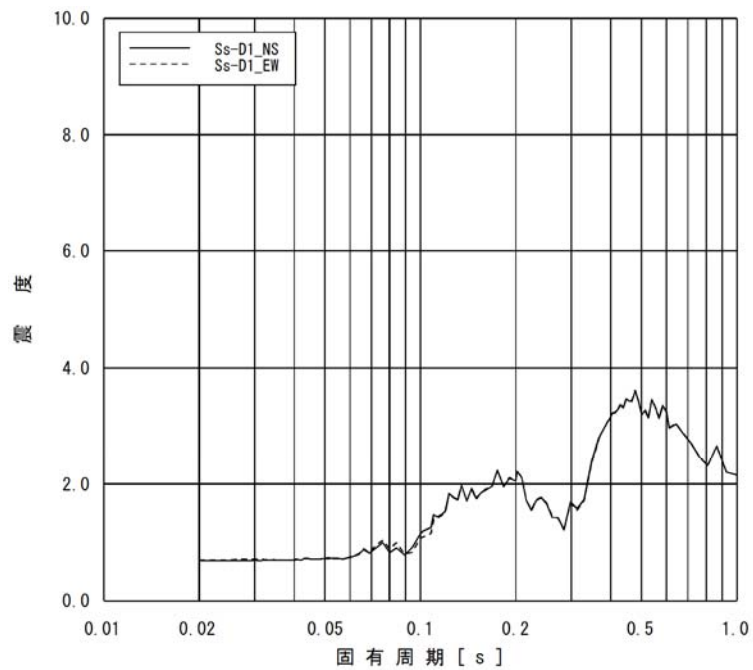


図 7-1 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 1.0%)

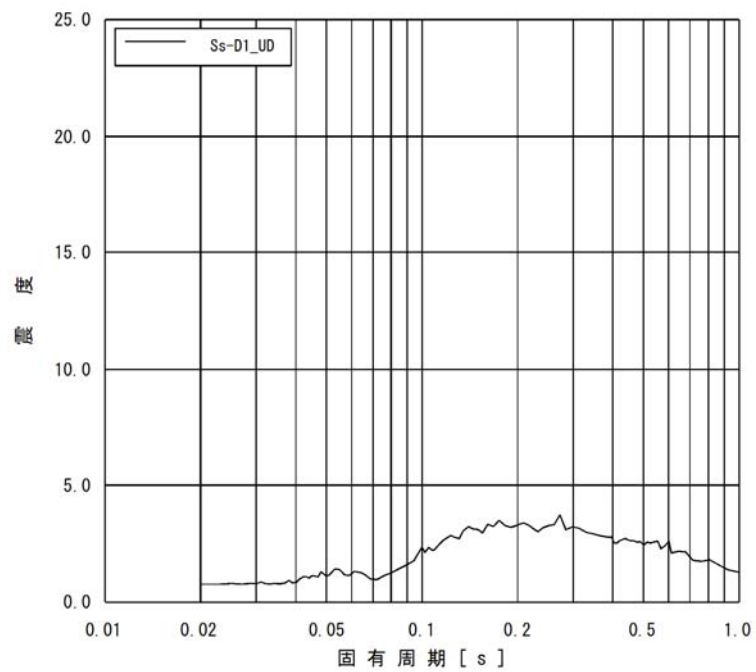


図 7-2 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

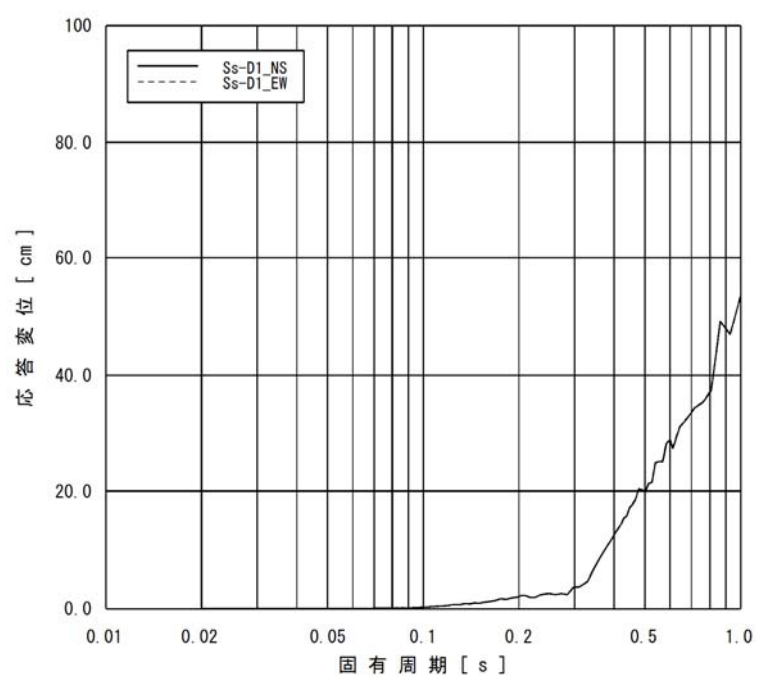


図 8-1 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の変位応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 1.0%)

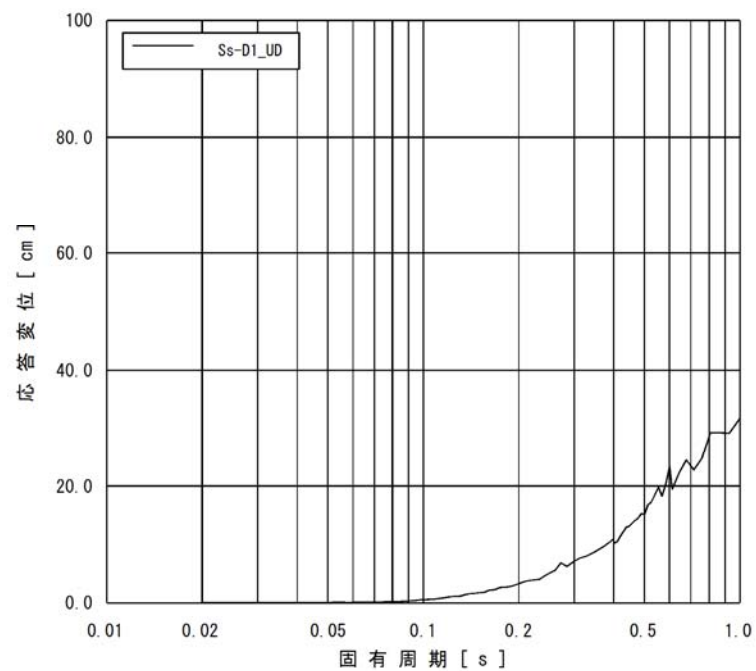


図 8-2 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の変位応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

4. 剛柔判断及び打ち切り振動数に係る検討

(1) 剛柔判断の閾値を 0.05 秒とすることに関連する知見

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。

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考えられている知見を以下に記載する。

- a. J E A G 4601-1987 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振動数を有する場合を掲示している。また、J E A G 4601-1970 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。

J E A G 4601-1987 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 4601-1970 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、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の想定を超えた原子力発電所では被害の発生が無い。

【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）

米国 Perry 原子力発電所（1986 年 Leroy 地震）※

米国 Summer 原子力発電所（1978 年小規模地震多数）※

※出典：EPRI 1988.7 A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake

- 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震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。
- 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

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で発電所(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

- f. 建築構造学大系振動理論 : 振動理論(大崎著)によると、速度応答スペクトルに関して系に与える最大のエネルギーと密接な関係があると述べられている。最大相対変位に角周波数を乗じたものが速度応答スペクトルとなるため、単位質量あたりの最大エネルギーは、速度応答スペクトルで表すことができる。よって、速度応答スペクトルは構造物に対して固有周期に応じて与える一種のエネルギースペクトルであると解釈することが出来る。

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

原子炉格納容器(EL. 39.431m)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 9 に示す。また、同様に変位応答スペクトルを図 10 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値を有するが、構造強度の評価に直接かわる変位応答スペクトル^{*1}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。

* 1 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 4601-1987 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。

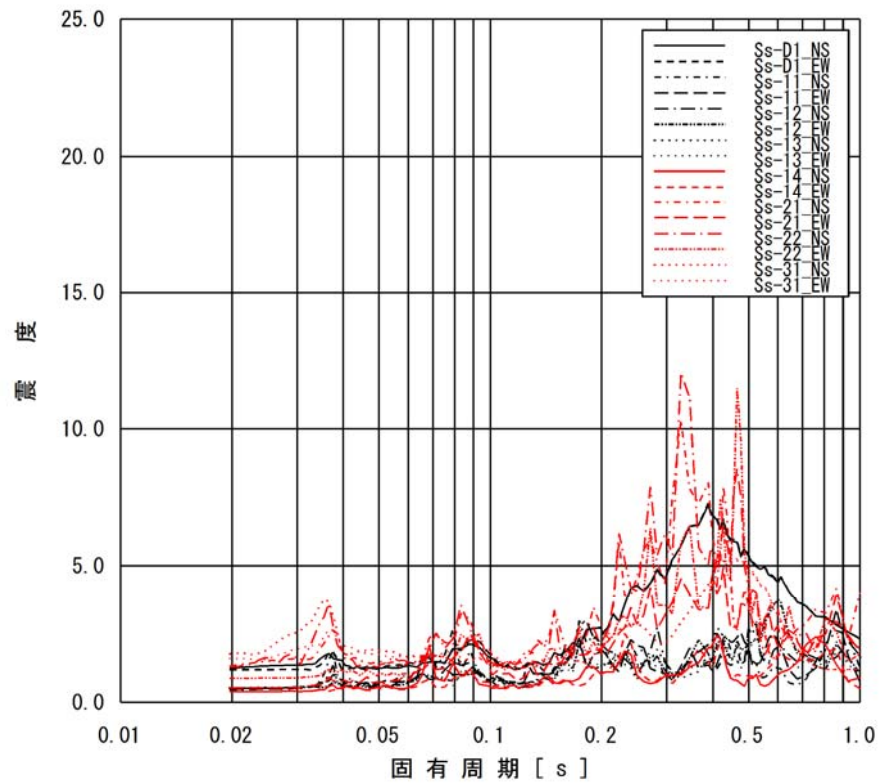


図 9-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

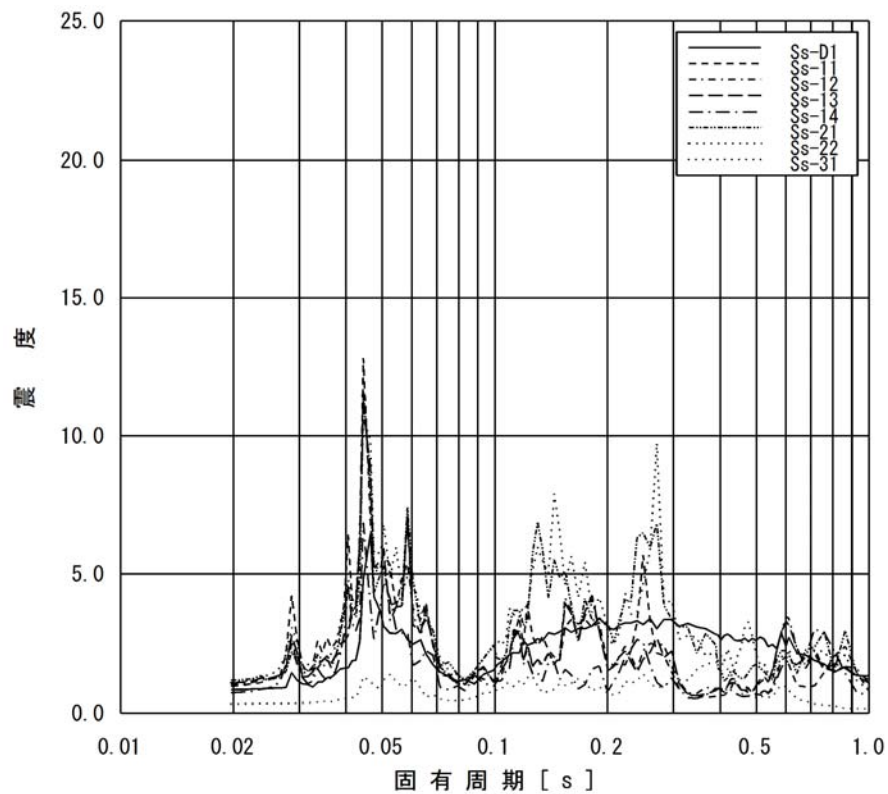


図 9-2 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

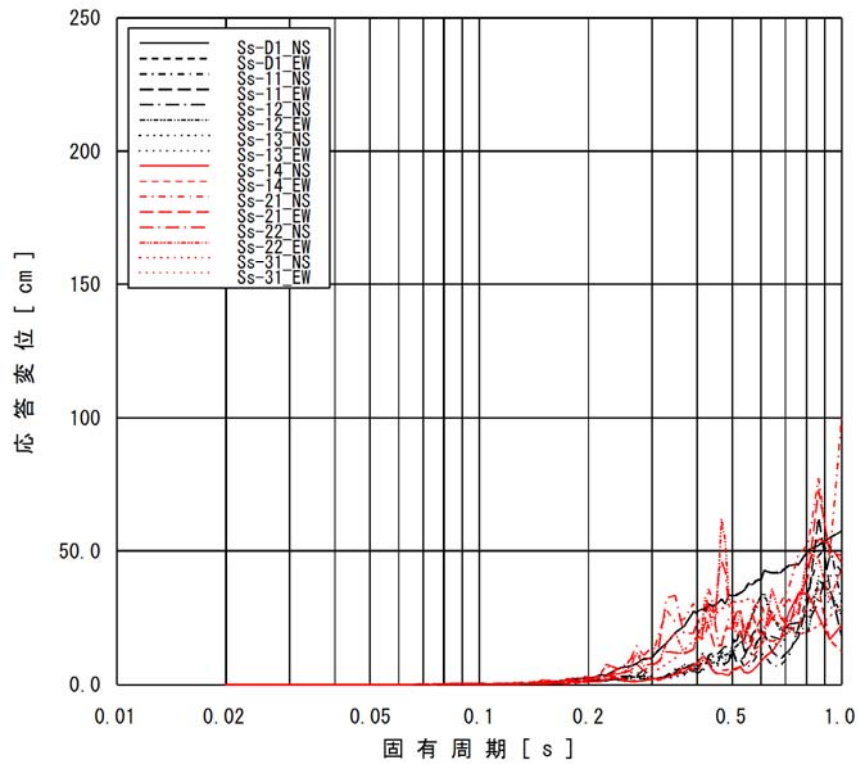


図 10-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の変位応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

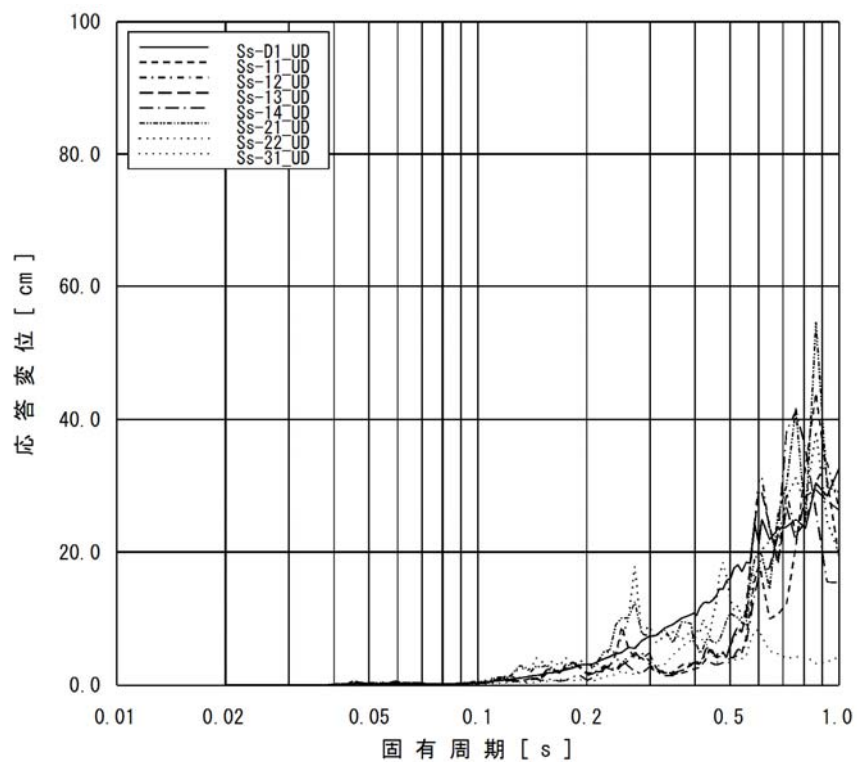


図 10-2 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の変位応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

(3) 動的解析法の妥当性確認

本項では現行の動的解析法が、構造強度設計を行う上で妥当であること、すなわち、変位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。

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構築物の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 までの作成としていることを踏まえて、1 次固有周期が 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

代表構築物の設計用床応答曲線の傾向を確認する。代表構築物の設計用床応答曲線を添付図 1～添付図 6 に、最大応答加速度（1.2ZPA）を添付表 1～添付表 3 に示す。なお、添付図及び添付表の設計用床応答曲線及び最大応答加速度（1.2ZPA）は設計上の配慮として 1.5 倍したものである。

- ・ 原子炉建屋

水平及び鉛直ともに剛領域になるに従って加速度値が低下傾向にあり 20Hz 近傍に卓越するピークはない。

- ・ 原子炉格納容器

水平方向では下層階にて 20Hz 近傍に卓越する応答を有する。鉛直方向では全階層で 20Hz に卓越する応答を有する。

- ・ 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎

水平及び鉛直ともに剛領域になるに従って加速度値が低下傾向にあり 20Hz 近傍に卓越するピークはない。

上述した各構築物の設計用床応答曲線の傾向として原子炉建屋、原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の応答については、剛領域になるに従って加速度値は低下傾向にあり、20Hz 近傍に卓越する応答はないため、20Hz 近傍に卓越する応答を有する原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し評価する設備に対して検討を行う。

原子炉格納容器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。動的解析法の妥当性確認のための検討対象設備については、設計用床応答曲線の加速度値が最も大きい原子炉格納容器上層階 EL. 39.431m の設計用床応答曲線を適用する原子炉隔離時冷却系配管を対象として検討する。

表3 原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用する設備

設備名称	評価に適用する 設計用床応答曲線	固有振動数
原子炉隔離時冷却系配管	原子炉格納容器 EL. 39.431	1次：12.60Hz 7次：29.30Hz 2次：15.10Hz 8次：32.82Hz 3次：21.18Hz 9次：35.54Hz 4次：22.23Hz 10次：39.90Hz 5次：25.02Hz 11次：44.48Hz 6次：27.24Hz 12次：48.69Hz
機器搬入用ハッチ	原子炉格納容器 EL. 16.319 EL. 13.523	1次：5.5Hz 2次：8.1Hz 3次：12.4Hz 4次：27.3Hz
所員用エアロック	原子炉格納容器 EL. 16.319 EL. 13.523	1次：6.1Hz 2次：7.4Hz 3次：13.0Hz
サプレッション・チェン バアクセスハッチ	原子炉格納容器 EL. 5.141 EL. 3.787	1次：4.4Hz 2次：8.6Hz 3次：12.4Hz
ベント管	原子炉格納容器 EL. 13.523 (水平のみ)	1次：6.4Hz 2次：26.4Hz
残留熱除去系ストレーナ (高圧炉心スプレイ系スト レーナ及び低圧炉心スプ レイ系ストレーナを含む)	原子炉格納容器 EL. -0.013	水平方向 1次：12.3Hz 2次：21.1Hz 鉛直方向 1次：23.2Hz
格納容器スプレイヘッダ	原子炉格納容器 EL. 11.191 EL. 13.523	1次：19.06Hz 10次：24.96Hz 2次：19.33Hz 11次：25.32Hz 3次：20.21Hz 12次：25.78Hz 4次：20.39Hz 13次：27.41Hz 5次：21.16Hz 14次：28.93Hz 6次：21.41Hz 15次：30.35Hz 7次：22.08Hz 16次：30.93Hz 8次：22.37Hz 17次：30.97Hz 9次：24.12Hz 18次：32.89Hz

(b) 1 次固有周期が 20Hz 近傍に有する設備

原子炉建屋に設置される配管系において、20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する配管系を選定する。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 19.592Hz、2 次として 21.867Hz の振動モードを有する可燃性ガス濃度制御系配管(モデル No. FC-2)を選定する。

b. 確認方法

図 11 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。

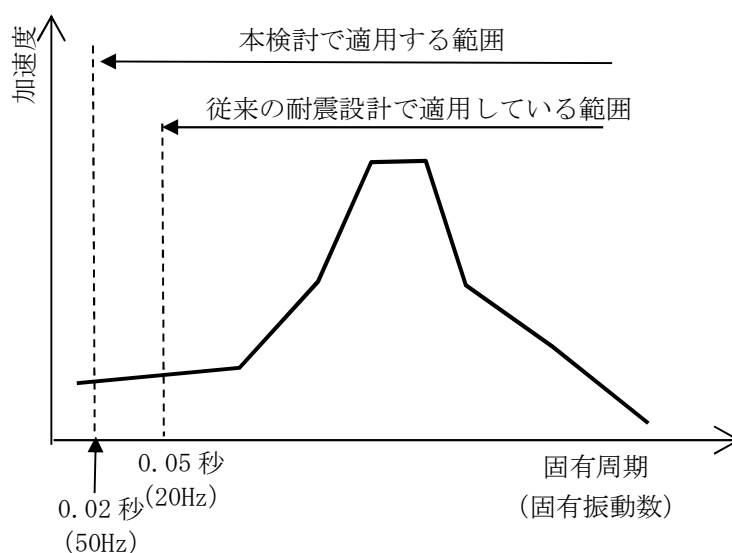


図 11 地震応答解析で考慮する固有振動数領域

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 12 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。

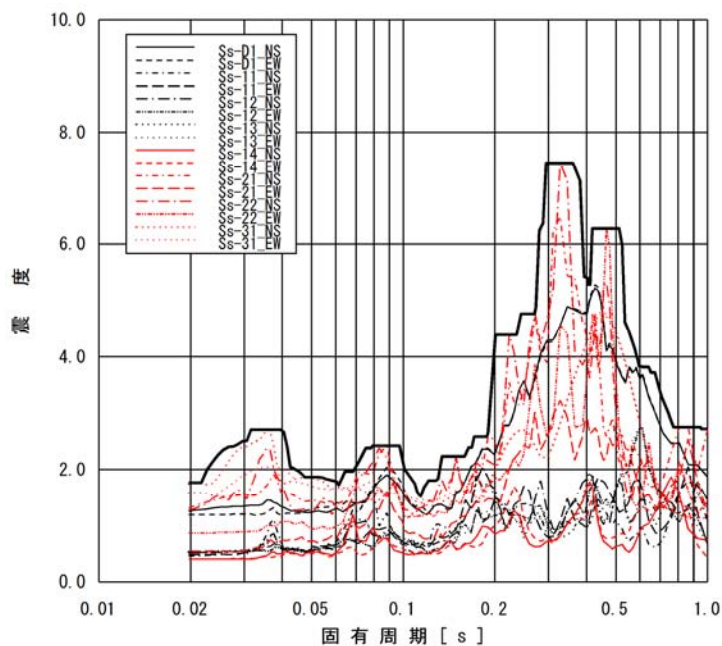


図 12-1 検討用床応答曲線 (原子炉隔離時冷却系配管用)
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 水平方向, 減衰定数 2.5%)

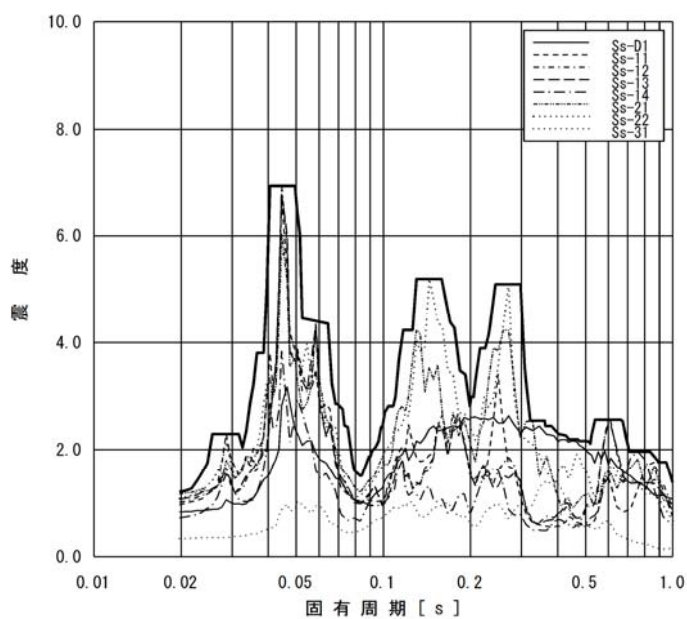


図 12-2 検討用床応答曲線 (原子炉隔離時冷却系配管用)
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 鉛直方向, 減衰定数 2.5%)

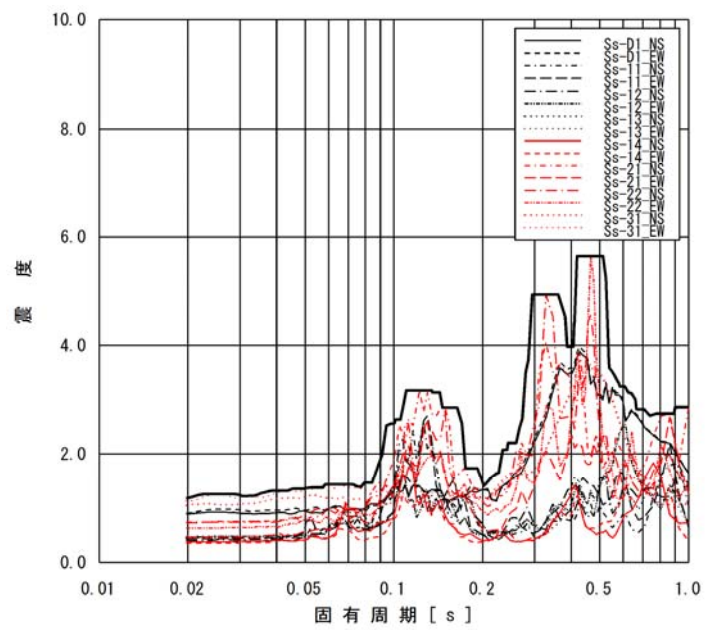


図 12-3 検討用床応答曲線（可燃性ガス濃度制御系配管用）
（原子炉建屋 EL. 20.3m 水平方向，減衰定数 2.0%）

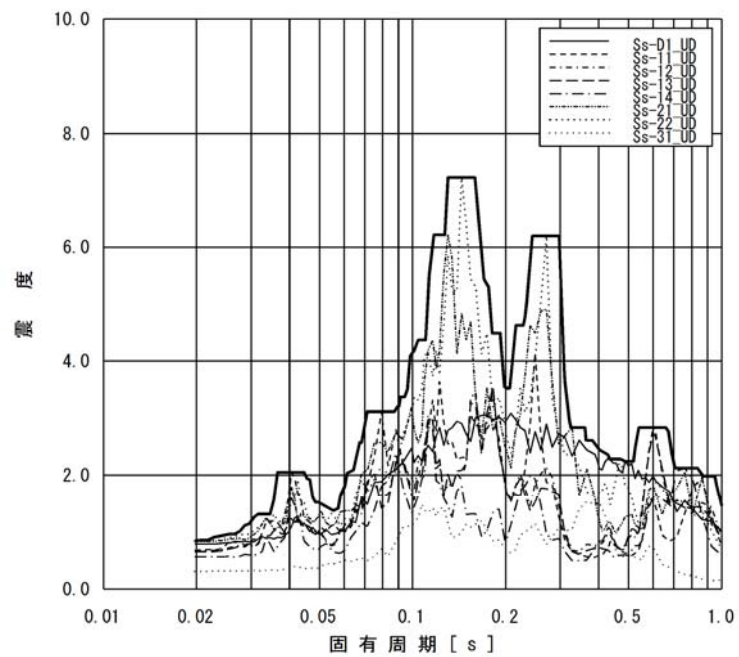


図 12-4 検討用床応答曲線（可燃性ガス濃度制御系配管用）
（原子炉建屋 EL. 20.3m 鉛直方向，減衰定数 2.0%）

表 4 円振動数の計算間隔

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	1.0
0.39 ~ 0.6	0.3
0.6 ~ 1.0	0.5

d. 解析結果

検討対象設備の原子炉隔離時冷却系配管及び可燃性ガス濃度制御系配管の主要諸元について別紙 1 示す。また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。なお、以下に示す解析結果は、設計用床応答曲線等の震度を 1.5 倍した値を用いた結果として示している。

(a) 原子炉隔離時冷却系配管

評価結果を表 5 に示すとともに、最大応力点発生部位を図 13 に示す。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 146MPa 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 148MPa であり、応力値は増加したものの、その増加は僅かであることが確認された。

表 5 原子炉隔離時冷却系配管の評価結果

		1 次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	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)	146	364
	静的解析 (1.2ZPA)	94	
	包絡値	146	
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)	148	364

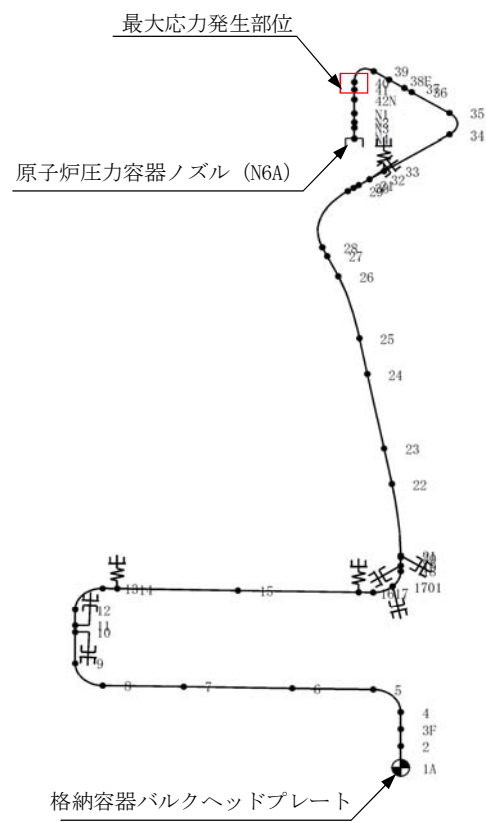


図 13 原子炉隔離時冷却系配管の最大応力発生部位

(b) 可燃性ガス濃度制御系配管

評価結果を表 6 に示すとともに、最大応力点発生部位を図 14 に示す。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 124MPa 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 134MPa であった。また 1.2ZPA を用いた静的解析による評価結果は 133MPa であった。

以上のとおり現行の手法による評価結果は 133MPa となり、妥当性検討用として実施した評価結果 134MPa に対して応力値は増加したものの、その増加は僅かであることが確認された。

以上のとおり、原子炉隔離時冷却系配管及び可燃性ガス濃度制御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値の増加は僅かであった。

応力値の増加が僅かである理由としては、図 10 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、配管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も有意な応力の上昇が現れなかったものと考えられる。

表 5 可燃性ガス濃度制御系配管の評価結果

		1 次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	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)	124	363
	静的解析 (1.2ZPA)	133	
	包絡値	133	
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)	134	363

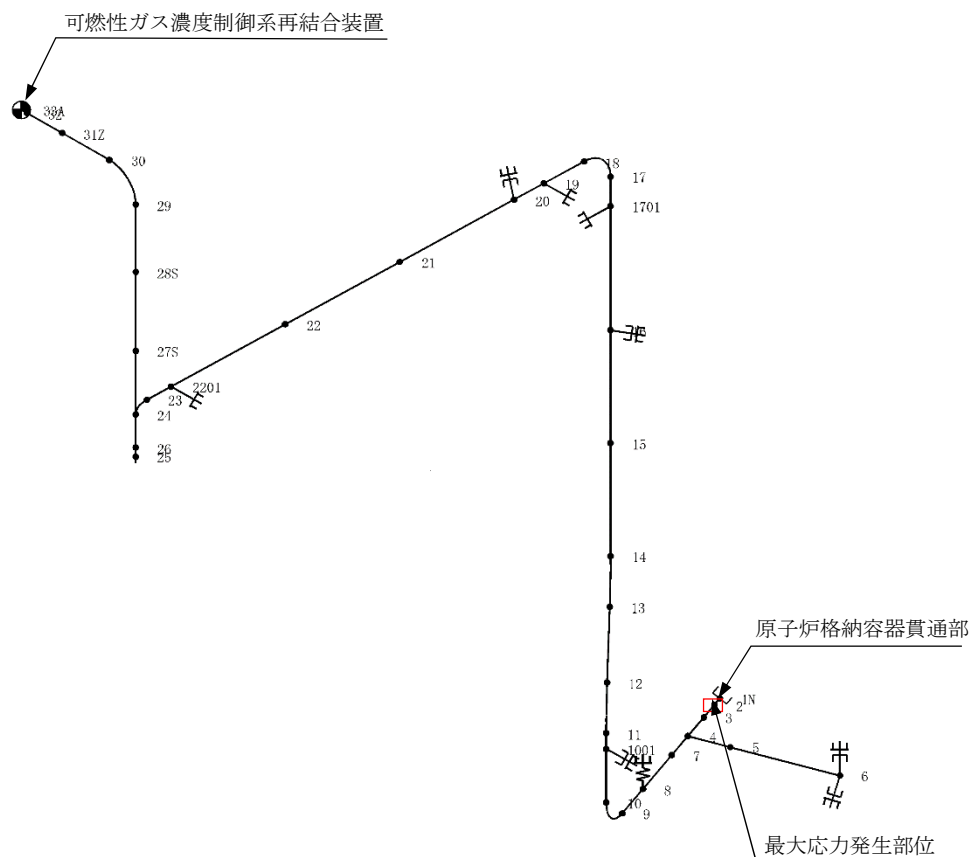


図 13 可燃性ガス濃度制御系配管の最大応力発生部位

対象検討設備の主要諸元について

1. 原子炉隔離時冷却系配管

原子炉隔離時冷却系配管の主要仕様を表 1 に、解析モデル図を図 1 に、固有振動数及び刺激係数を表 2 に、主要次数のモード図を図 2 に示す。

表 1 原子炉隔離時冷却系配管の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	8.62
最高使用温度 (℃)	302
外 径 (mm)	165.2
厚 さ (mm)	14.3
材 料	GSTPL 相当 (ASME SA333Gr. 6)

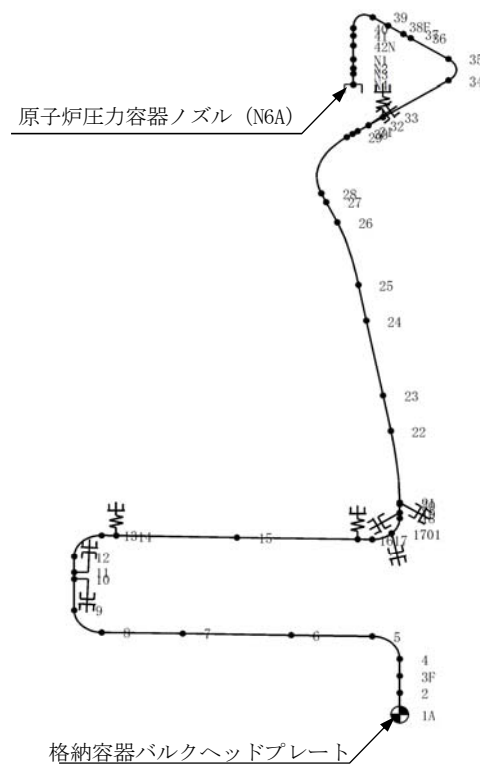
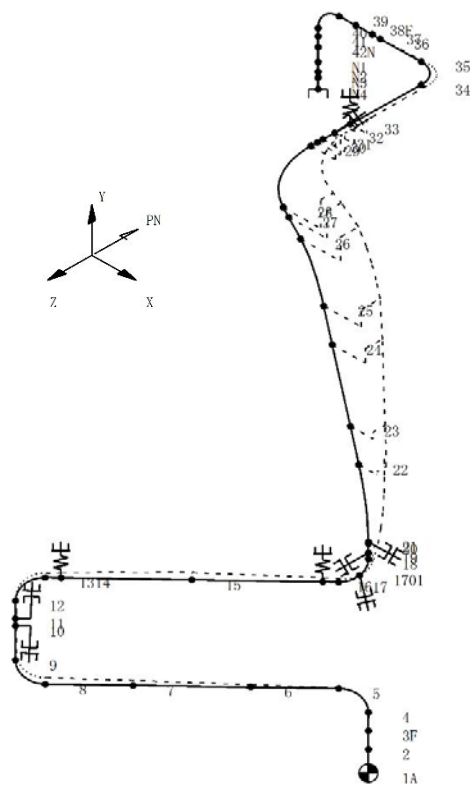


図 1 原子炉隔離時冷却系配管の解析モデル図

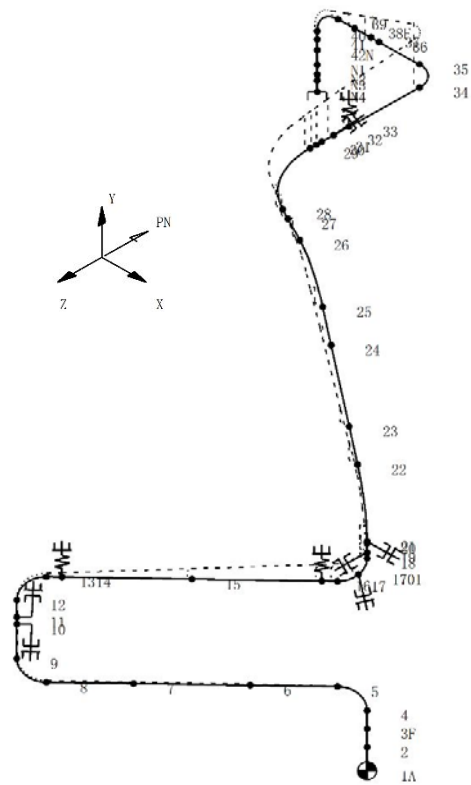
表 2 原子炉隔離時冷却系配管の固有振動数及び刺激係数

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
1 次	12.60	0.079	0.160	0.093	0.084	2.41	2.41	1.71
2 次	15.10	0.066	0.096	0.286	0.008	1.97	1.97	3.68
3 次	21.18	0.047	0.088	0.069	0.006	1.91	1.91	6.93
4 次	22.23	0.045	0.131	0.148	0.051	2.00	2.00	6.93
5 次	25.02	0.040	0.053	0.059	0.204	2.72	2.72	4.98
6 次	27.24	0.037	0.100	0.015	0.193	2.72	2.72	3.64
7 次	29.30	0.034	0.107	0.081	0.123	2.72	2.72	2.42
8 次	32.82	0.030	0.017	0.027	0.160	2.51	2.51	2.30
9 次	35.54	0.028	0.023	0.028	0.007	2.43	2.43	2.30
10 次	39.90	0.025	0.101	0.010	0.081	2.28	1.79	2.28
11 次	44.48	0.022	0.009	0.004	0.024	1.89	1.34	1.89
12 次	48.69	0.021	0.092	0.009	0.092	1.77	1.22	1.77

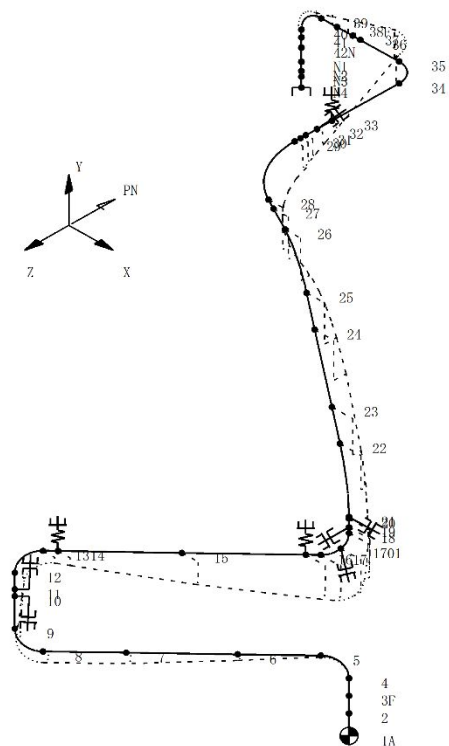
* モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリクス積から算出した値（以下、同様）



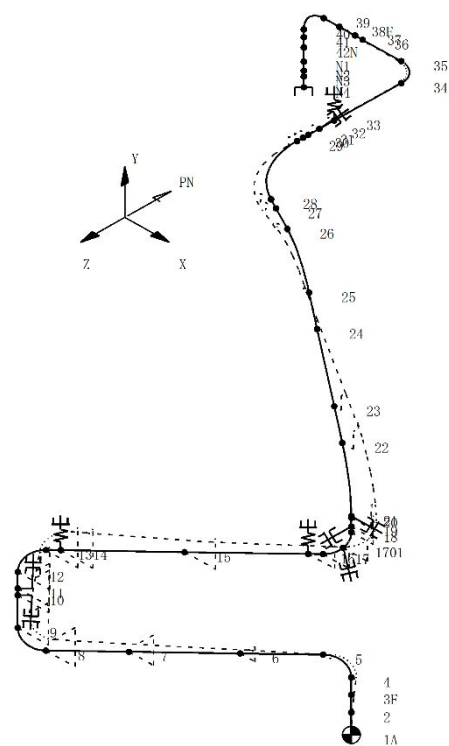
振動モード図（1次）
固有振動数：12.60 Hz



振動モード図（2次）
固有振動数：15.10 Hz



振動モード図（3次）
固有振動数：21.18 Hz



振動モード図（4次）
固有振動数：22.23 Hz

図2 原子炉隔離時冷却系配管のモード図

2. 可燃性ガス濃度制御系配管

可燃性ガス濃度制御系配管の主要仕様を表 3 に、解析モデル図を図 3 に、固有振動数及び刺激係数を表 4 に、主要次数のモード図を図 4 に示す。

表 3 可燃性ガス濃度制御系配管の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	0.31
最高使用温度 (℃)	171
外 径 (mm)	60.5 114.3
厚 さ (mm)	5.5 6.0
材 料	STPL39 相当 (ASME SA333Gr. 6) STPT42

上段、下段の記載があるものは、上段が図 3 に示す質点 No. 1N~2 に該当し、下段が質点 No. 3~33A に該当する。

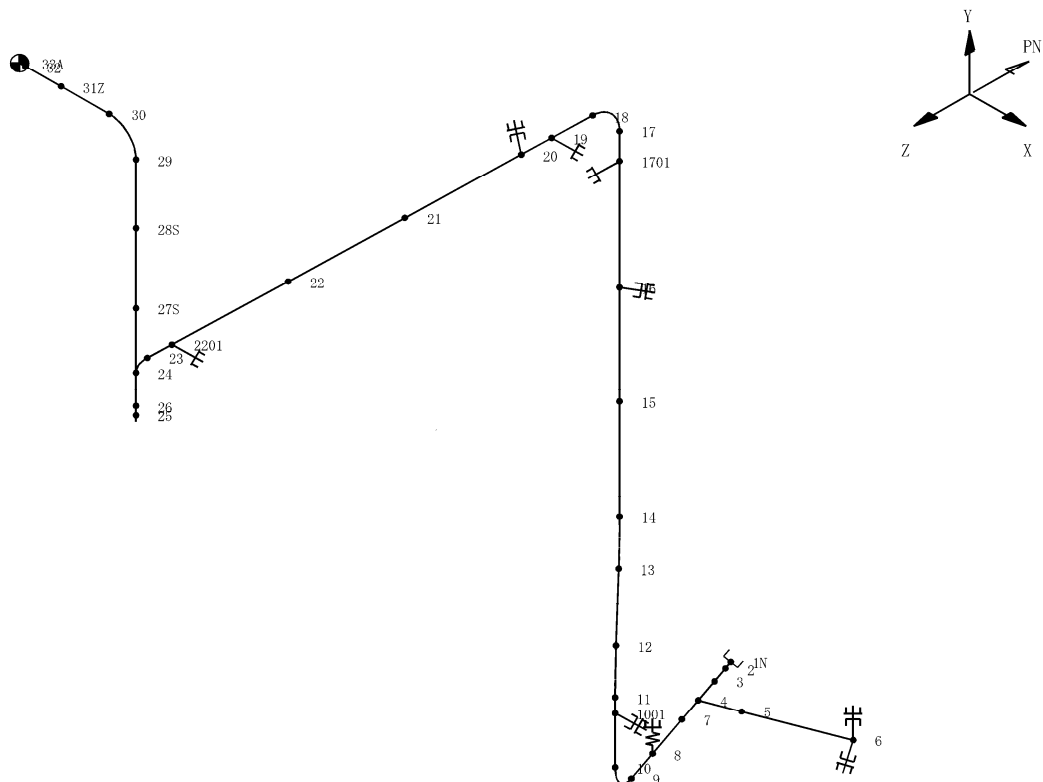
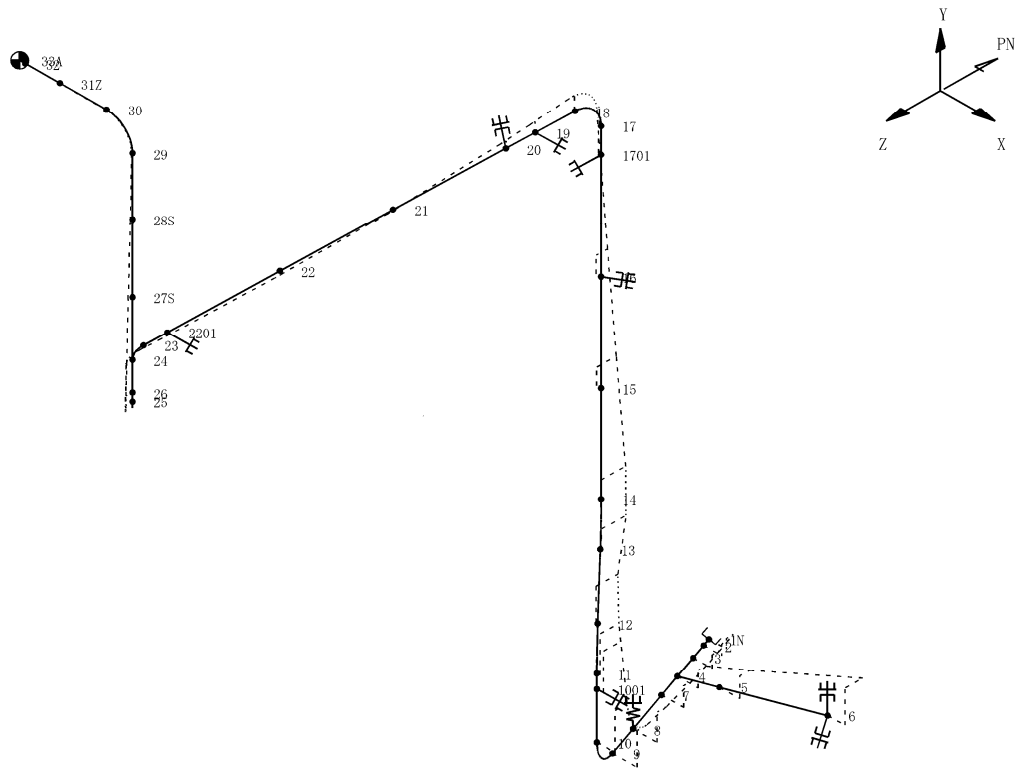


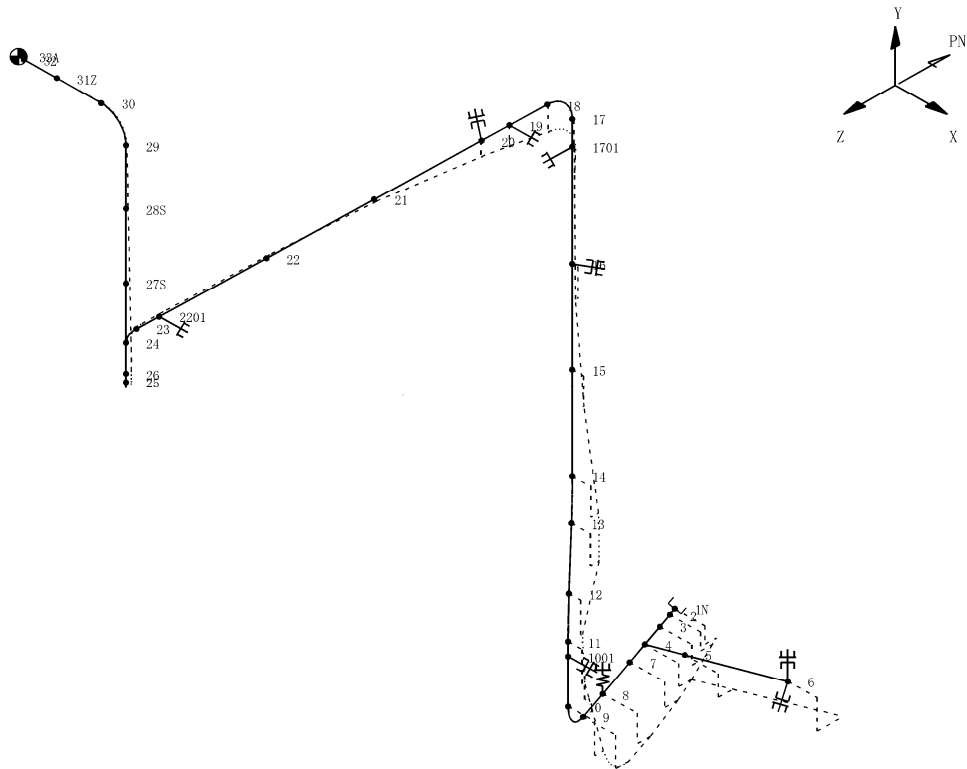
図 3 可燃性ガス濃度制御系配管の解析モデル図

表 4 可燃性ガス濃度制御系配管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
1 次	19.59	0.051	0.077	0.136	0.067	1.37	1.37	1.51
2 次	21.87	0.046	0.112	0.114	0.078	1.36	1.36	1.98
3 次	25.34	0.039	0.000	0.006	0.010	1.32	1.32	2.06
4 次	29.92	0.033	0.098	0.006	0.106	1.23	1.23	1.32
5 次	36.30	0.028	0.029	0.065	0.010	1.26	1.26	1.00
6 次	41.58	0.024	0.025	0.039	0.010	1.26	1.26	0.94
7 次	43.59	0.023	0.020	0.034	0.023	1.26	1.26	0.91
8 次	49.73	0.020	0.022	0.027	0.014	1.19	1.19	0.86

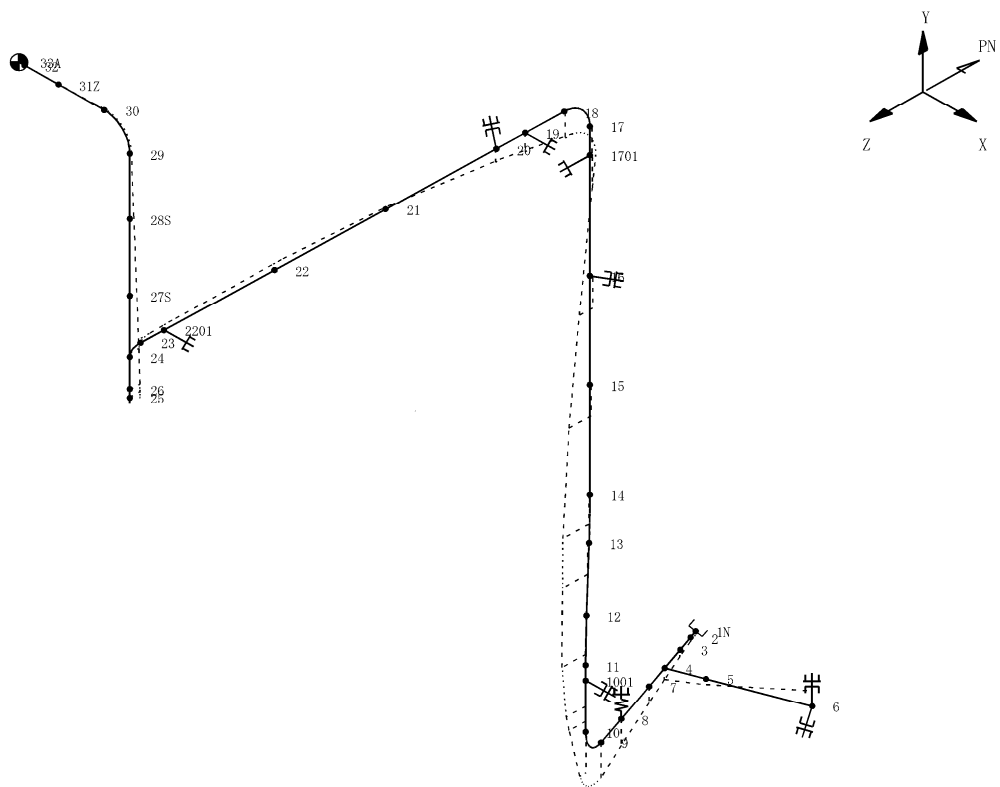


振動モード図 (1 次)
固有振動数 : 19.59 Hz

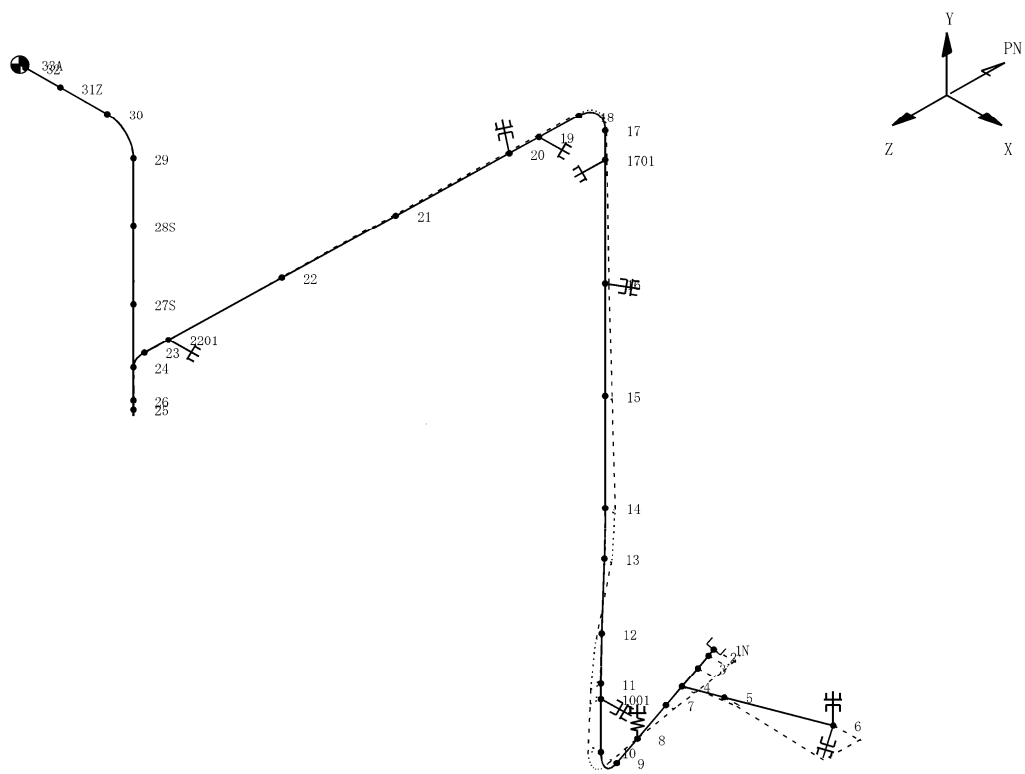


振動モード図 (2 次)
固有振動数 : 21.87 Hz

図 4 (1) 可燃性ガス濃度制御系配管のモード図

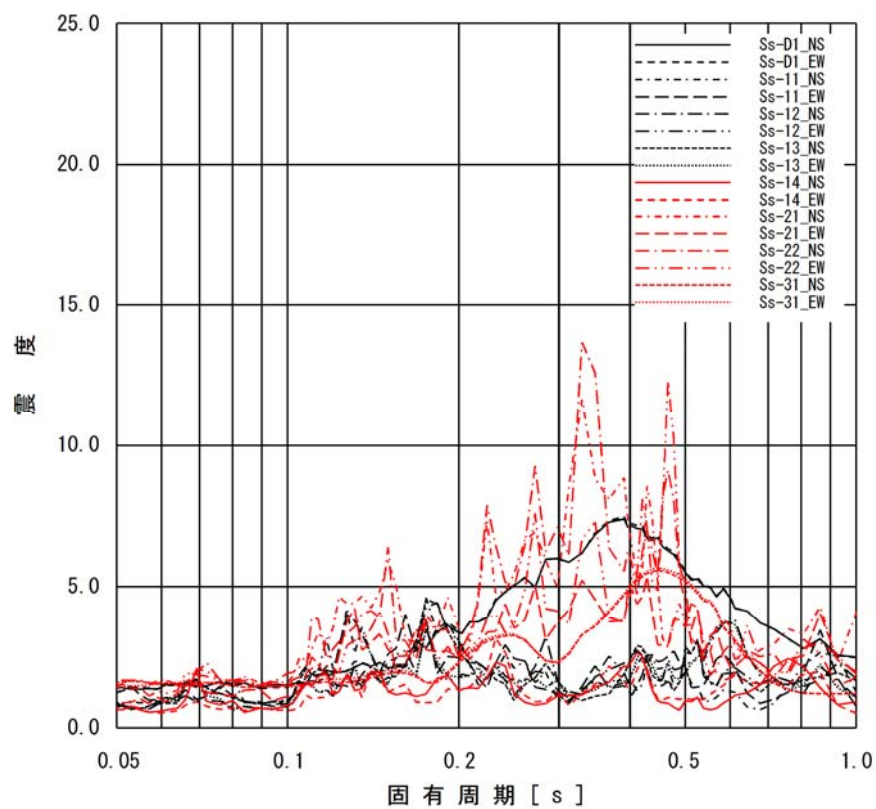


振動モード図 (3 次)
固有振動数 : 25.34 Hz

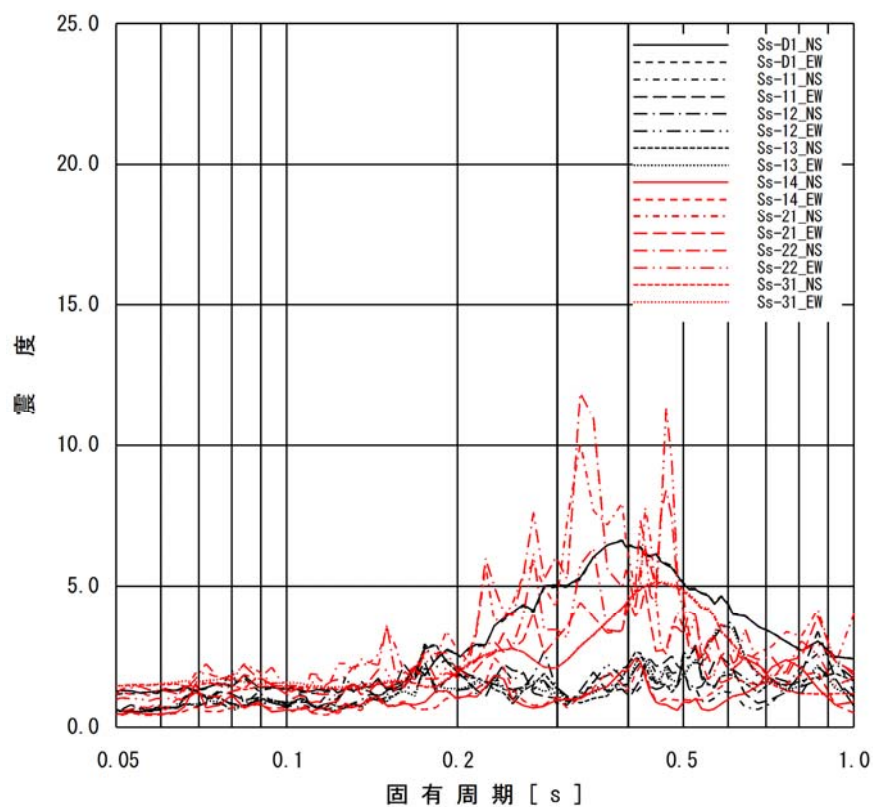


振動モード図 (4 次)
固有振動数 : 29.92 Hz

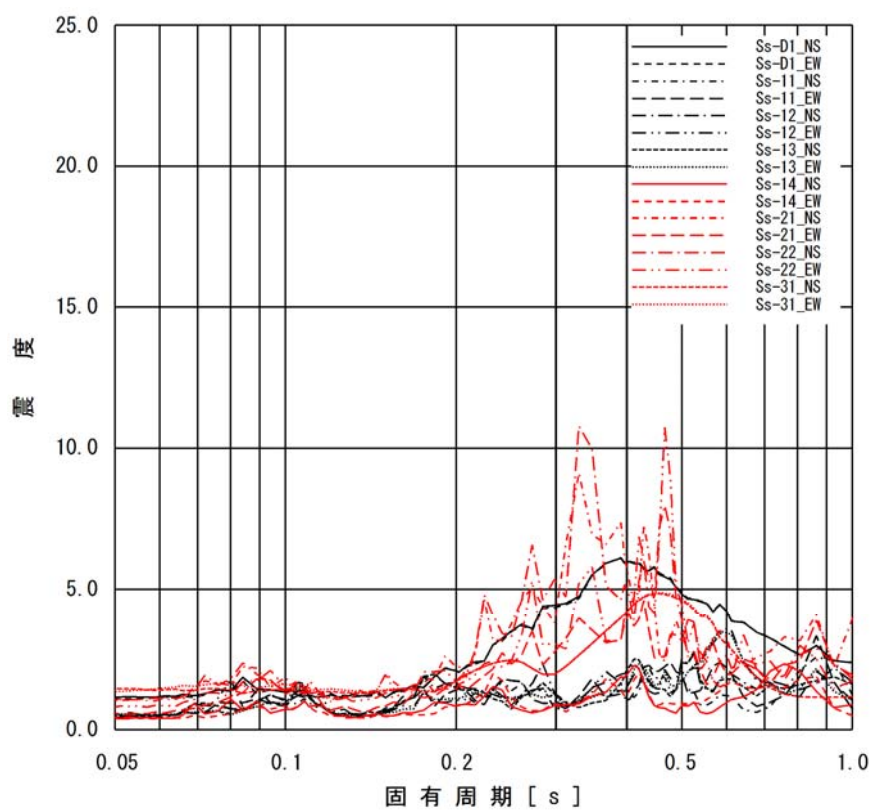
図 4 (2) 可燃性ガス濃度制御系配管のモード図



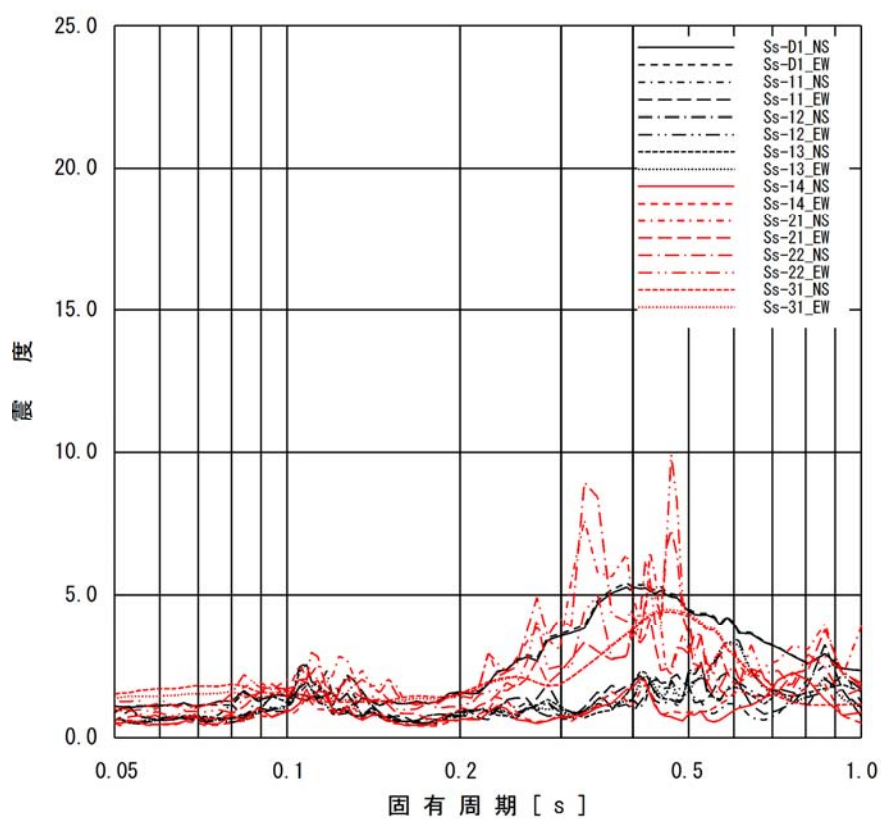
添付図 1-1 原子炉建屋 (EL. 46.5m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



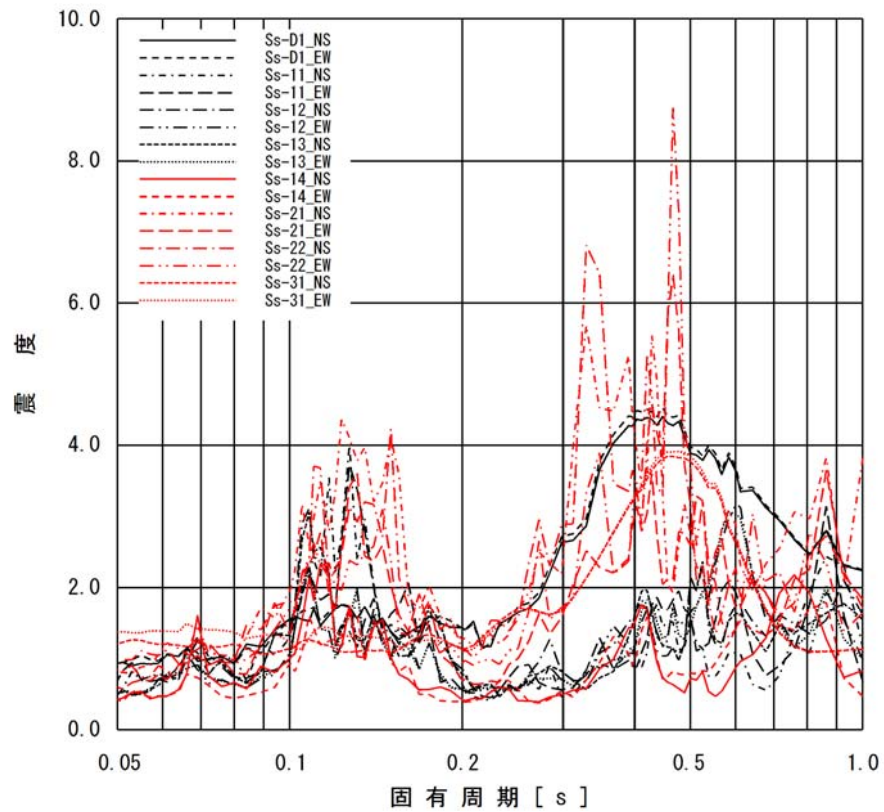
添付図 1-2 原子炉建屋 (EL. 38.8m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



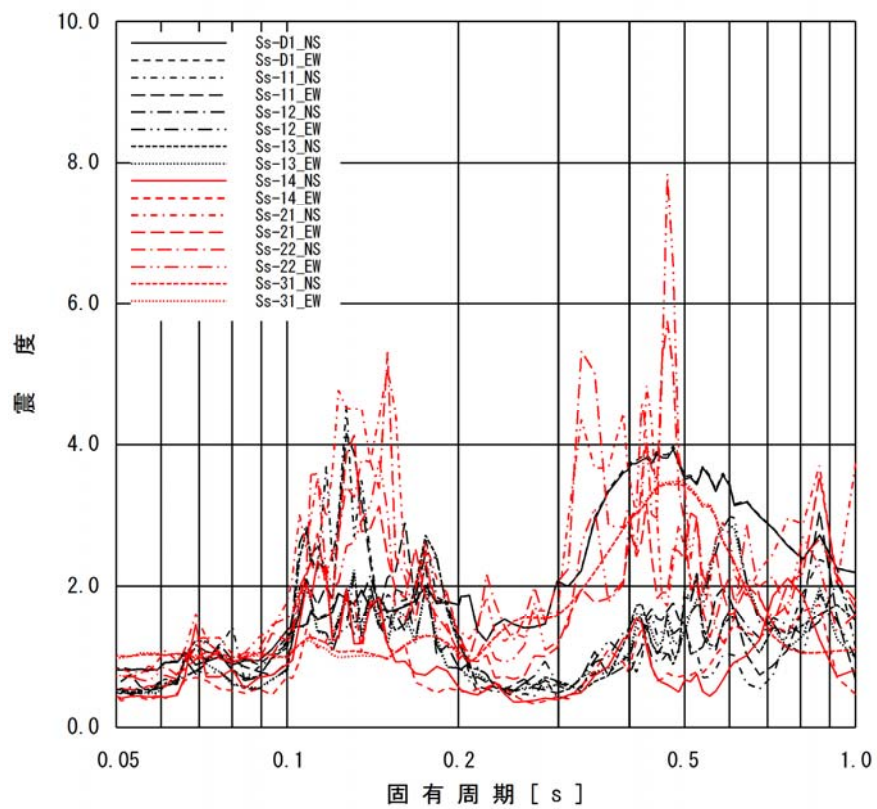
添付図 1-3 原子炉建屋 (EL. 34.7m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



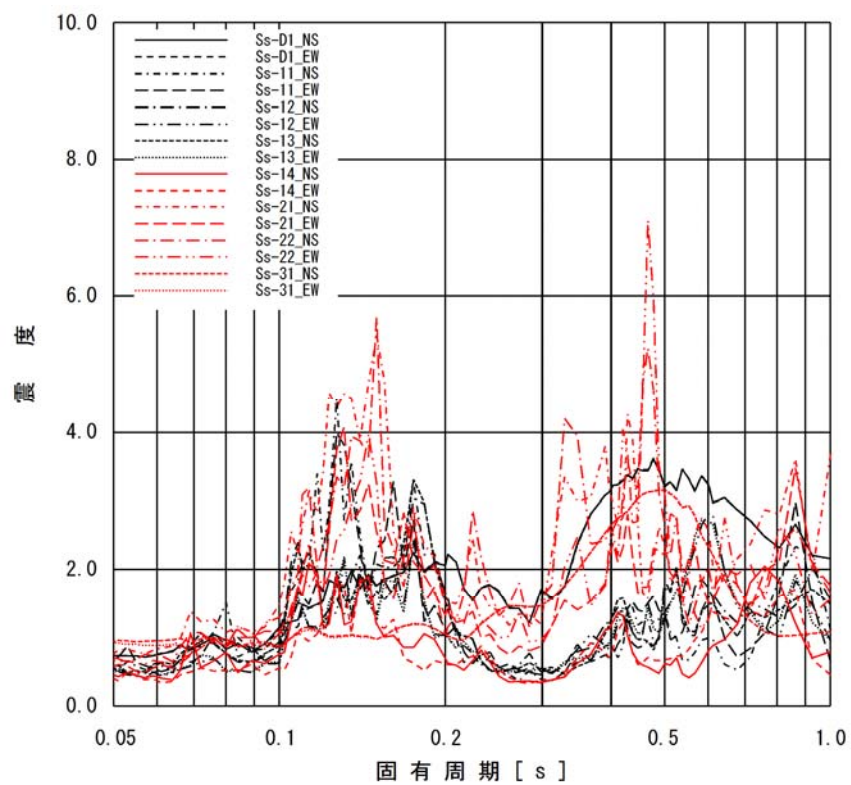
添付図 1-4 原子炉建屋 (EL. 29.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



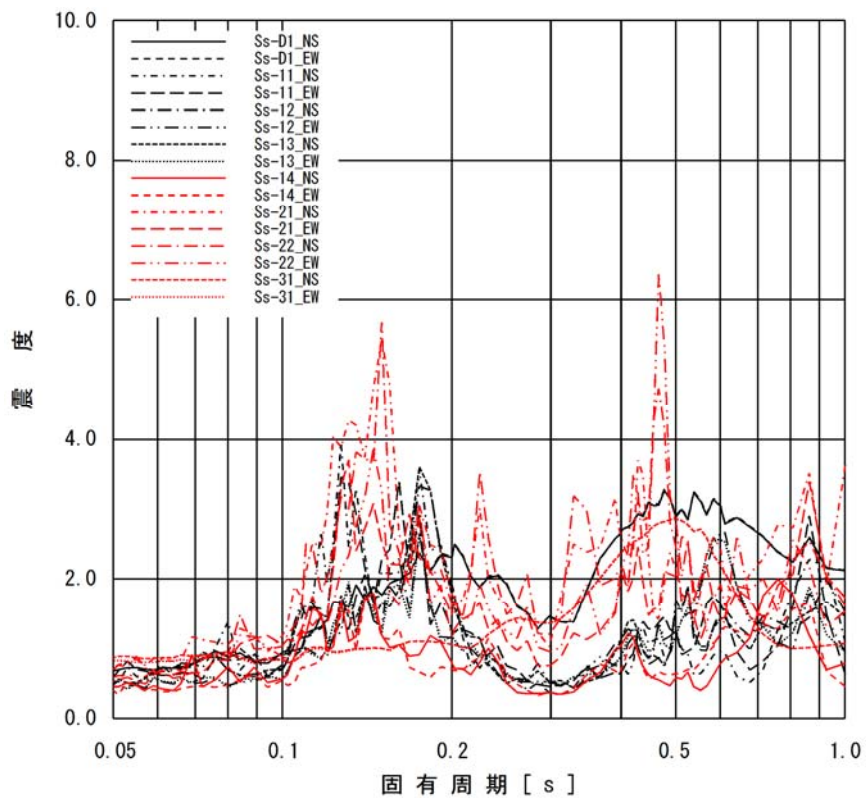
添付図 1-5 原子炉建屋 (EL. 20.3m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



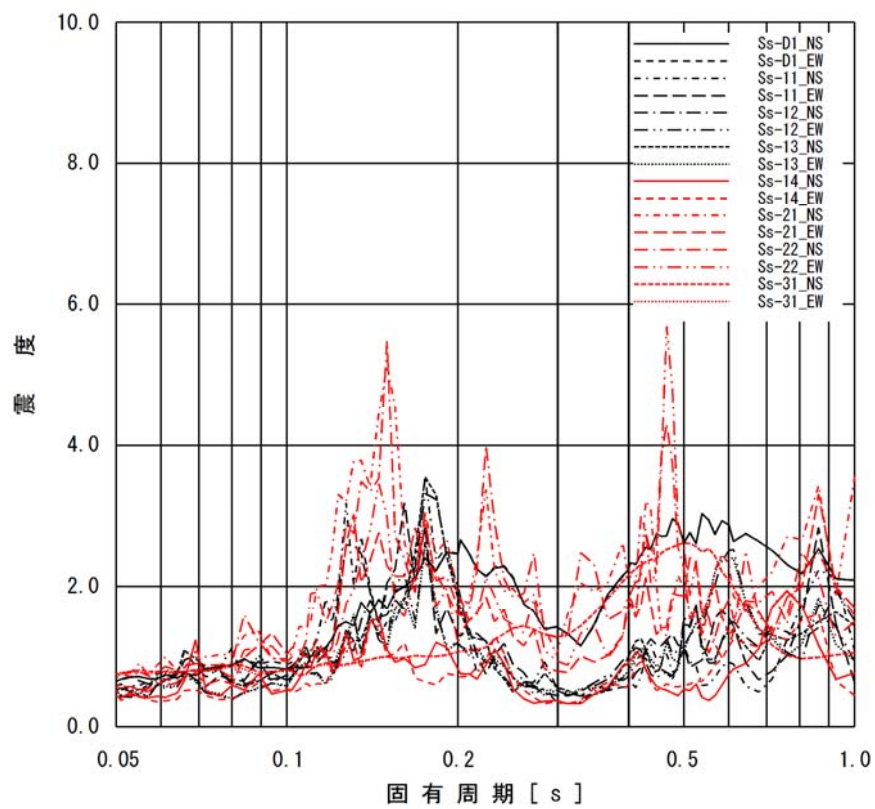
添付図 1-6 原子炉建屋 (EL. 14.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



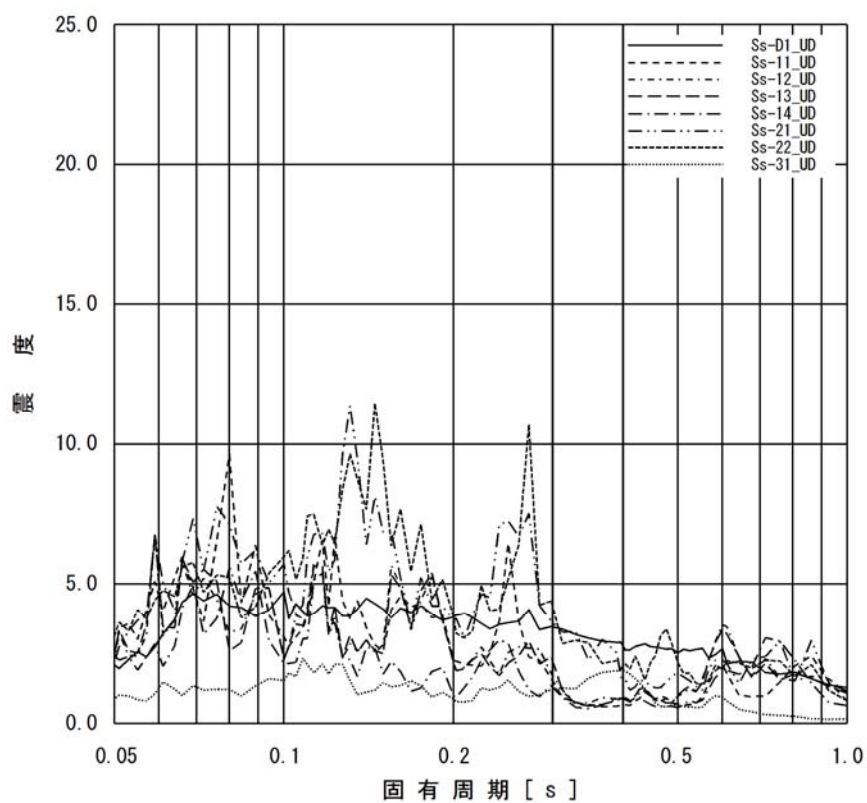
添付図 1-7 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



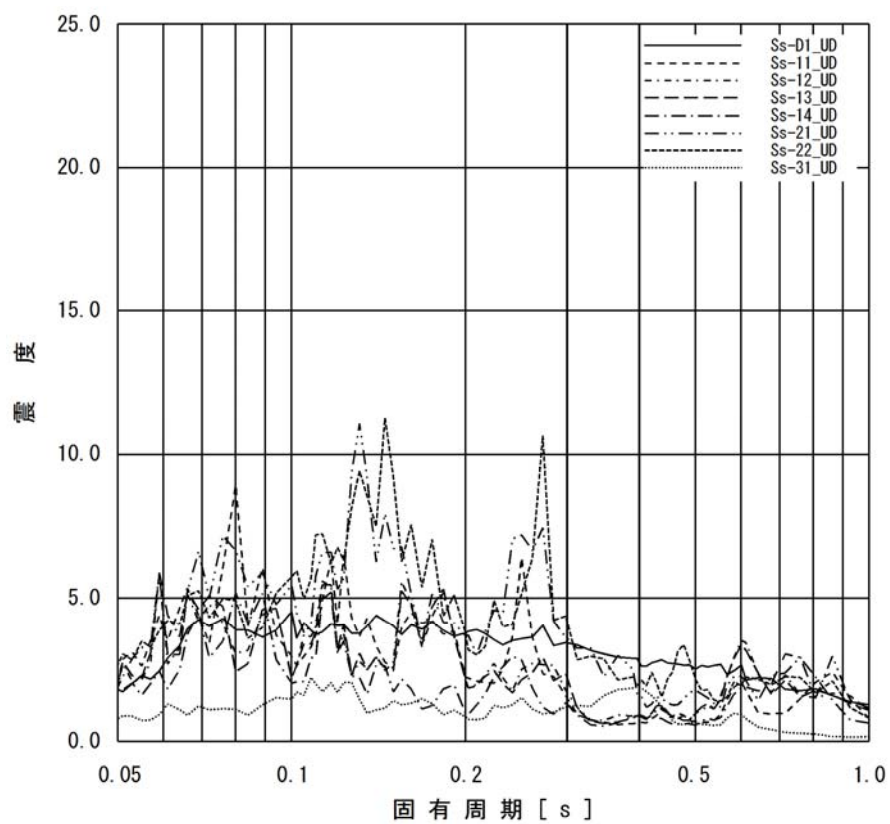
添付図 1-8 原子炉建屋 (EL. 2.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



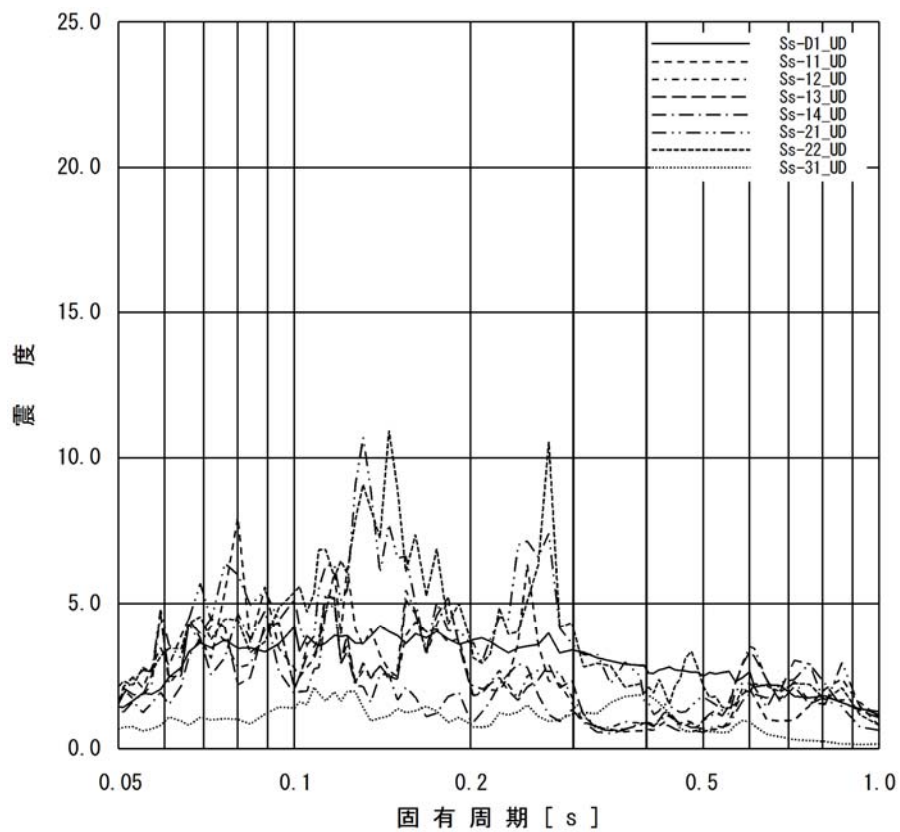
添付図 1-9 原子炉建屋 (EL. -4.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



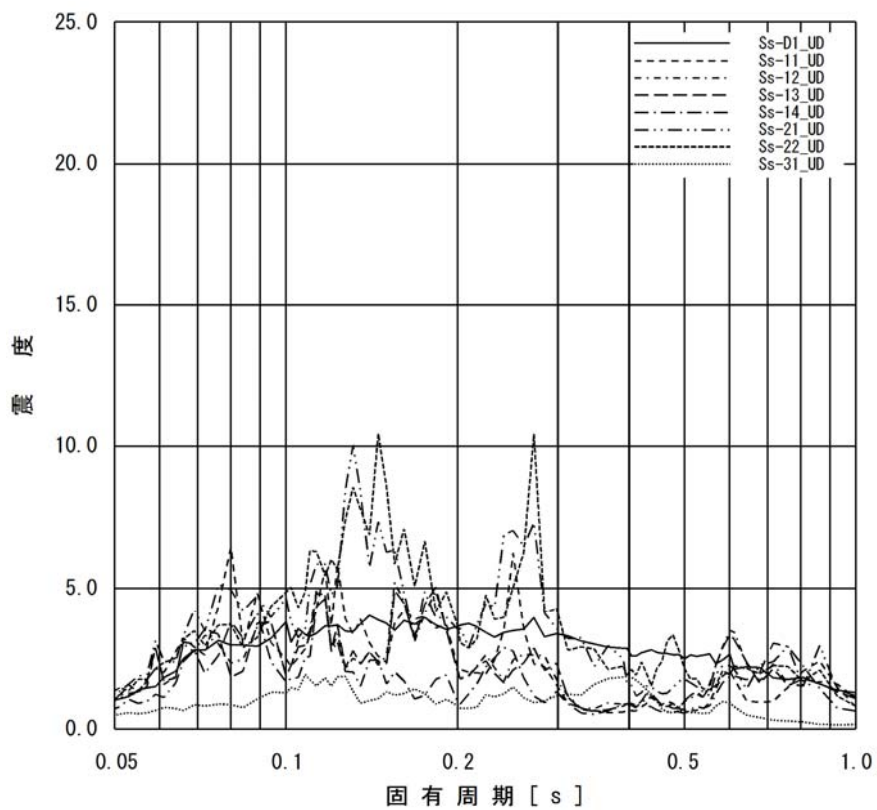
添付図 2-1 原子炉建屋 (EL. 46.5m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



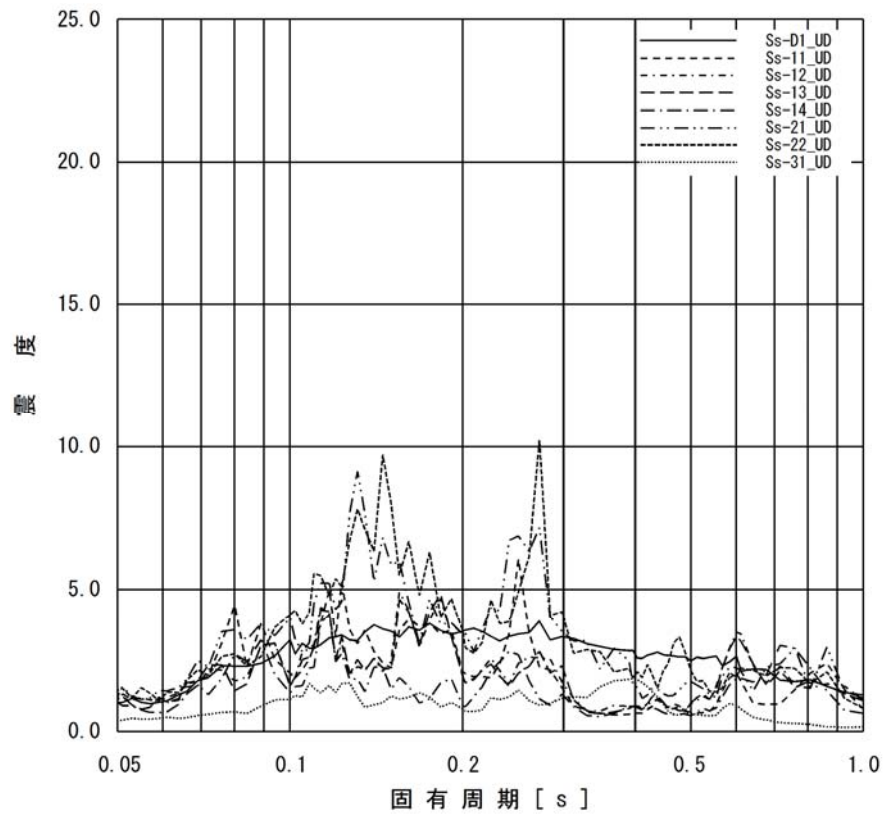
添付図 2-2 原子炉建屋 (EL. 38.8m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



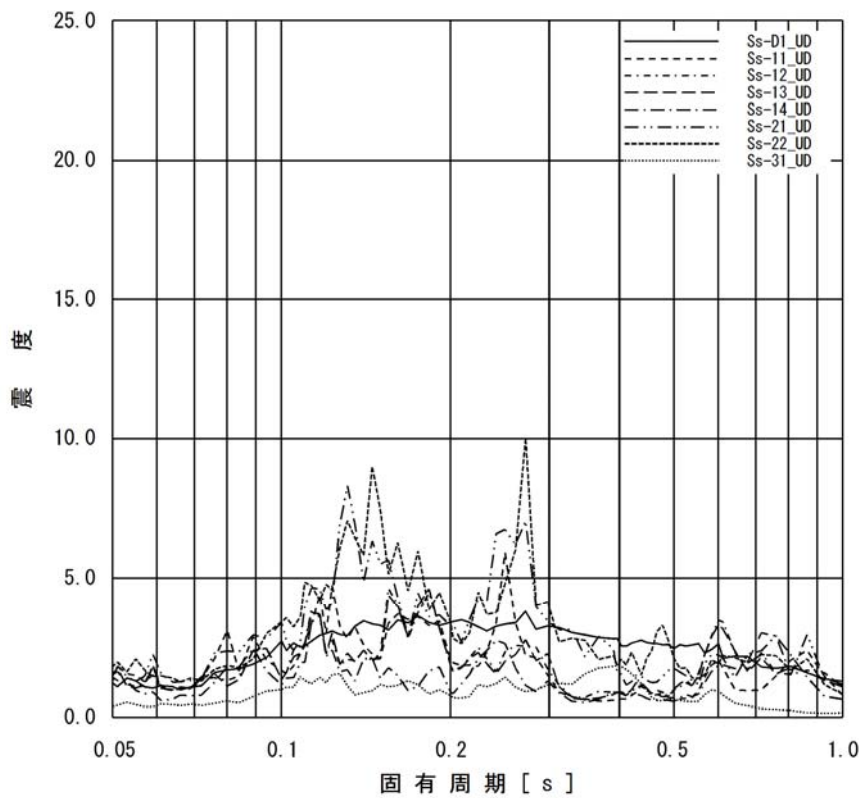
添付図 2-3 原子炉建屋 (EL. 34.7m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



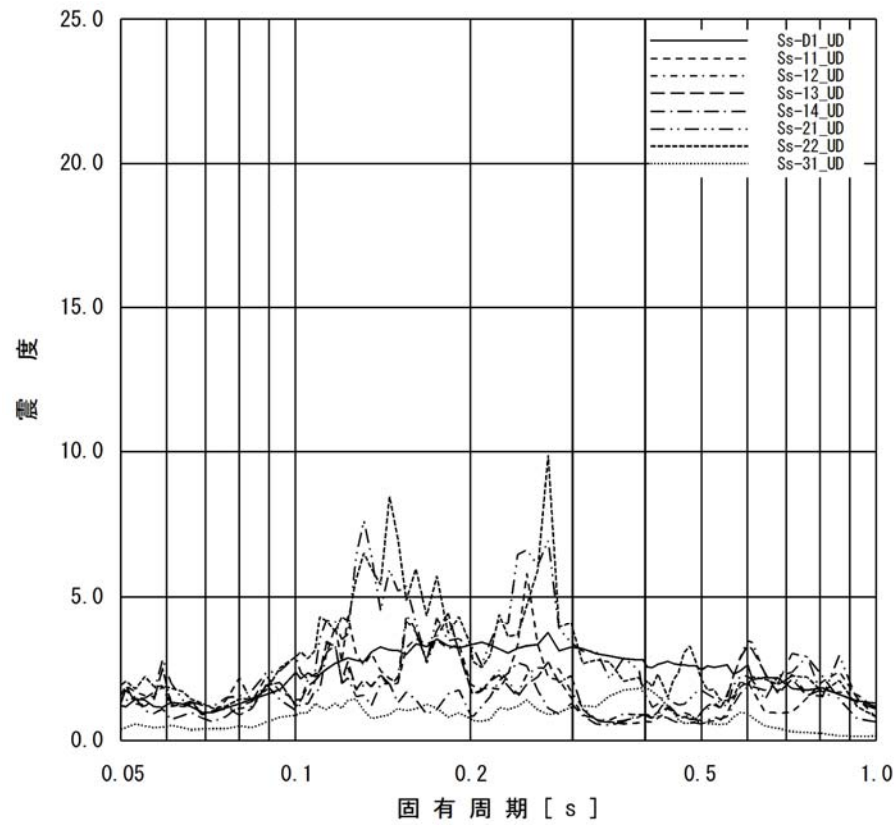
添付図 2-4 原子炉建屋 (EL. 29.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



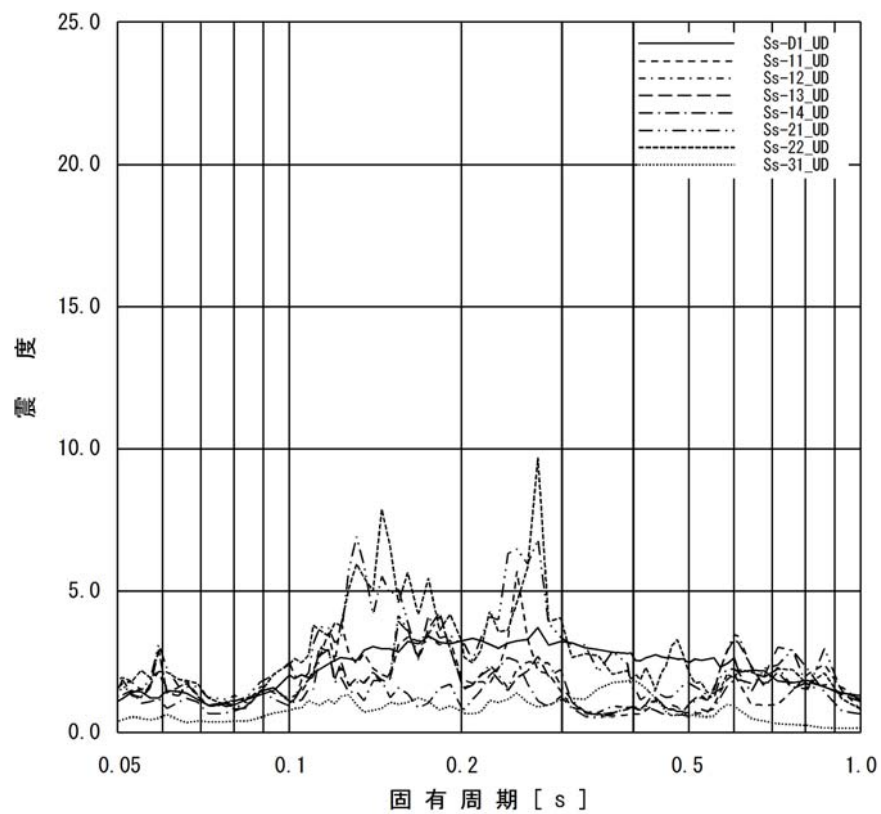
添付図 2-5 原子炉建屋 (EL. 20.3m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



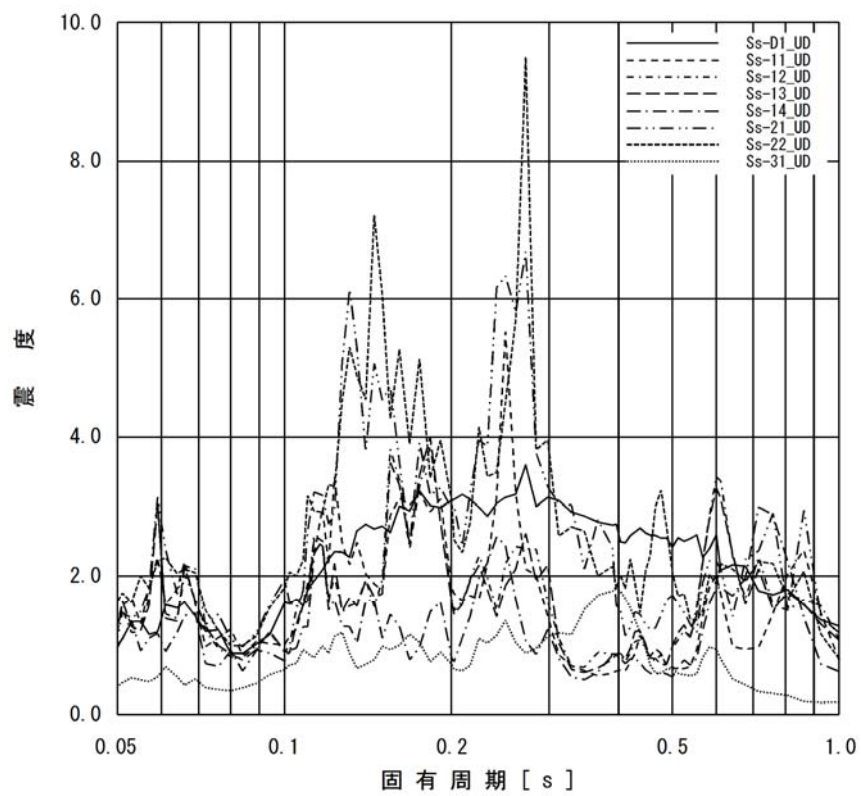
添付図 2-6 原子炉建屋 (EL. 14.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



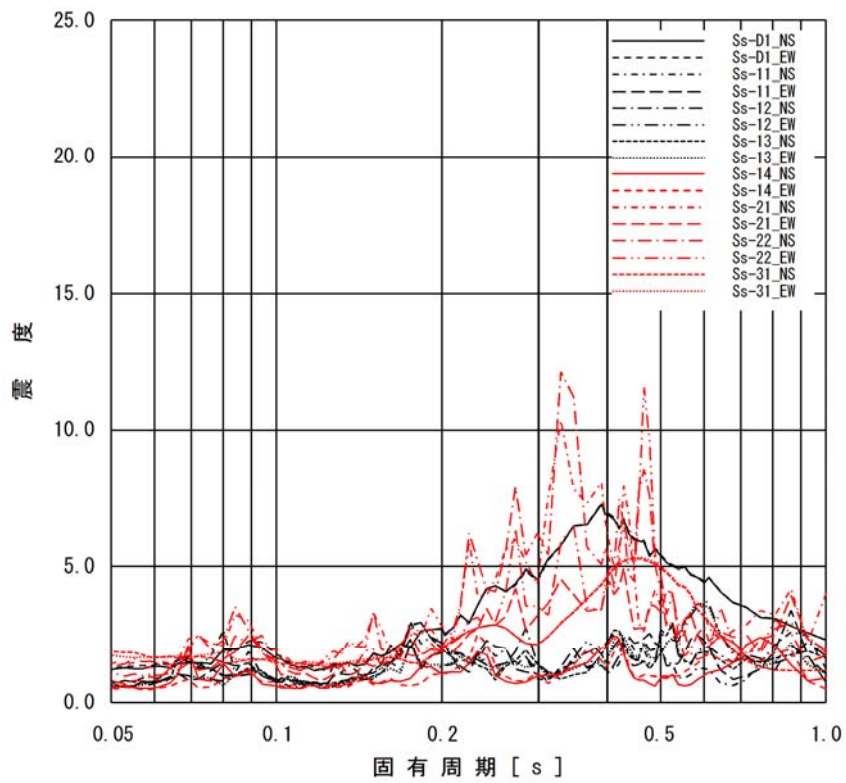
添付図 2-7 原子炉建屋 (EL. 8. 2m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1. 0%)



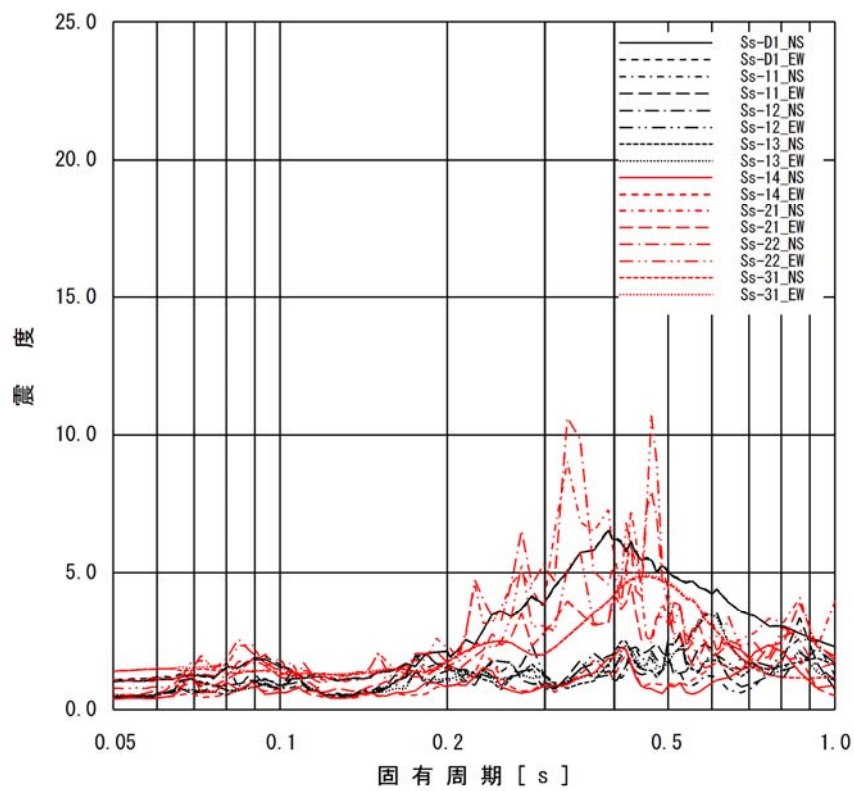
添付図 2-8 原子炉建屋 (EL. 2. 0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1. 0%)



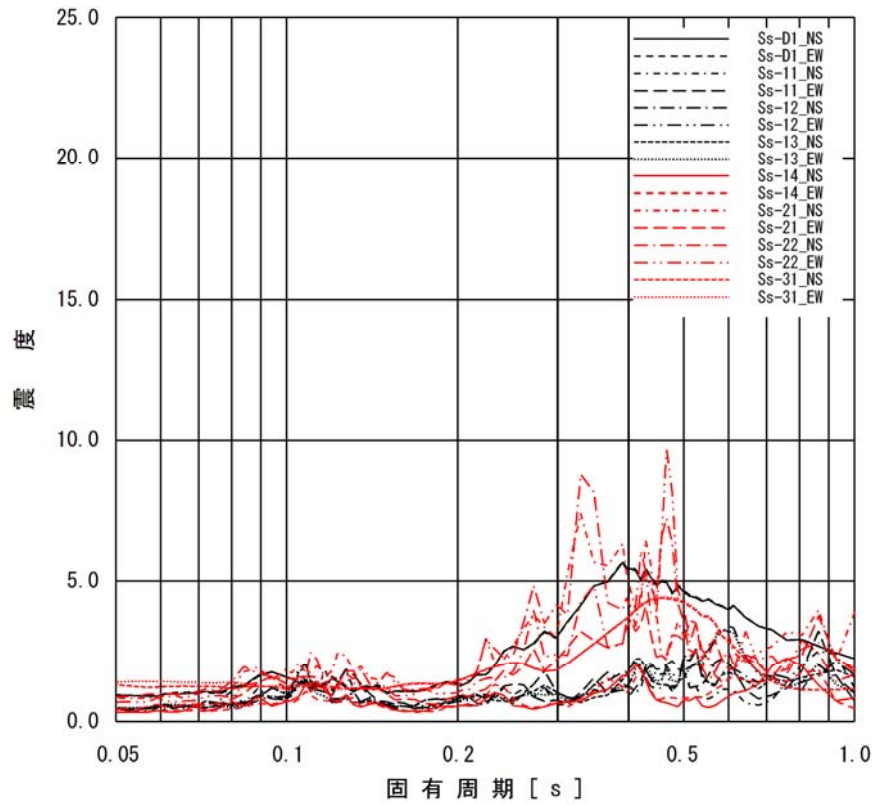
添付図 2-9 原子炉建屋 (EL. -4.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



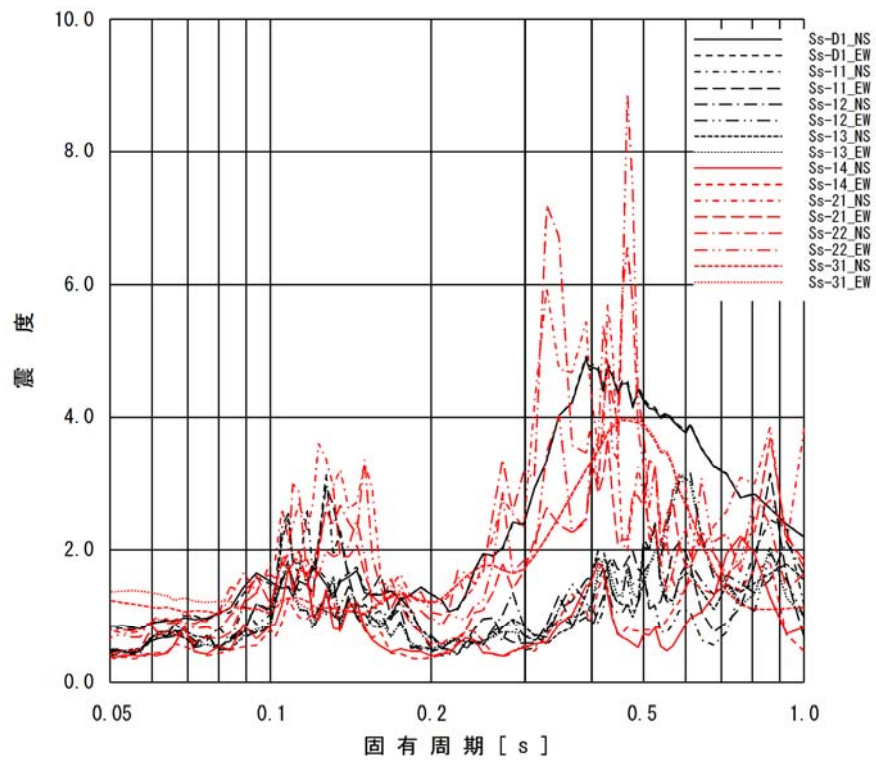
添付図 3-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



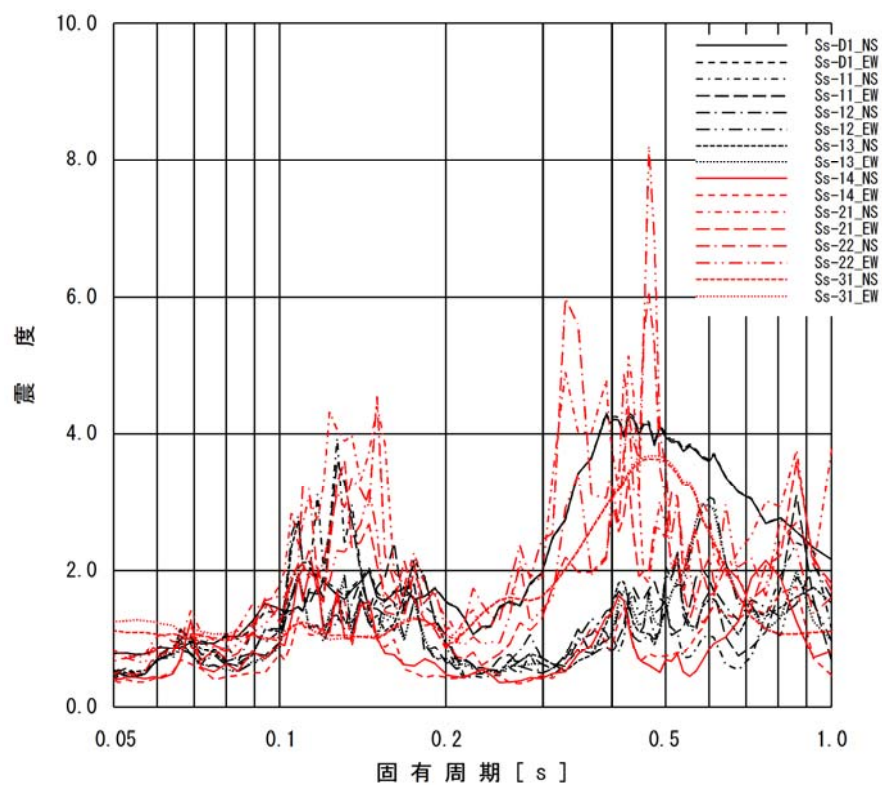
添付図 3-2 原子炉格納容器 (EL. 33.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



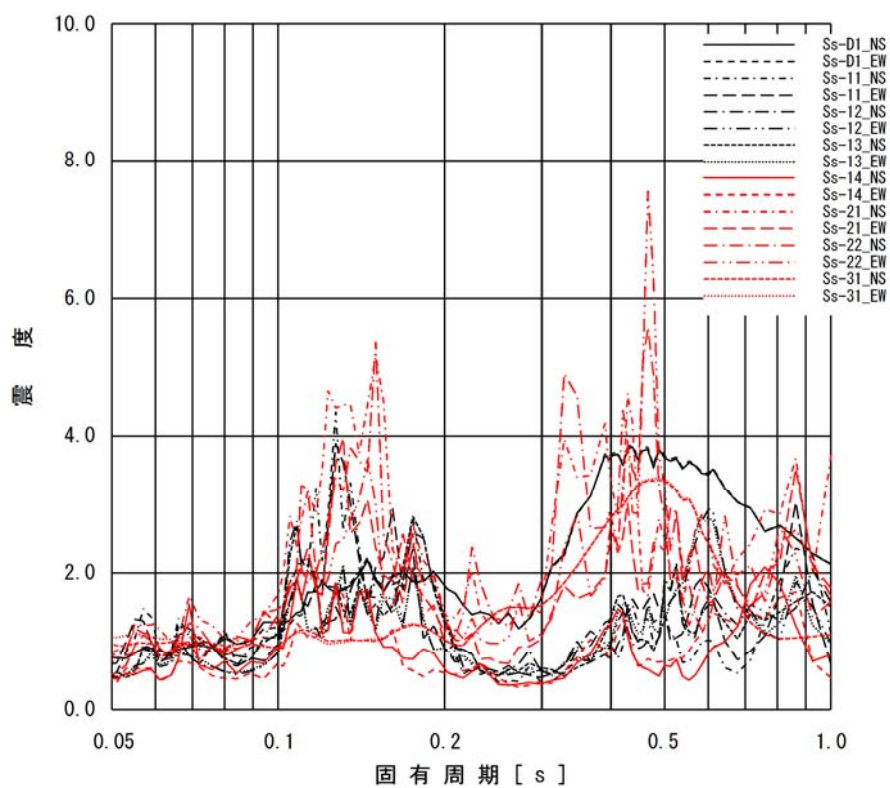
添付図 3-3 原子炉格納容器 (EL. 27.432m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



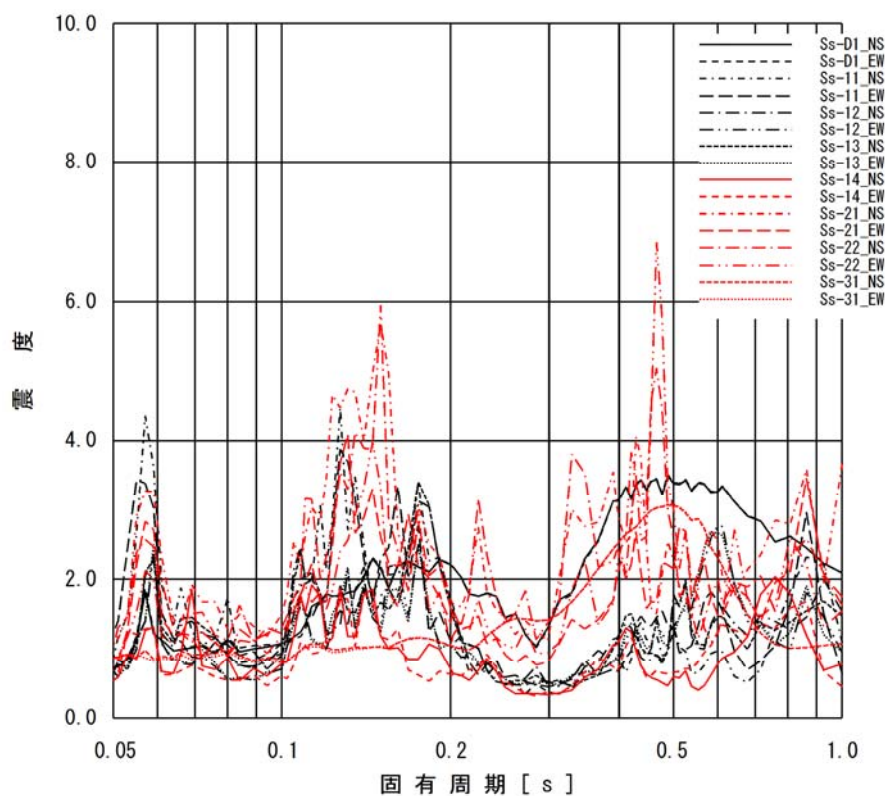
添付図 3-4 原子炉格納容器 (EL. 21.420m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



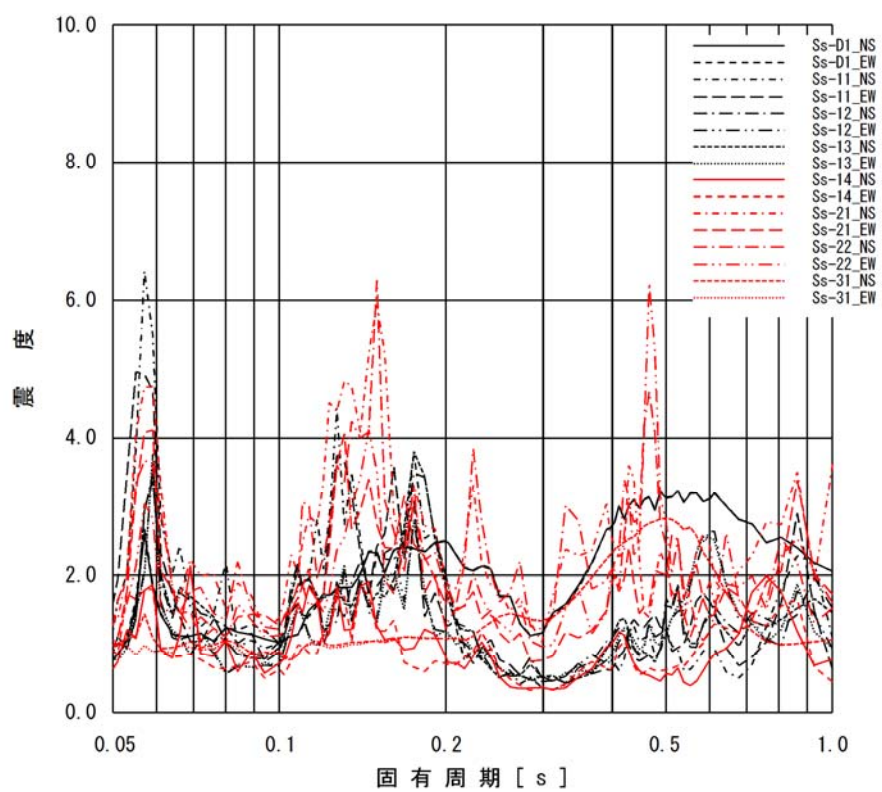
添付図 3-5 原子炉格納容器 (EL. 16.319m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



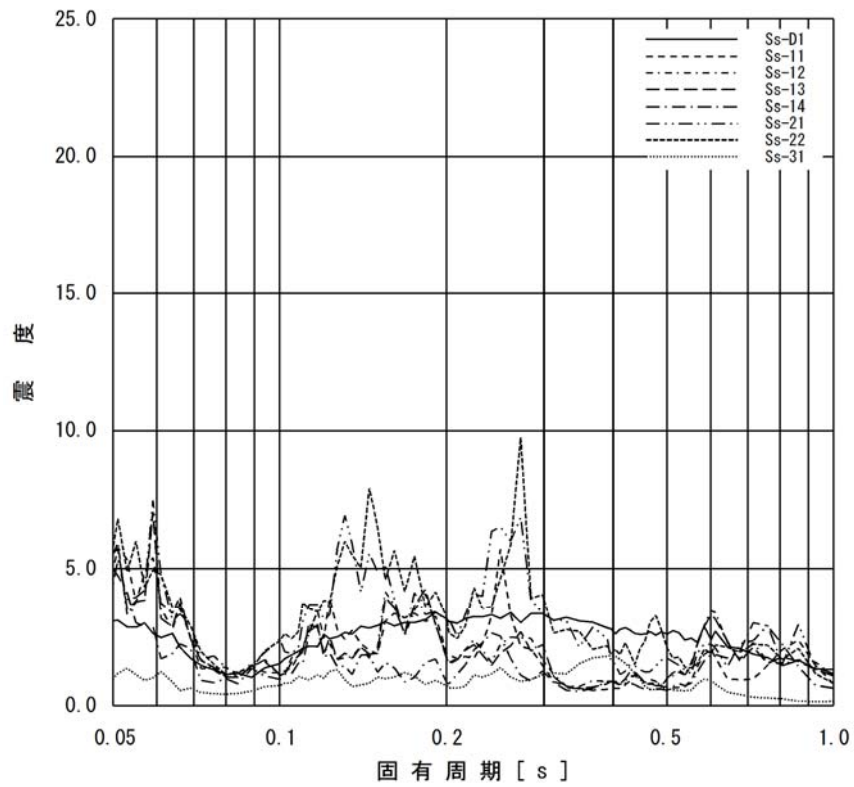
添付図 3-6 原子炉格納容器 (EL. 11.191m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



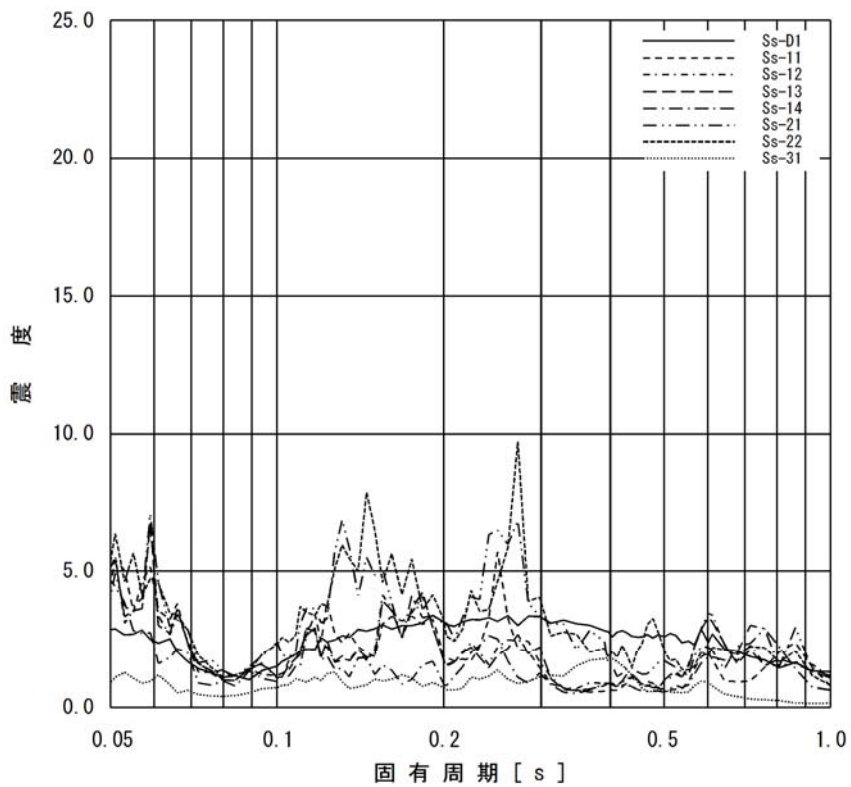
添付図 3-7 原子炉格納容器 (EL. 5.141m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



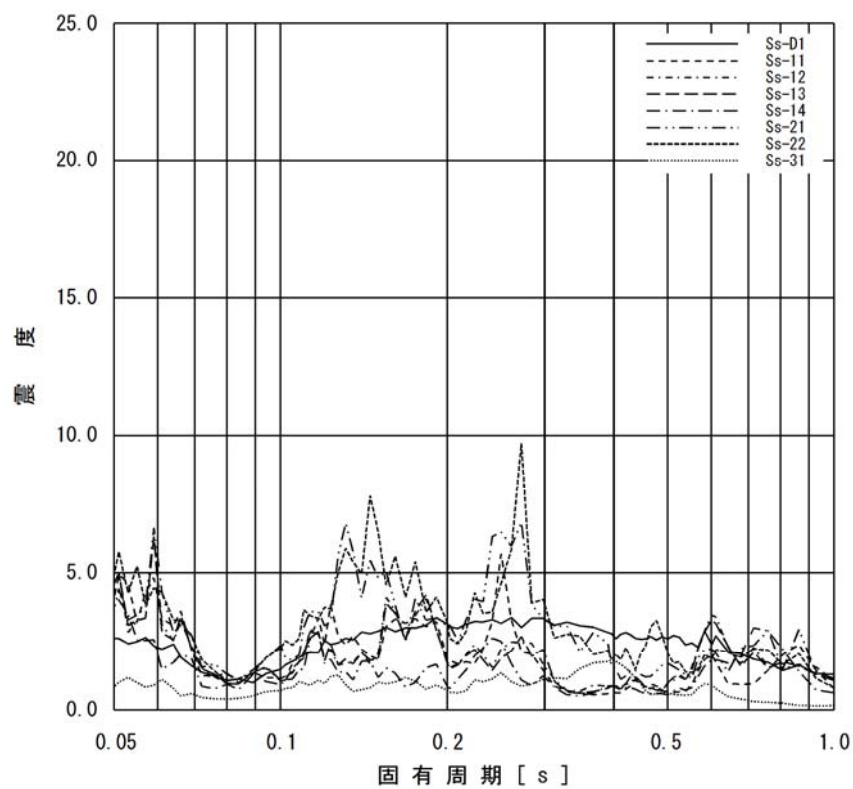
添付図 3-8 原子炉格納容器 (EL. -0.013m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



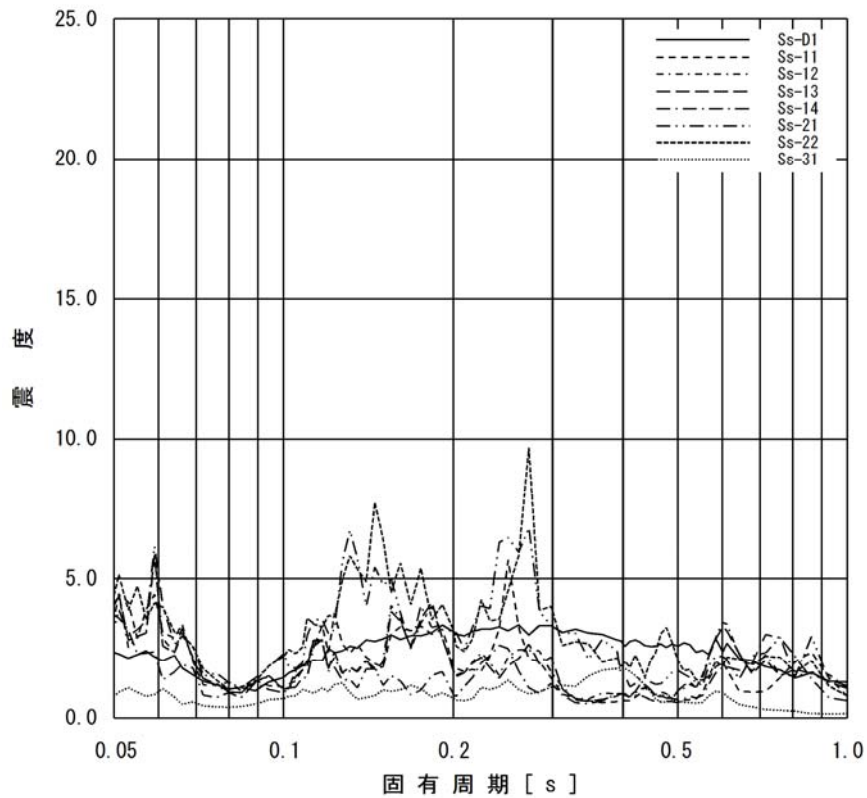
添付図 4-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



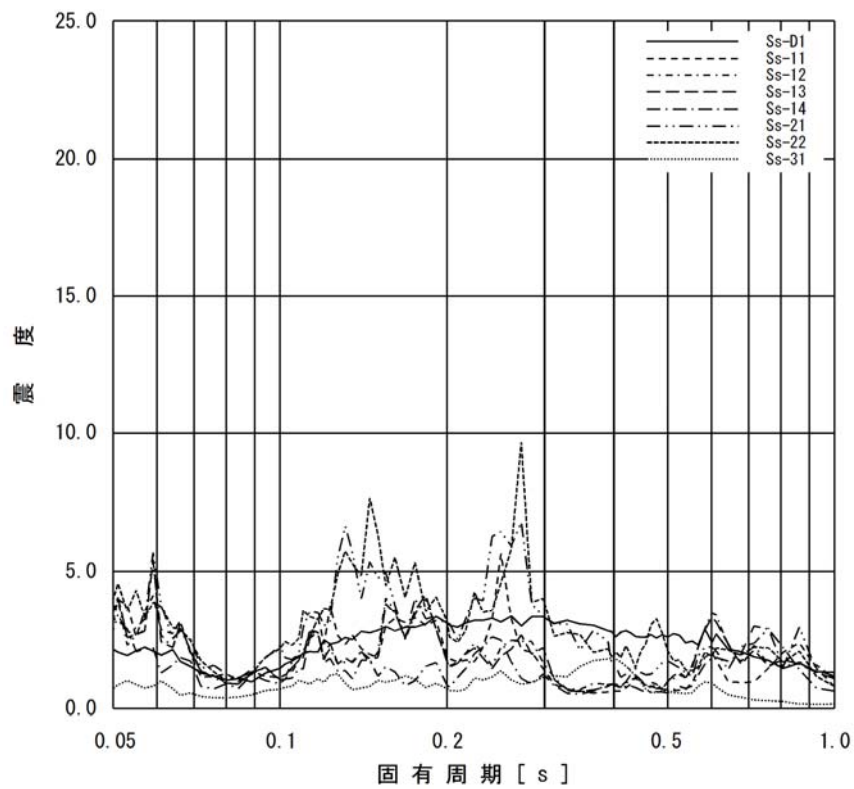
添付図 4-2 原子炉格納容器 (EL. 33.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



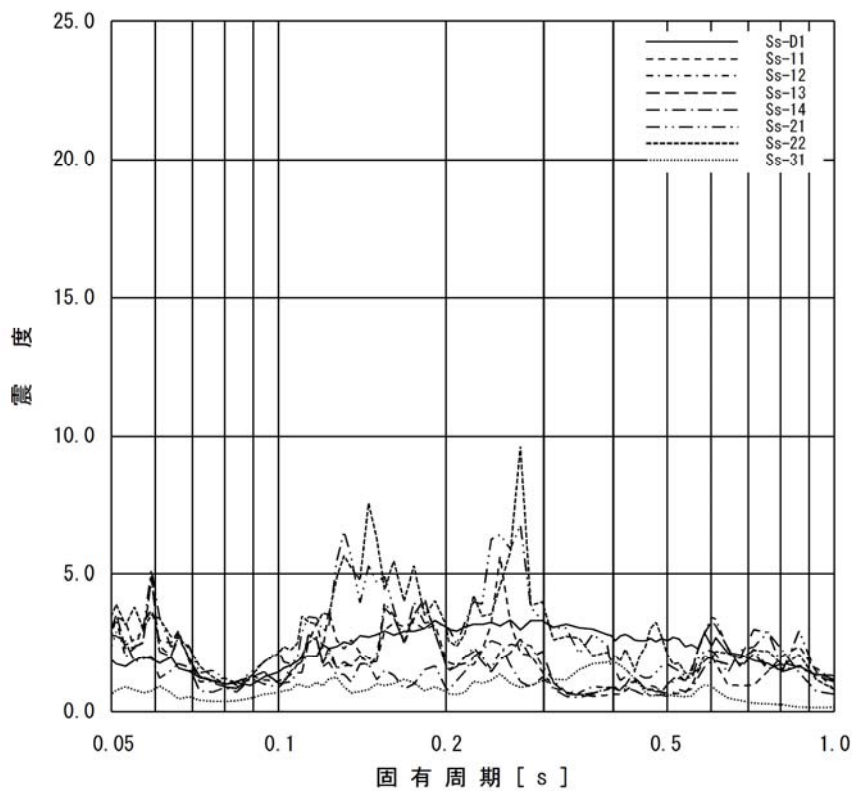
添付図 4-3 原子炉格納容器 (EL. 27.432m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



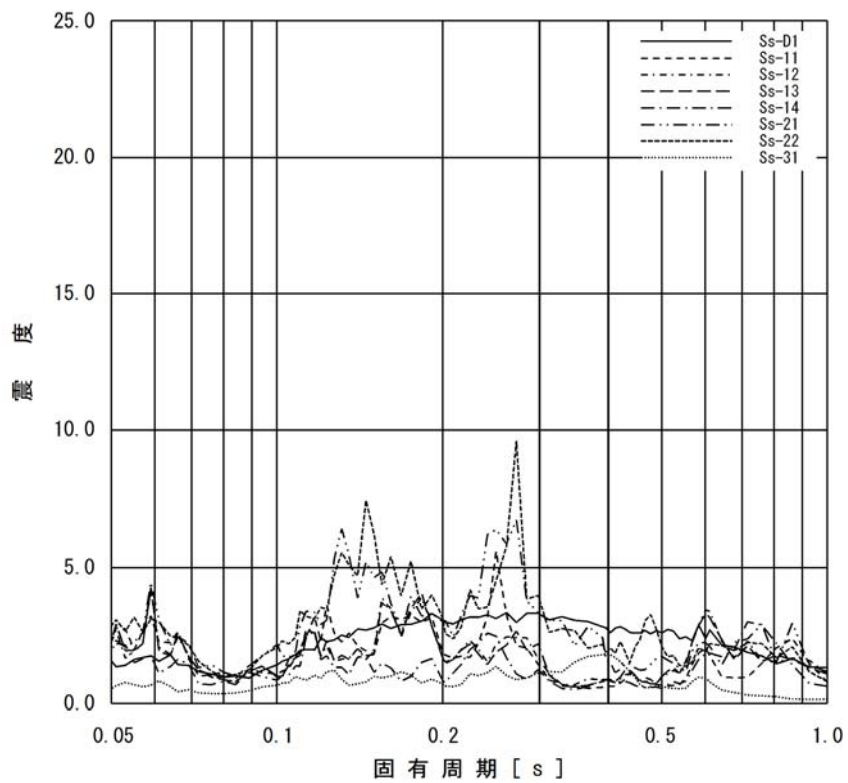
添付図 4-4 原子炉格納容器 (EL. 21.420m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



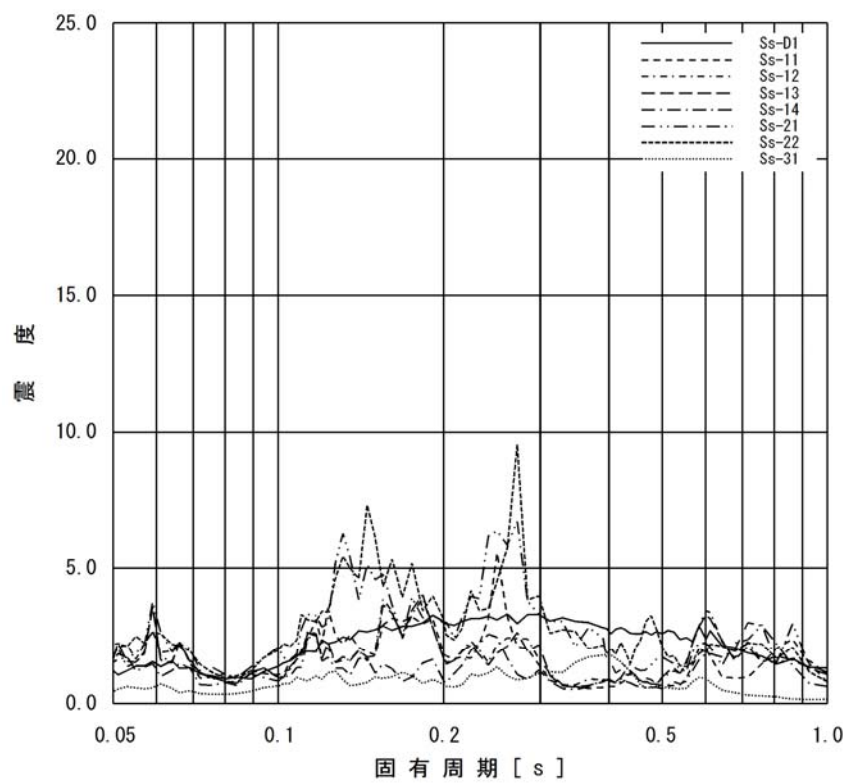
添付図 4-5 原子炉格納容器 (EL. 16.319m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



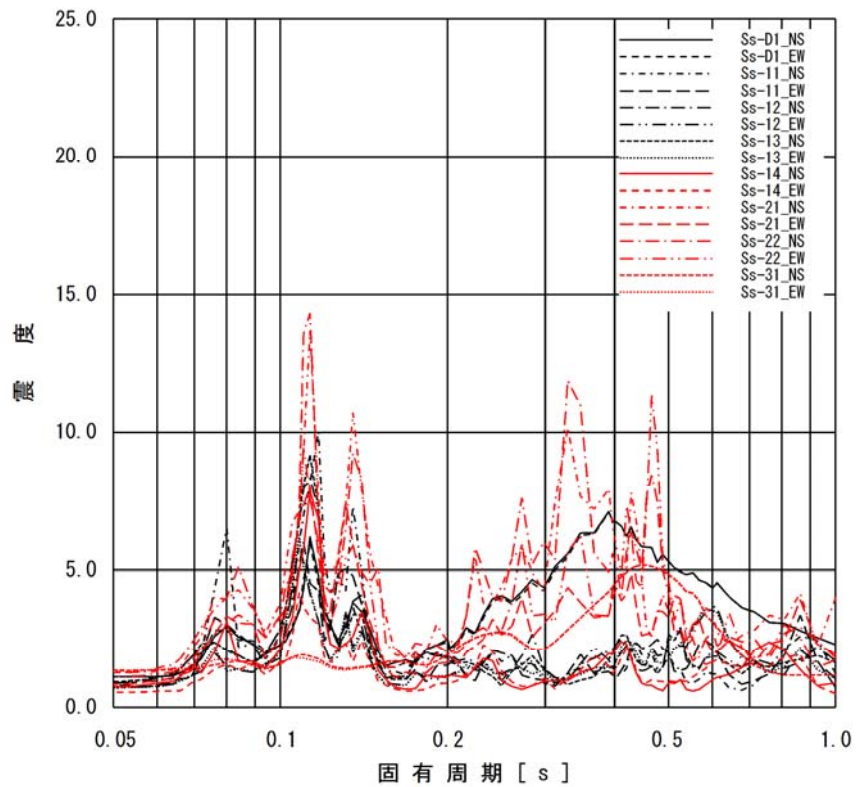
添付図 4-6 原子炉格納容器 (EL. 11.191m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



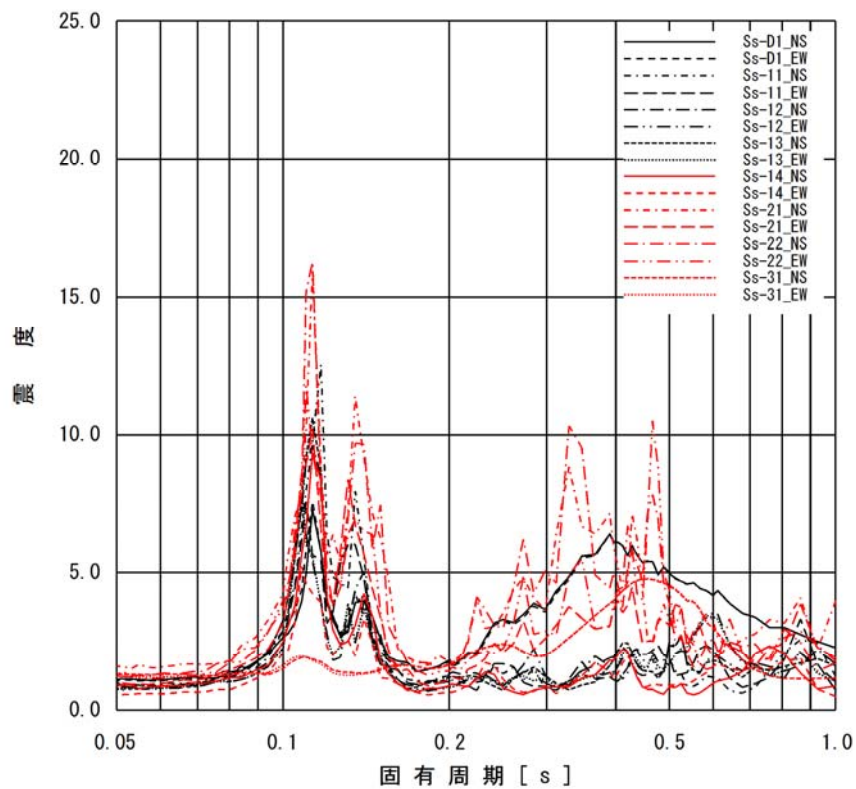
添付図 4-7 原子炉格納容器 (EL. 5.141m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



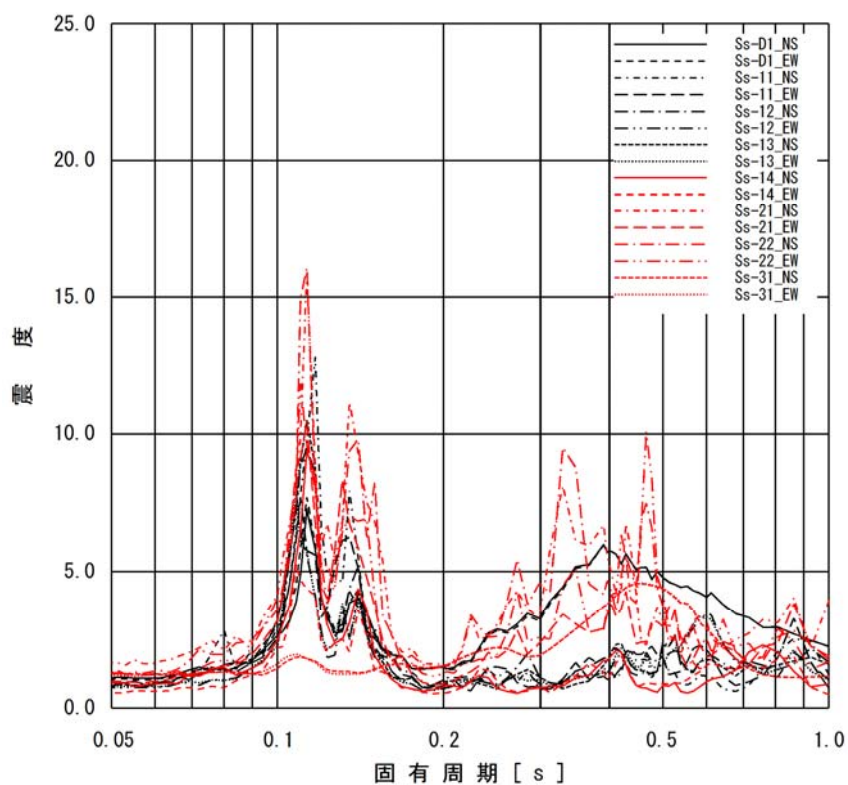
添付図 4-8 原子炉格納容器 (EL. -0.013m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



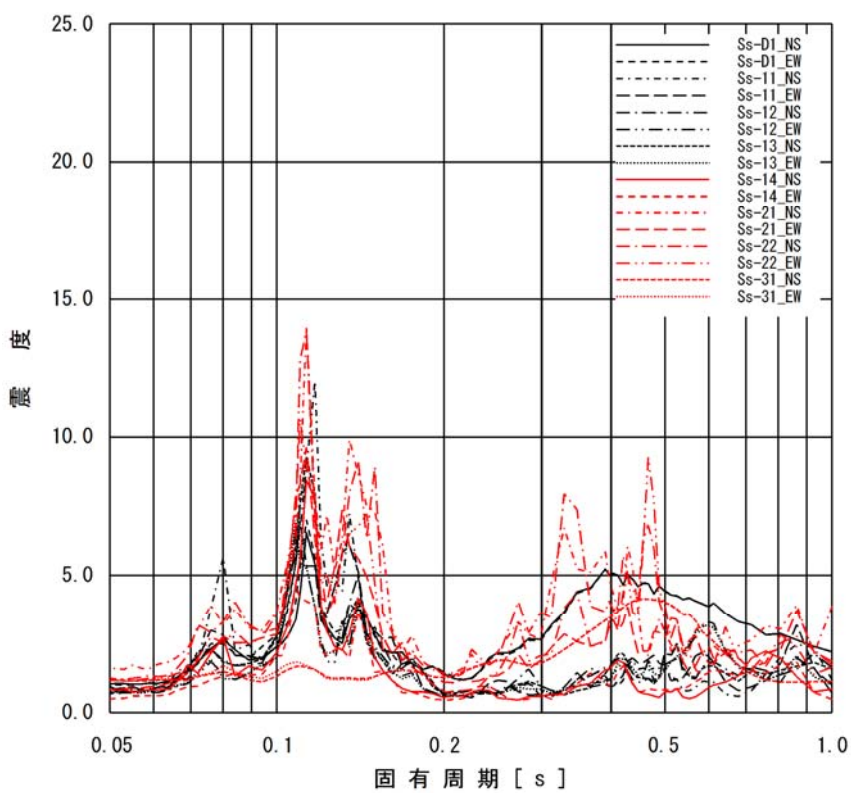
添付図 5-1 原子炉遮蔽 (EL. 34.643m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



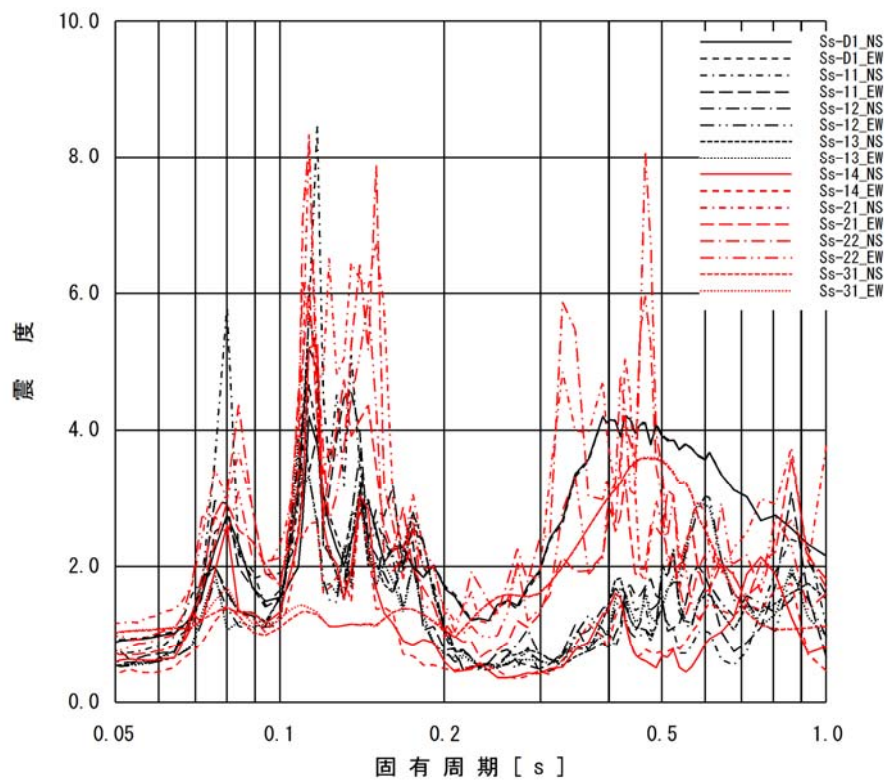
添付図 5-2 原子炉遮蔽 (EL. 28.308m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



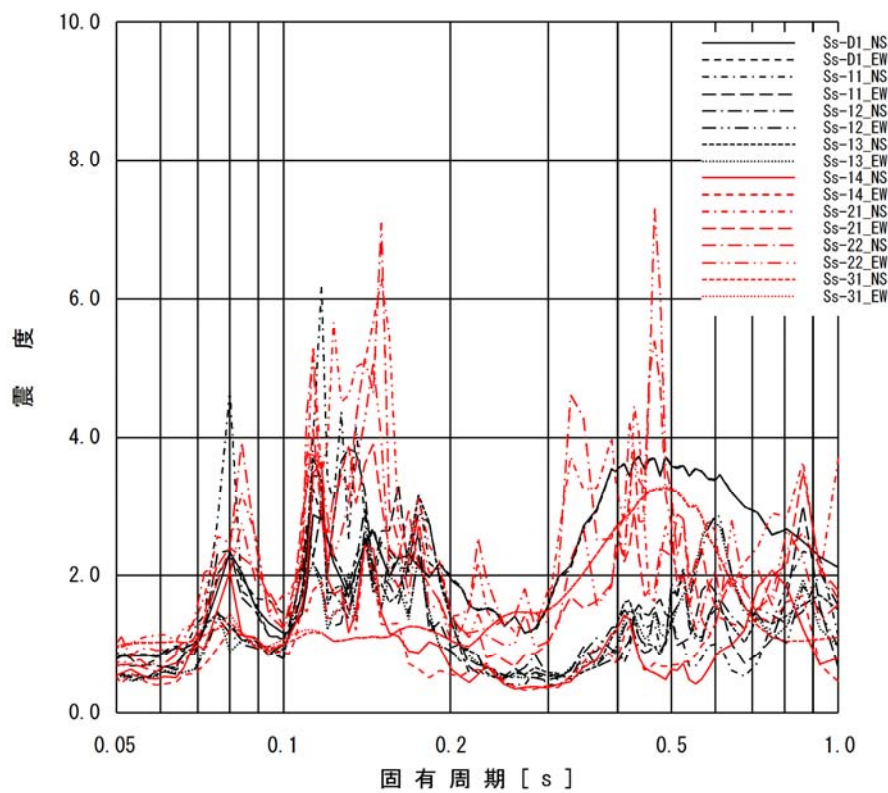
添付図 5-3 原子炉遮蔽 (EL. 25.212m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



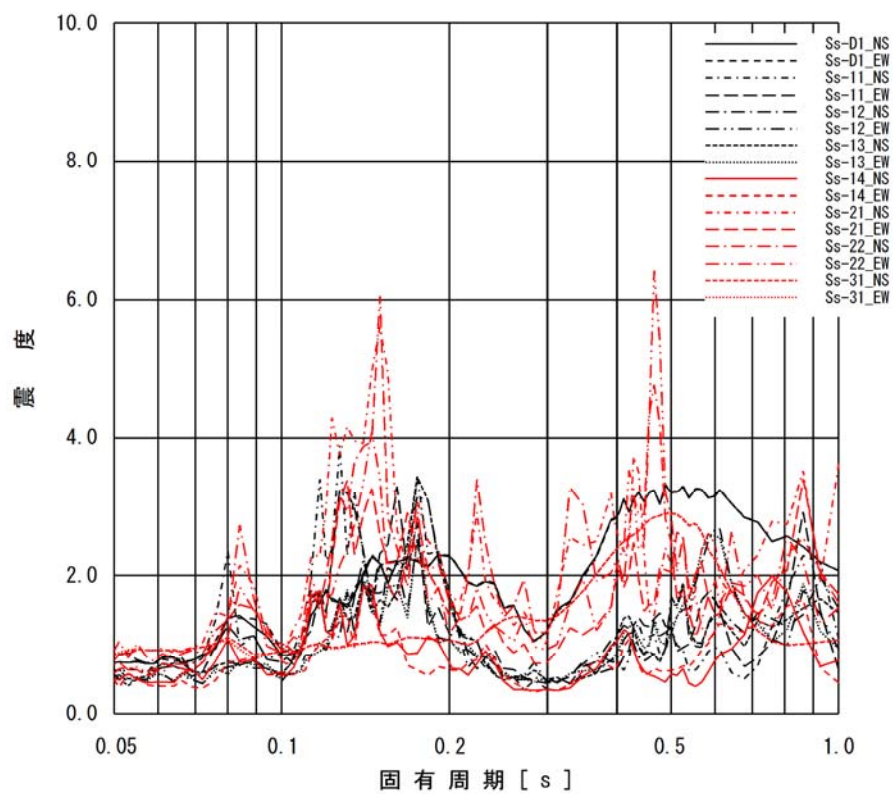
添付図 5-4 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



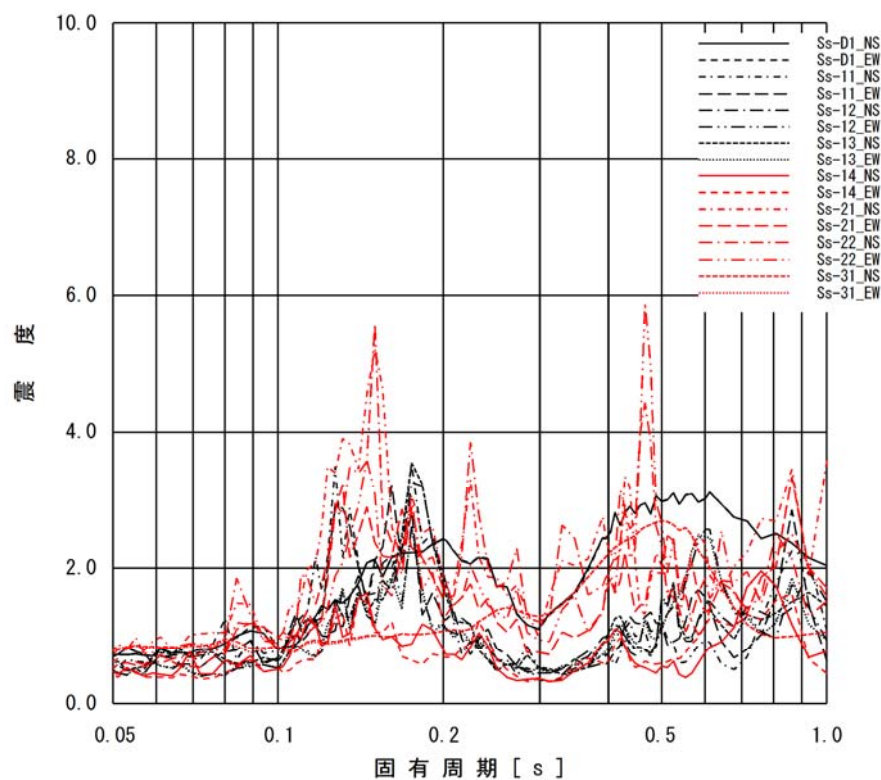
添付図 5-5 原子炉本体の基礎 (EL. 13.198m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



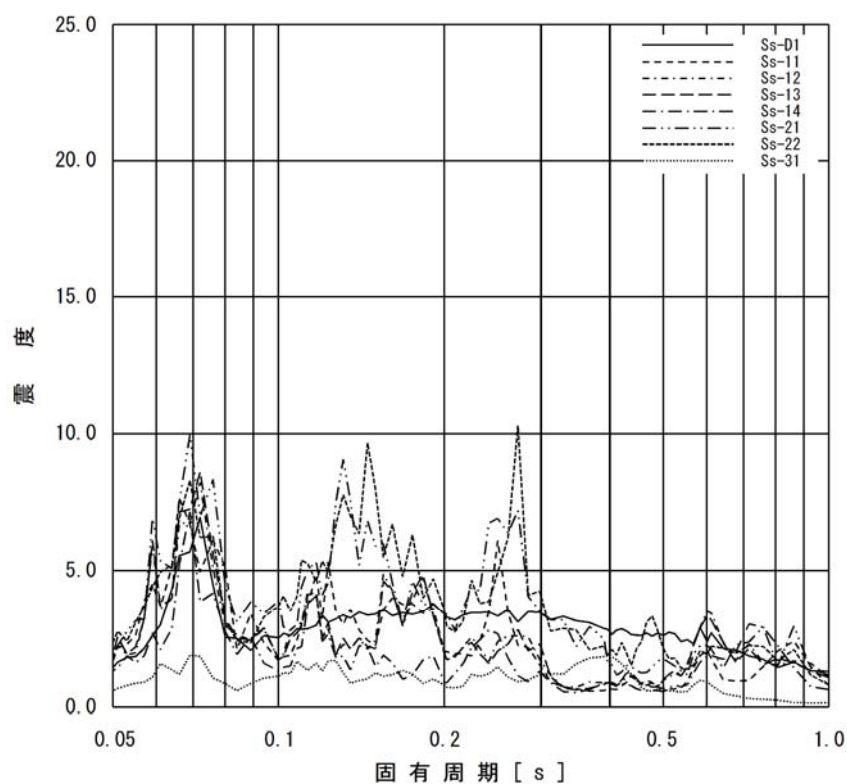
添付図 5-6 原子炉本体の基礎 (EL. 8.395m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



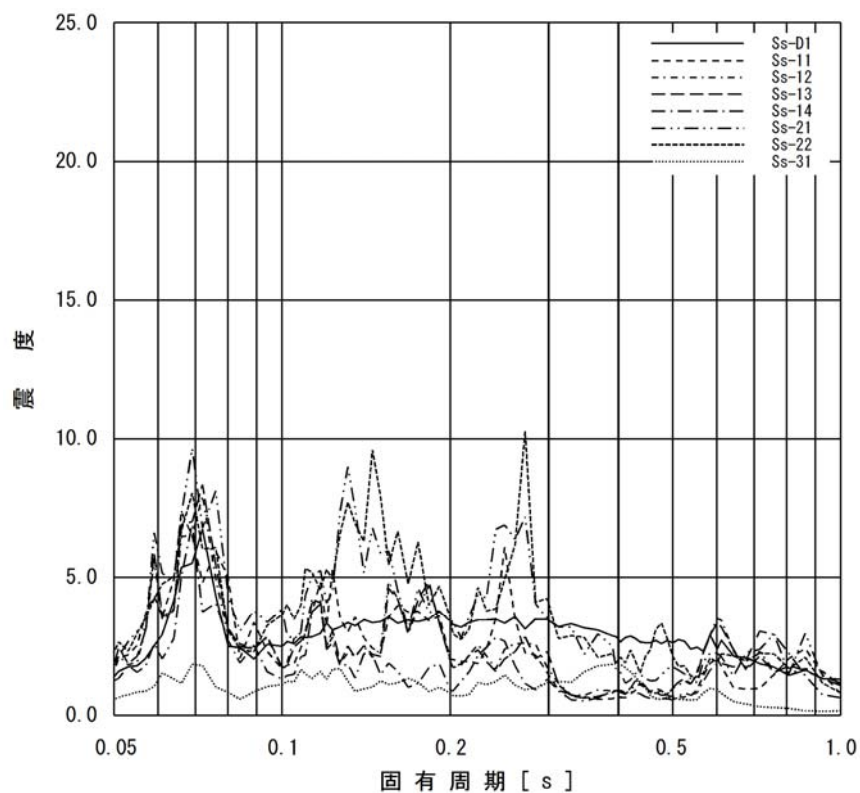
添付図 5-7 原子炉本体の基礎（EL. 2.189m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



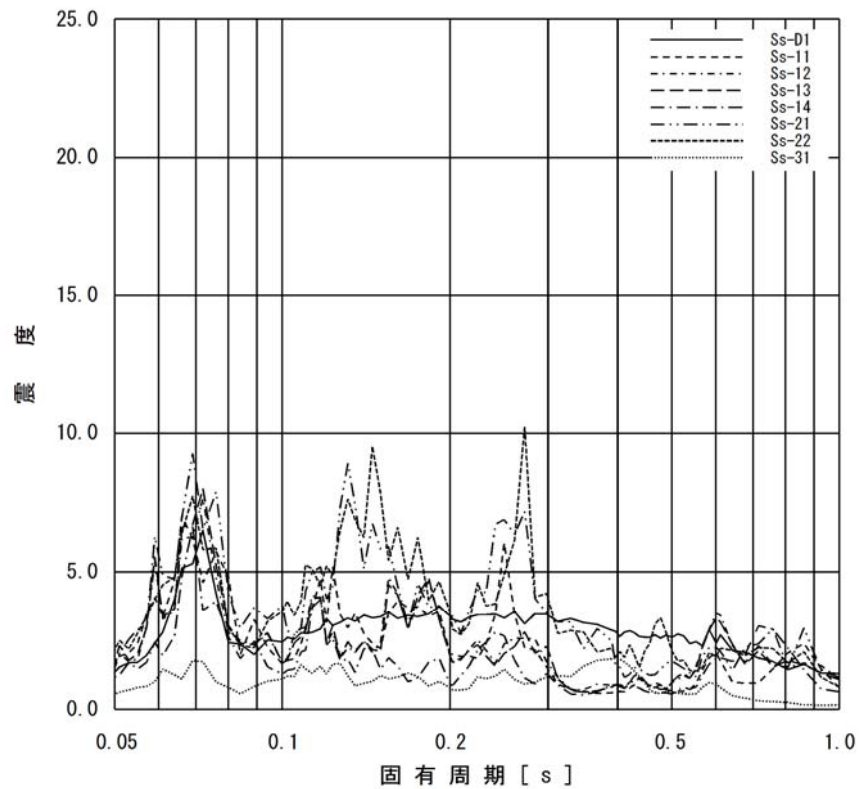
添付図 5-8 原子炉本体の基礎（EL. -2.167m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



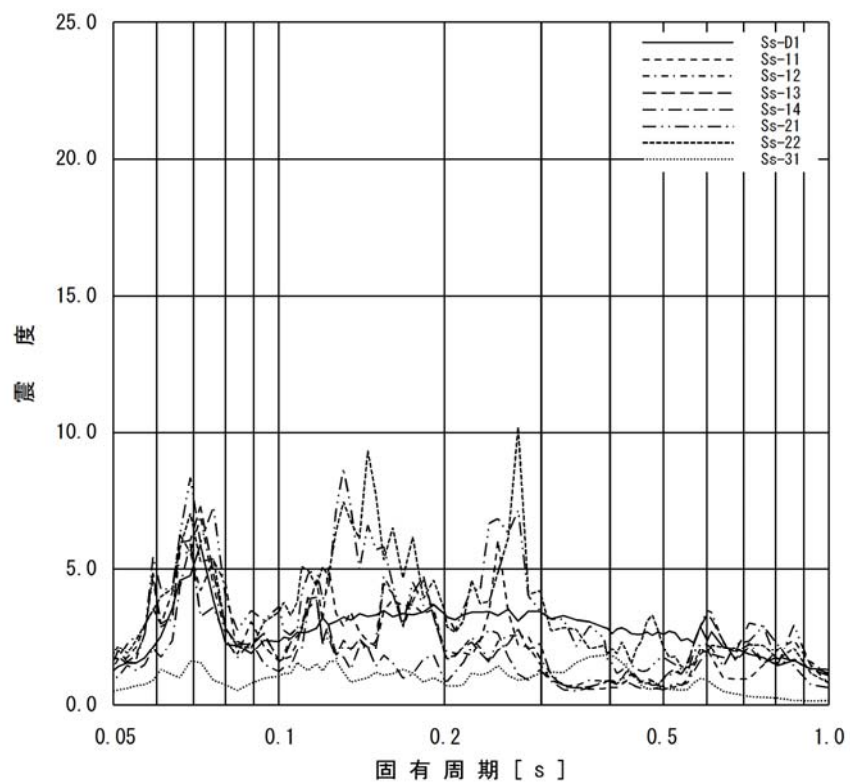
添付図 6-1 原子炉遮蔽 (EL. 34.643m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



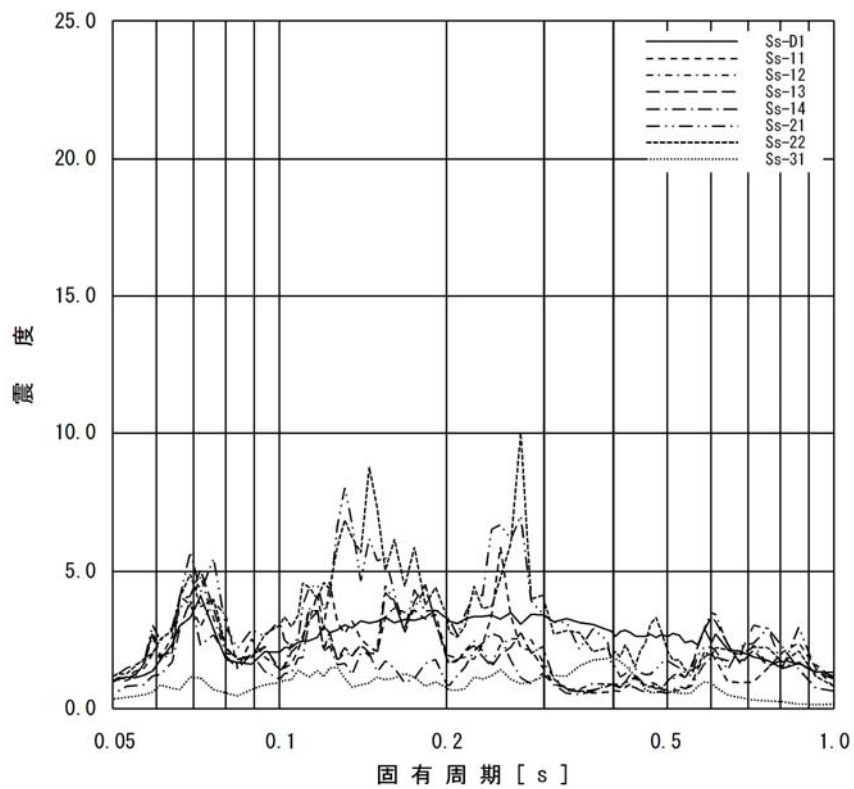
添付図 6-2 原子炉遮蔽 (EL. 28.308m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



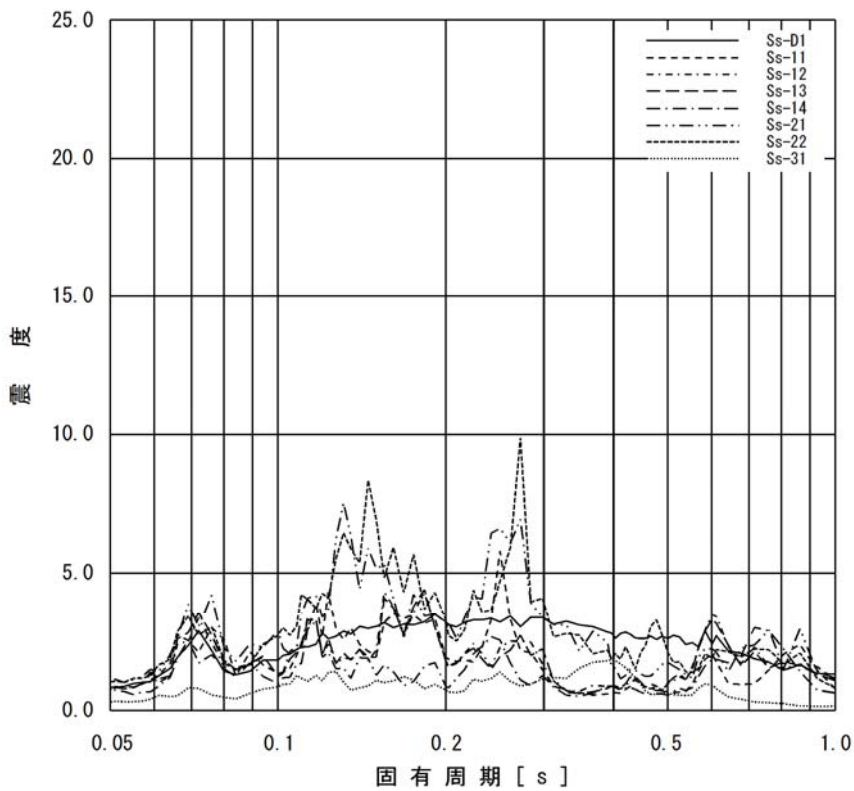
添付図 6-3 原子炉遮蔽 (EL. 25.212m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



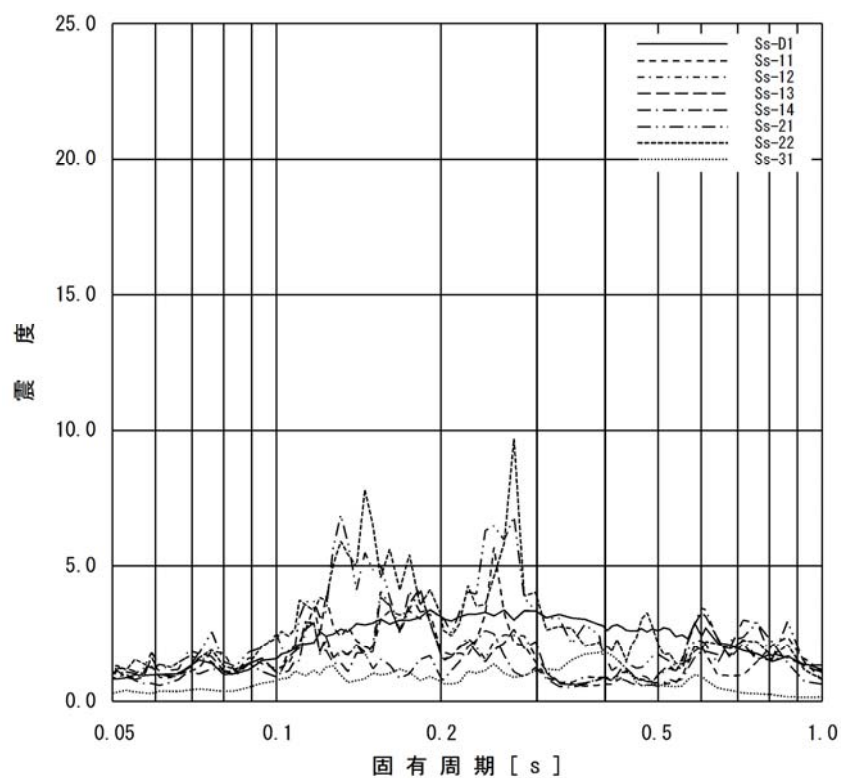
添付図 6-4 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



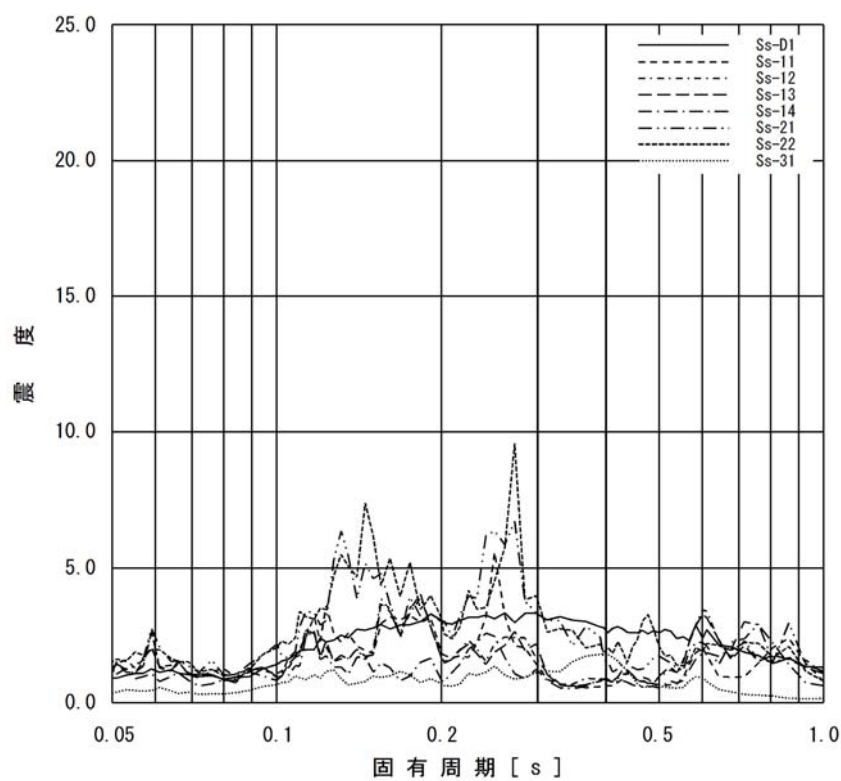
添付図 6-5 原子炉本体の基礎 (EL. 13.198m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



添付図 6-6 原子炉本体の基礎 (EL. 8.395m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



添付図 6-7 原子炉本体の基礎 (EL. 2.189m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



添付図 6-8 原子炉本体の基礎 (EL. -2.167m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

添付表 1-1 原子炉建屋の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - D 1$			$S_s - 1 1$			$S_s - 1 2$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原子 炉 建 屋	46.50	1.56	1.55	1.20	0.59	0.63	1.28	0.71	0.65	1.08
	38.80	1.41	1.41	1.16	0.47	0.57	1.19	0.60	0.60	1.07
	34.70	1.35	1.32	1.08	0.41	0.54	1.10	0.54	0.57	1.02
	29.00	1.22	1.25	0.99	0.45	0.48	0.98	0.51	0.59	0.93
	20.30	1.07	1.07	0.95	0.45	0.53	0.81	0.50	0.57	0.81
	14.00	0.96	0.98	0.93	0.50	0.54	0.75	0.51	0.53	0.78
	8.20	0.83	0.84	0.92	0.51	0.54	0.77	0.53	0.48	0.78
	2.00	0.80	0.80	0.89	0.48	0.51	0.77	0.51	0.42	0.77
	-4.00	0.77	0.77	0.84	0.47	0.48	0.77	0.53	0.39	0.74

添付表 1-2 原子炉建屋の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - 1 3$			$S_s - 1 4$			$S_s - 2 1$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原子 炉 建 屋	46.50	0.72	0.65	1.10	0.59	0.51	0.80	1.61	0.77	1.52
	38.80	0.60	0.60	1.07	0.48	0.47	0.75	1.37	0.63	1.44
	34.70	0.54	0.60	1.01	0.45	0.45	0.72	1.17	0.59	1.34
	29.00	0.50	0.60	0.92	0.44	0.45	0.71	1.05	0.53	1.17
	20.30	0.54	0.59	0.78	0.45	0.44	0.68	0.89	0.56	1.01
	14.00	0.57	0.54	0.75	0.45	0.41	0.65	0.89	0.56	0.93
	8.20	0.56	0.50	0.72	0.45	0.39	0.62	0.86	0.54	0.87
	2.00	0.57	0.44	0.69	0.44	0.36	0.60	0.78	0.53	0.81
	-4.00	0.59	0.42	0.71	0.41	0.35	0.60	0.72	0.51	0.77

添付表 1-3 原子炉建屋の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)					
		S _s -2 2			S _s -3 1		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原 子 炉 建 屋	46.50	1.58	1.29	1.38	1.74	1.71	0.57
	38.80	1.32	1.04	1.29	1.62	1.67	0.54
	34.70	1.28	0.95	1.19	1.62	1.64	0.51
	29.00	1.07	0.81	1.08	1.55	1.53	0.45
	20.30	0.89	0.75	1.01	1.26	1.34	0.38
	14.00	0.75	0.66	0.99	1.10	1.13	0.35
	8.20	0.66	0.62	0.96	1.02	1.10	0.33
	2.00	0.68	0.60	0.92	0.95	0.96	0.32
	-4.00	0.68	0.56	0.90	0.87	0.83	0.32

添付表 2-1 原子炉格納容器の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - D 1$			$S_s - 1 1$			$S_s - 1 2$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原子炉格納容器	39.431	1.44	1.43	0.99	0.52	0.57	1.14	0.60	0.62	1.19
	33.431	1.26	1.27	0.97	0.41	0.52	1.06	0.54	0.57	1.10
	27.432	1.14	1.11	0.94	0.41	0.48	0.97	0.48	0.55	1.00
	21.420	1.03	0.98	0.90	0.42	0.49	0.91	0.47	0.54	0.94
	16.319	0.91	0.91	0.88	0.41	0.51	0.91	0.49	0.52	0.90
	11.191	0.88	0.88	0.85	0.46	0.54	0.87	0.51	0.49	0.87
	5.141	0.86	0.86	0.81	0.48	0.58	0.83	0.53	0.45	0.82
	-0.013	0.83	0.83	0.78	0.52	0.61	0.79	0.58	0.46	0.77

添付表 2-2 原子炉格納容器の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - 1 3$			$S_s - 1 4$			$S_s - 2 1$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原子炉格納容器	39.431	0.61	0.65	1.26	0.47	0.48	0.85	1.50	0.64	1.39
	33.431	0.53	0.60	1.17	0.45	0.44	0.78	1.20	0.57	1.33
	27.432	0.48	0.57	1.05	0.41	0.42	0.73	1.01	0.51	1.25
	21.420	0.52	0.55	0.93	0.42	0.40	0.67	0.84	0.52	1.17
	16.319	0.54	0.53	0.88	0.43	0.39	0.64	0.85	0.52	1.11
	11.191	0.55	0.51	0.85	0.44	0.38	0.64	0.84	0.52	1.05
	5.141	0.59	0.46	0.80	0.44	0.38	0.63	0.84	0.50	0.96
	-0.013	0.64	0.48	0.75	0.45	0.39	0.61	0.88	0.50	0.85

添付表 2-3 原子炉格納容器の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)					
		S _s - 2 2			S _s - 3 1		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
原子 炉 格 納 容 器	39.431	1.46	1.04	1.28	1.85	1.81	0.39
	33.431	1.26	0.89	1.18	1.61	1.62	0.38
	27.432	1.03	0.76	1.10	1.60	1.61	0.37
	21.420	0.90	0.72	1.06	1.41	1.43	0.36
	16.319	0.80	0.68	1.02	1.23	1.25	0.35
	11.191	0.72	0.62	0.97	1.07	1.11	0.35
	5.141	0.68	0.62	0.91	1.02	1.00	0.34
	-0.013	0.72	0.64	0.87	0.96	0.93	0.33

添付表 3-1 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - D1$			$S_s - 11$			$S_s - 12$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
遮 蔽 原 子 炉	34.643	1.35	1.34	1.15	0.85	0.77	1.11	0.89	0.77	1.11
	28.308	1.31	1.25	1.14	0.84	0.81	1.08	0.80	0.80	1.07
	25.212	1.28	1.21	1.13	0.80	0.84	1.04	0.81	0.79	1.03
原 子 炉 本 体 の 基 礎	19.856	1.19	1.12	1.10	0.77	0.81	0.95	0.78	0.73	0.96
	13.198	0.99	1.00	0.98	0.65	0.67	0.79	0.63	0.58	0.82
	8.935	0.91	0.92	0.89	0.58	0.61	0.75	0.57	0.49	0.73
	2.189	0.85	0.86	0.77	0.49	0.53	0.70	0.51	0.42	0.69
	-2.167	0.84	0.84	0.74	0.46	0.50	0.73	0.54	0.40	0.72

添付表 3-2 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - 13$			$S_s - 14$			$S_s - 21$		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
遮 蔽 原 子 炉	34.643	0.92	0.80	1.11	0.81	0.59	0.74	1.38	0.90	1.37
	28.308	0.79	0.83	1.07	0.88	0.60	0.73	1.55	0.95	1.34
	25.212	0.71	0.82	1.03	0.87	0.59	0.74	1.59	0.95	1.31
原 子 炉 本 体 の 基 礎	19.856	0.67	0.76	0.93	0.82	0.56	0.74	1.54	0.92	1.24
	13.198	0.59	0.60	0.75	0.62	0.47	0.69	1.18	0.75	1.05
	8.935	0.56	0.50	0.72	0.50	0.41	0.63	0.98	0.64	0.93
	2.189	0.58	0.42	0.68	0.44	0.35	0.62	0.80	0.53	0.83
	-2.167	0.60	0.41	0.69	0.42	0.35	0.60	0.74	0.52	0.77

添付表 3-3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度 (1.2ZPA)

構 築 物	EL. (m)	最大床加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)					
		S _s -22			S _s -31		
		N S 方向	E W 方向	鉛直 方向	N S 方向	E W 方向	鉛直 方向
遮 蔽 原 子 炉	34.643	1.46	1.22	1.31	1.64	1.59	0.42
	28.308	1.28	1.22	1.29	1.51	1.45	0.42
	25.212	1.24	1.22	1.27	1.46	1.42	0.41
原 子 炉 本 体 の 基 礎	19.856	1.20	1.15	1.22	1.35	1.34	0.39
	13.198	0.91	0.85	1.12	1.19	1.19	0.35
	8.935	0.80	0.71	1.02	1.11	1.10	0.33
	2.189	0.70	0.61	0.90	1.00	0.97	0.30
	-2.167	0.70	0.58	0.87	0.92	0.89	0.31

5. 弁の動的機能維持評価の検討方針

1. はじめに

本資料では、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（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、弁の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を図 1 に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモード解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモード解析において、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、振動数領域を

20Hz から今回工認においては、50Hz まで考慮した地震応答解析により、弁の応答加速度値の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を表 1 に示す。表 1 に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

表 1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度(1.0ZPA)を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析* ¹ から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用する。

* 1 振動数領域として 50Hz まで考慮した地震応答解析により算定する。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

図1 J E A G 4601 (1991) の抜粋

3. スペクトルモーダル解析における考慮する振動数領域の検討について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について、動的機能維持要求弁として主蒸気逃がし安全弁、主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管に対して検討を行った。本検討では、東海第二発電所における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は20Hzまでとしていたが、新たに50Hz、100Hzまで考慮したスペクトルモーダル解析を実施した。本検討の詳細は添付1に示す。

解析結果として50Hzまで振動数を考慮した場合については、20Hzに比べて応答加速度が増加したものの、100Hzまで考慮した場合では、50Hzの応答加速度に対して、弁の応答加速度値に増加がないことから、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる周波数領域については、50Hzまでを基本として評価を実施することとする。

また、本評価は代表的な弁での検討であるため、その他の動的機能要求弁についても同様の検討を行うことにより、機能維持の確認を行う。

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価として、主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管について、スペクトルモード解析にて考慮する範囲として 20Hz、50Hz 及び 100Hz までとし、各々評価結果として、弁駆動部の応答加速度を算定した。

2. 解析モデル

弁の機能維持評価に用いる主蒸気系配管の解析モデルを図 2 に示す。評価に用いる解析モデルは、原子炉圧力容器ノズルから主蒸気隔離弁の下流側をアンカ点としたモデルであり、また主蒸気逃がし安全弁の排気管についてもモデル化している。

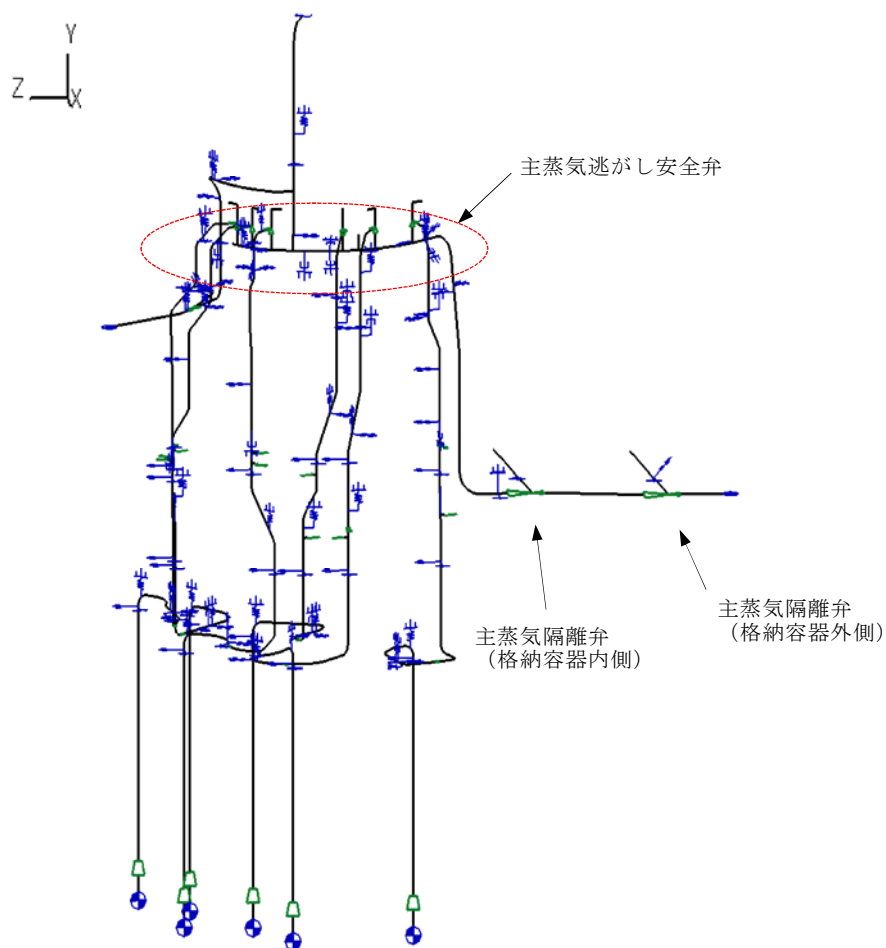


図 2 主蒸気系配管の解析モデル図

3. 入力条件

当該解析モデルは柔構造であることから、スペクトルモード解析から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用して機能維持評価を行う。

スペクトルモード解析における入力条件としては、設計用床応答曲線に 1.5 倍の余裕を見込んだ加速度値を用いることとする。なお設計用床応答曲線の作成を 20Hz としていることから、20Hz を超えた範囲については、最大応答加速度を入力とする。入力条件となる動的機能維持評価用床応答スペクトルを図 3 に示す。**動的機能維持評価用床応答スペクトルの適用性を添付 2 に示す。**

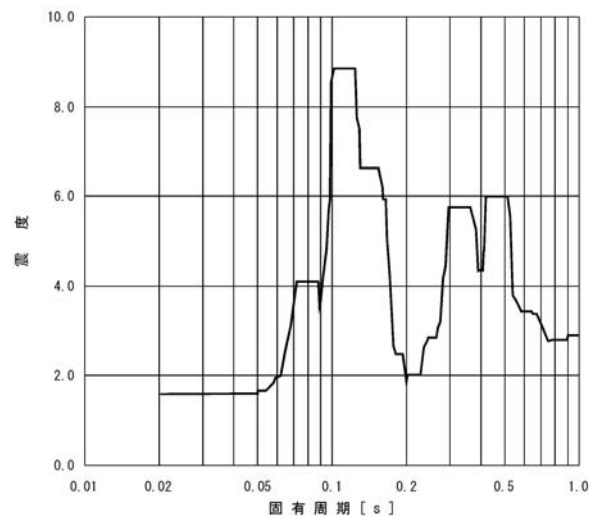


図 3(1) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 2.0%)

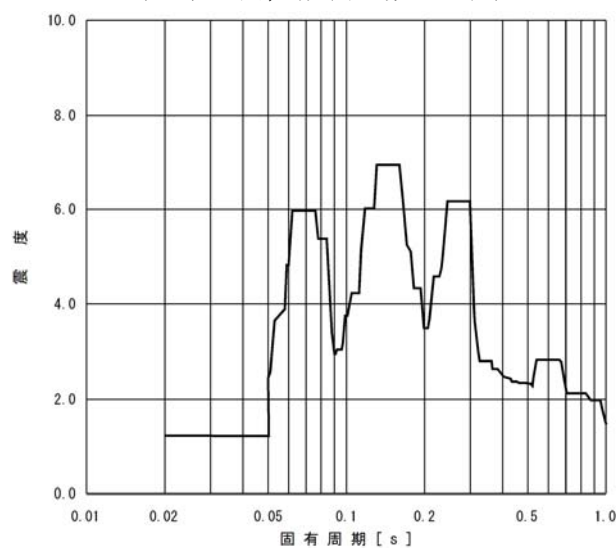


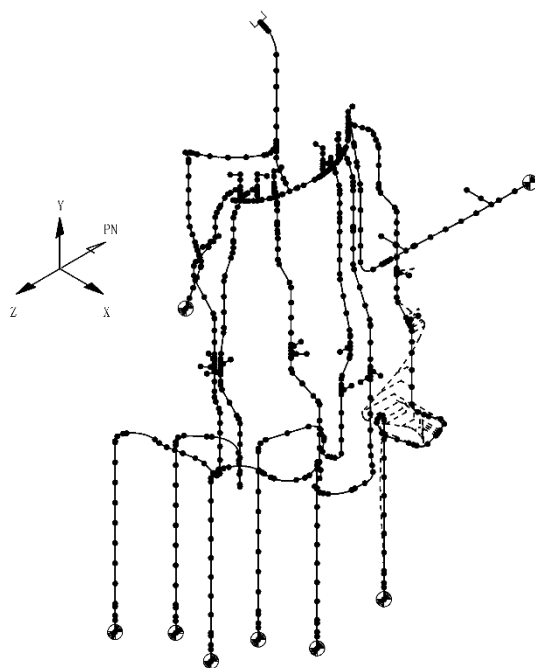
図 3(2) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

4. 固有値解析結果

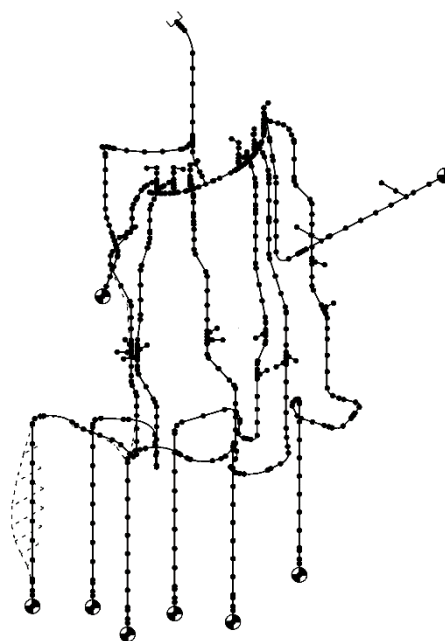
主蒸気系配管の固有値解析結果として、固有周期、刺激係数及び設計震度を表 2 に、振動モード図を図 4 に示す。

表 2 主蒸気系配管の固有周期、刺激係数及び設計震度

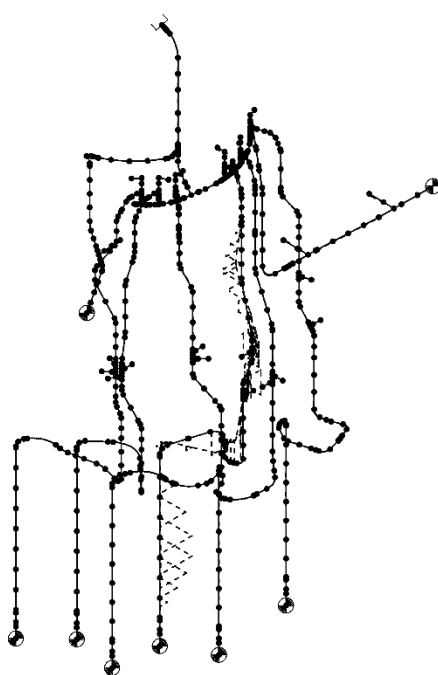
モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	8.489	0.118	0.222	0.045	0.054	8.85	8.85	5.98
2 次	9.177	0.109	0.179	0.043	0.016	8.85	8.85	4.23
3 次	10.208	0.098	0.254	0.148	0.320	5.91	5.91	3.45
4 次	10.361	0.097	0.106	0.015	0.333	5.50	5.50	3.11
5 次	10.540	0.095	0.640	0.069	0.735	4.79	4.79	3.04
6 次	10.717	0.093	0.027	0.009	0.310	4.48	4.48	3.04
7 次	10.787	0.093	0.039	0.222	0.311	4.36	4.36	3.04
8 次	10.892	0.092	0.921	0.199	0.213	4.17	4.17	3.02
9 次	11.127	0.090	0.231	0.030	0.074	3.66	3.66	2.98
10 次	11.201	0.089	0.535	0.396	0.932	3.59	3.59	3.11
138 次	49.900	0.020	0.095	0.039	0.042	1.29	1.29	1.04



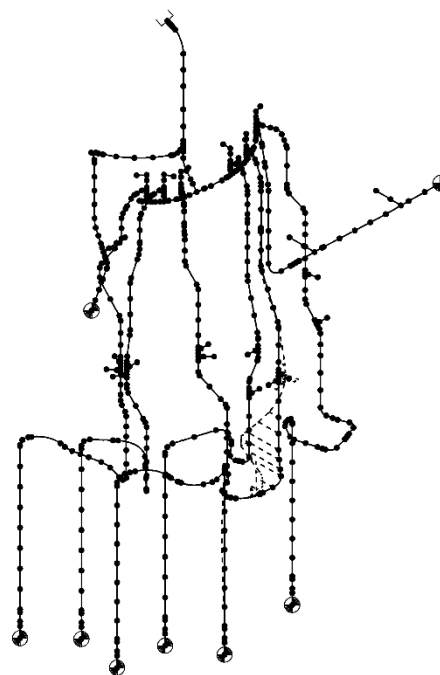
振動モード図 (1 次)
固有振動数 : 0.118 秒



振動モード図 (2 次)
固有振動数 : 0.109 秒

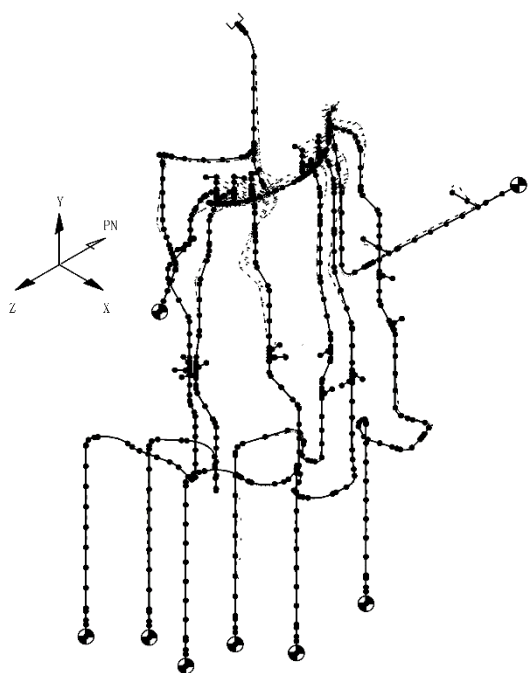


振動モード図 (3 次)
固有振動数 : 0.098 秒

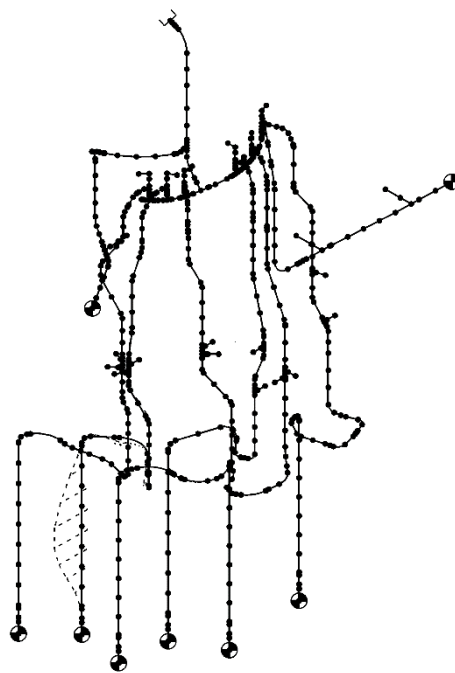


振動モード図 (4 次)
固有振動数 : 0.097 秒

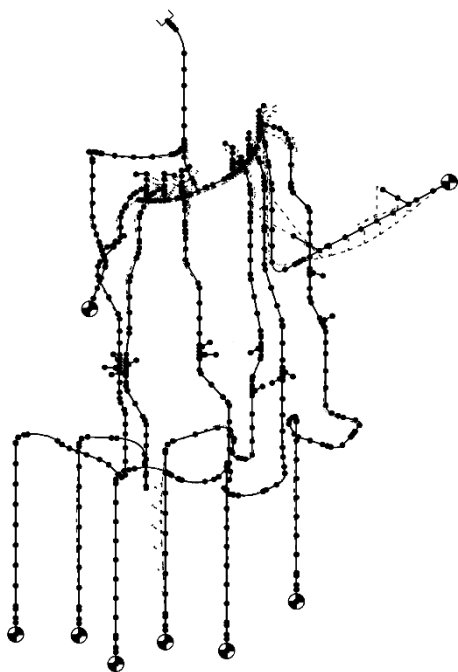
図 4(1) 主蒸気系配管の振動モード図



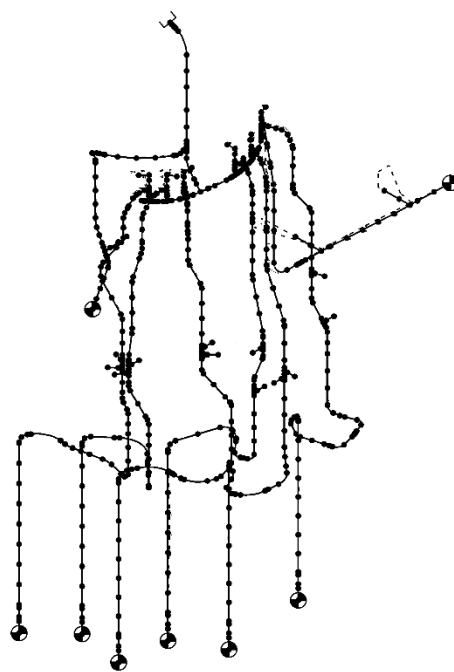
振動モード図 (5 次)
固有振動数 : 0.095 秒



振動モード図 (6 次)
固有振動数 : 0.093 秒

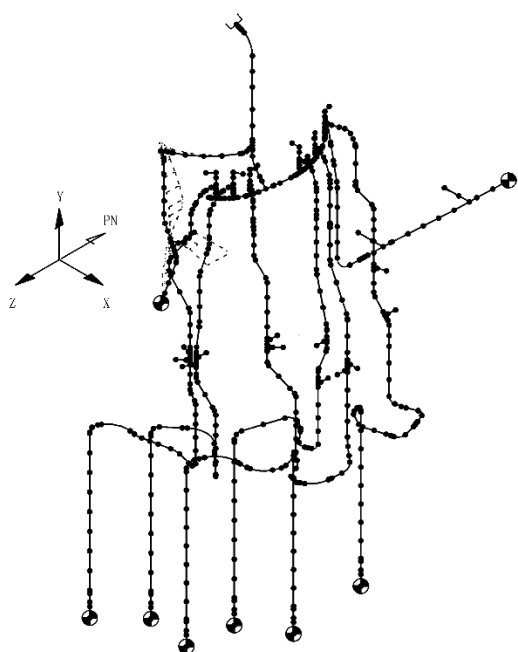


振動モード図 (7 次)
固有振動数 : 0.093 秒

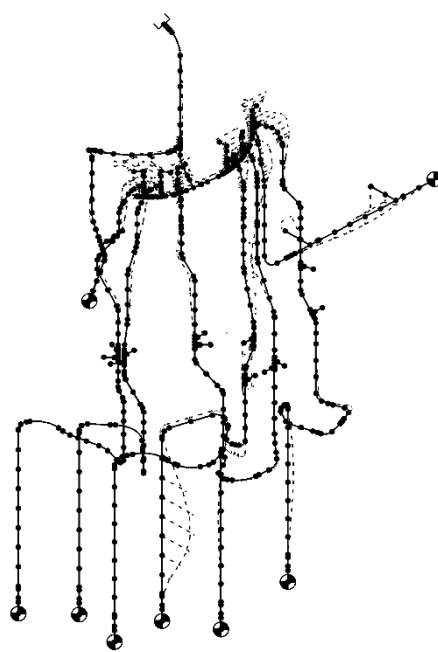


振動モード図 (8 次)
固有振動数 : 0.092 秒

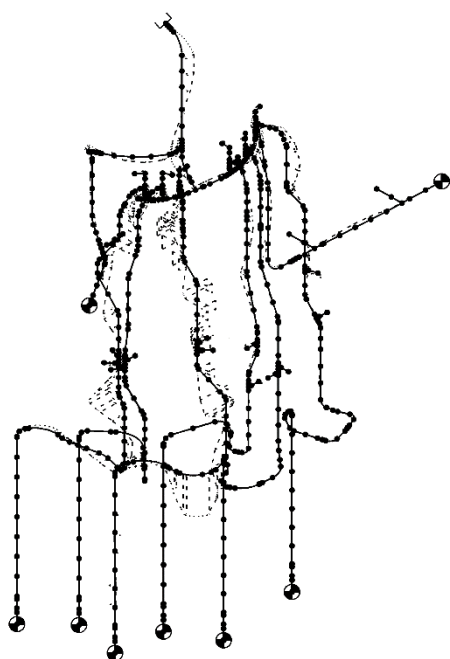
図 4(2) 主蒸気系配管の振動モード図



振動モード図 (9 次)
固有振動数 : 0.090 秒



振動モード図 (10 次)
固有振動数 : 0.089 秒



振動モード図 (138 次)
固有振動数 : 0.020 秒

図 4(3) 主蒸気系配管の振動モード図

5. 解析結果

解析モデルを用いた地震応答解析による弁駆動部位置における応答加速度の算定結果を表 1 に示す。表 3 に示すとおり 20Hz の応答加速度に対して、50Hz まで考慮した応答加速度は増加しているものの、100Hz まで考慮した応答加速度は、50Hz に対して増加は認められなかった。

表 3 弁駆動部位置における応答加速度

弁名称	方向	スペクトルモデル 解析 (G)			最大加速度 (1.2ZPA) (G)
		20Hz	50Hz	100Hz	
主蒸気逃がし安全弁	水平	5.41	5.52	5.52	1.54
	鉛直	1.84	2.05	2.05	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器内側)	水平	7.35	7.35	7.35	1.54
	鉛直	5.41	5.41	5.41	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器外側)	水平	4.90	5.00	5.00	1.54
	鉛直	3.88	3.88	3.88	1.24

弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

工事計画に係る補足説明資料【補足-340-13 機電分耐震計算書の補足について】の「2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて、機器・配管系の耐震設計における剛柔判断の固有振動数を 20Hz とすることの妥当性を確認している。前述の資料では、20Hz 近傍にて卓越する応答を示す原子炉格納容器の設計用床応答曲線を用いる配管系について、従来の応力評価手法の妥当性の確認を実施している。

本資料では上記図書と同様に、当該配管に設置された動的機能維持要求弁の加速度応答の算出に用いる床応答スペクトル（図 5 参照）として、20Hz まで作成した設計用床応答曲線に 20Hz より剛側を最大加速度とすることが妥当であることを確認する。

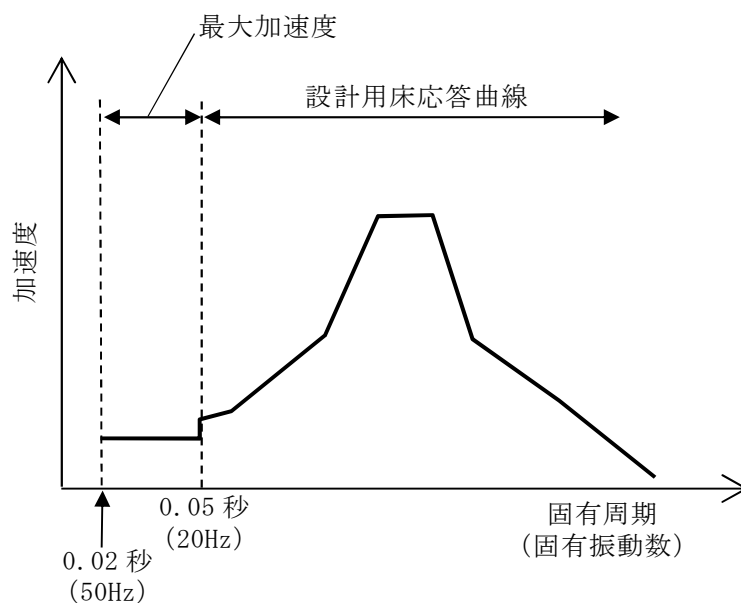


図 5 動的機能維持要求弁に用いる床応答スペクトル（イメージ図）

2. 配管系の地震応答解析

原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し、スペクトルモーダル解析を実施する解析モデルは、原子炉隔離時冷却系配管の 1 モデルのみである。当該解析モデルを図 6 に示すとおり、原子炉压力容器ノズル付近に逆止弁を有し、当該弁が動的機能維持の確認が必要となる。

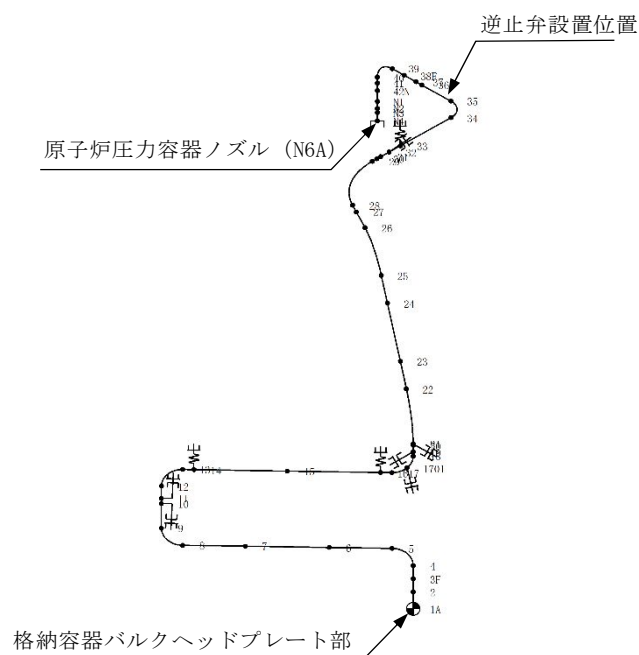


図 6 原子炉隔離時冷却系配管解析モデル図

3. 確認内容

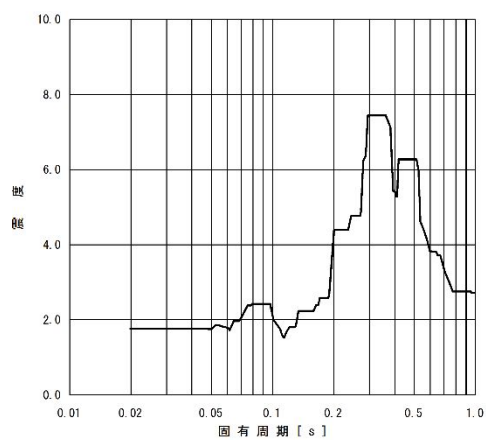
動的機能維持対象弁の応答加速度値の算出に用いる床応答スペクトルとして、以下 2 種類作成し、スペクトルモーダル解析により弁位置の応答加速度を算出することにより行う。

a. 動的機能維持評価用床応答スペクトル

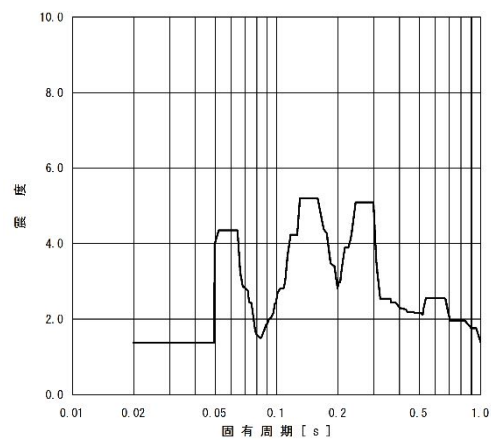
東海第二発電所動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルで有り、床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成する(図 7)。

b. 検討用床応答スペクトル

動的機能維持確認用床応答スペクトルでの応答比較のために用いる床応答スペクトルとし、床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とする (図 8)。

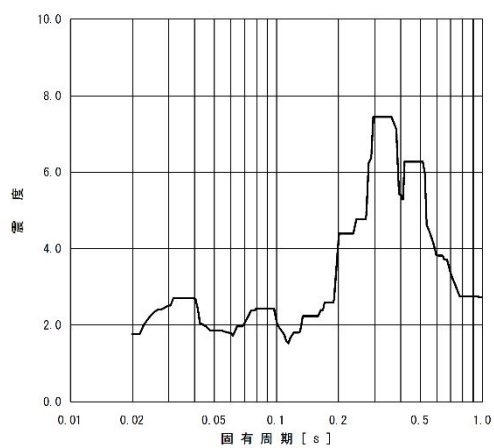


水平方向

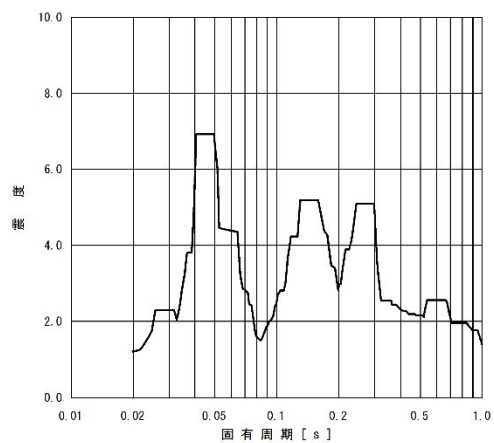


鉛直方向

図7 動的機能維持評価用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)



水平方向



鉛直方向

図8 検討用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)

4. 解析結果及び考察

(1) 解析結果

固有値解析結果として、固有振動数及び刺激係数を表 5 に、主要次数のモード図を図 9 に示す。

各床応答スペクトルを用いた地震応答解析による弁位置の応答加速度の算定結果を表 4 に示す。表 4 に示すとおり今回評価に適用する 20Hz まで作成した床応答スペクトル及び最大加速度 1.2ZPA の弁位置の応答加速度よりも 50Hz まで作成した応答スペクトルのほうが大きく値となったものの、その差は僅かであり、また確認済加速度より小さいことが確認できた。

表 4 弁設置位置における応答加速度

		弁位置の応答加速度 (G)		確認済加速度 (G)
		水平方向	鉛直方向	
動的機能 維持 評価用	動的機能維持確認用床応答スペクトル* ¹ による結果	1.53	4.90	6.0
	最大加速度 1.2ZPA	1.85	1.39	
	包絡値	1.85	4.90	
検討用	検討用床応答スペクトル* ² による結果	1.94	5.10	6.0

* 1 : 床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成 (図 7)

* 2 : 床応答スペクトルの範囲を 50Hz として作成 (図 8)

(2) 解析結果を踏まえた対応方針

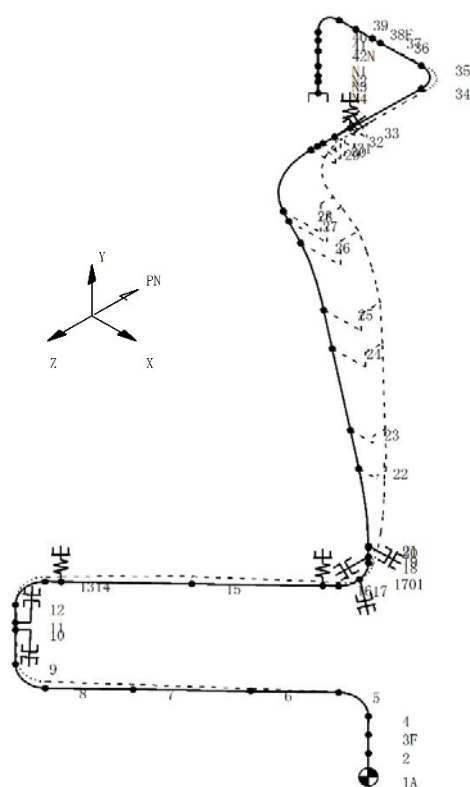
本検討に用いた床応答スペクトルは、20Hz に応答が卓越する構築物に設置される配管系を用いて検討を実施した。20Hz に卓越する応答を有する厳しい条件においても弁位置の応答増加は、1.85G から 1.94G の増加でその割合は 5%程度で有った。

本解析結果を踏まえて、20Hz に卓越する応答を示す構築物として原子炉格納容器の床

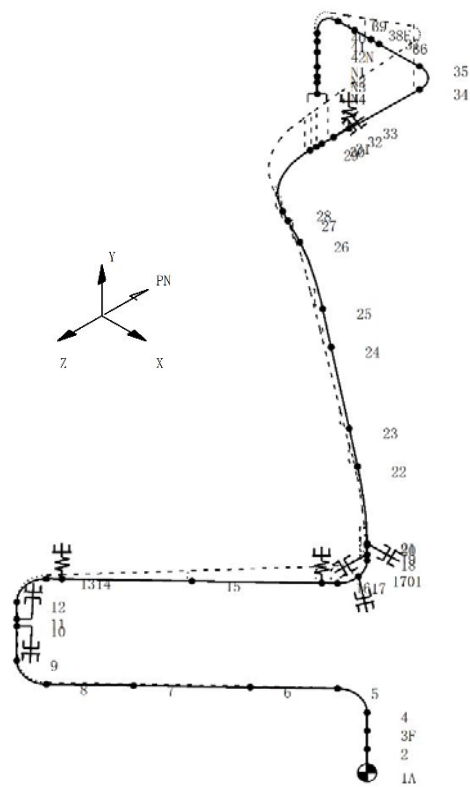
応答スペクトルを用いる配管系において、10%の裕度が確保できない弁については、3.項に示す「検討用床応答スペクトル」を用いた検討を実施する。

表 5 原子炉隔離時冷却系配管の固有振動数及び刺激係数

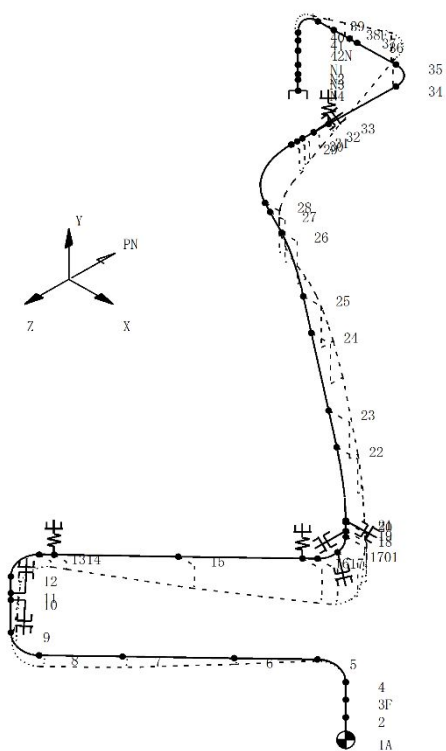
モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	12.60	0.079	0.160	0.093	0.084	2.41	2.41	1.71
2 次	15.10	0.066	0.096	0.286	0.008	1.97	1.97	3.68
3 次	21.18	0.047	0.088	0.069	0.006	1.91	1.91	6.93
4 次	22.23	0.045	0.131	0.148	0.051	2.00	2.00	6.93
5 次	25.02	0.040	0.053	0.059	0.204	2.72	2.72	4.98
6 次	27.24	0.037	0.100	0.015	0.193	2.72	2.72	3.64
7 次	29.30	0.034	0.107	0.081	0.123	2.72	2.72	2.42
8 次	32.82	0.030	0.017	0.027	0.160	2.51	2.51	2.30
9 次	35.54	0.028	0.023	0.028	0.007	2.43	2.43	2.30
10 次	39.90	0.025	0.101	0.010	0.081	2.28	1.79	2.28
11 次	44.48	0.022	0.009	0.004	0.024	1.89	1.34	1.89
12 次	48.69	0.021	0.092	0.009	0.092	1.77	1.22	1.77



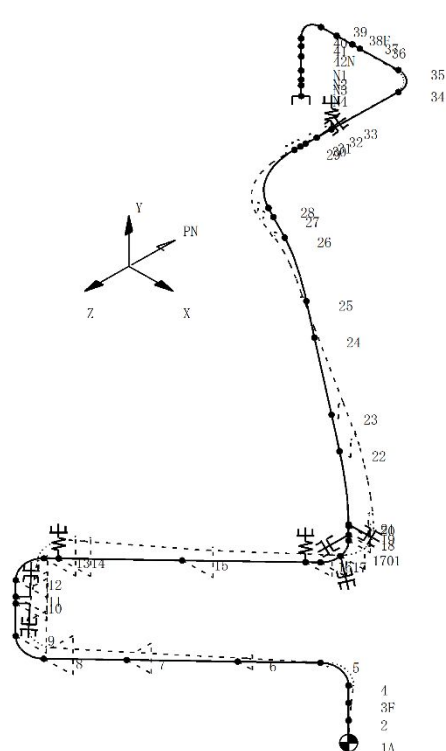
振動モード図（1次）
固有振動数：12.60 Hz



振動モード図（2次）
固有振動数：15.10 Hz

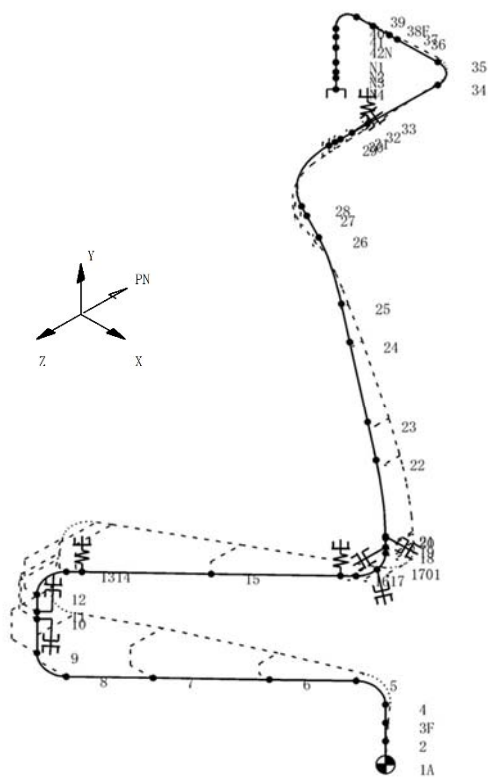


振動モード図（3次）
固有振動数：21.18 Hz

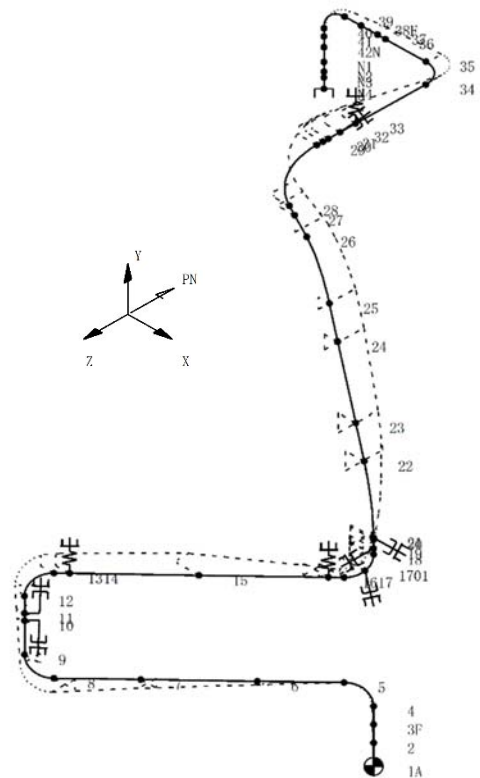


振動モード図（4次）
固有振動数：22.23 Hz

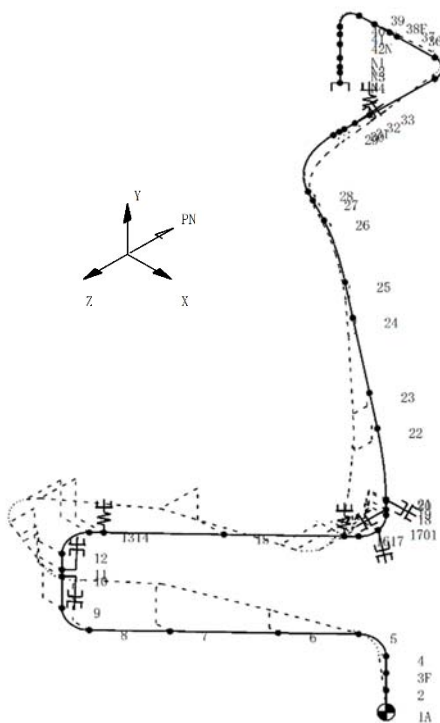
図 9(1) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図



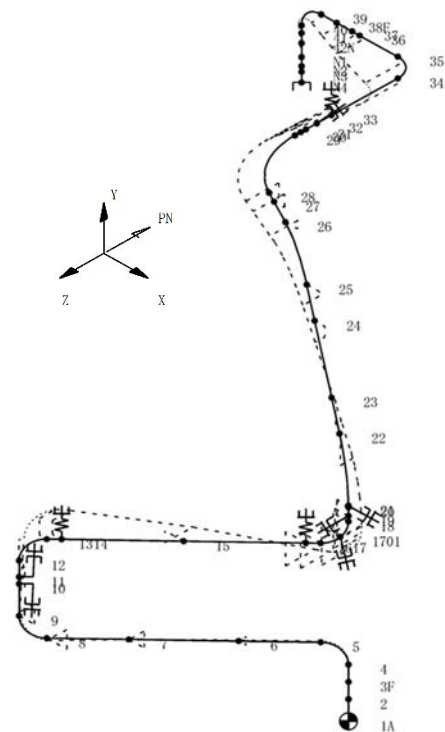
振動モード図 (5 次)
固有振動数 : 25.02 Hz



振動モード図 (6 次)
固有振動数 : 27.24 Hz

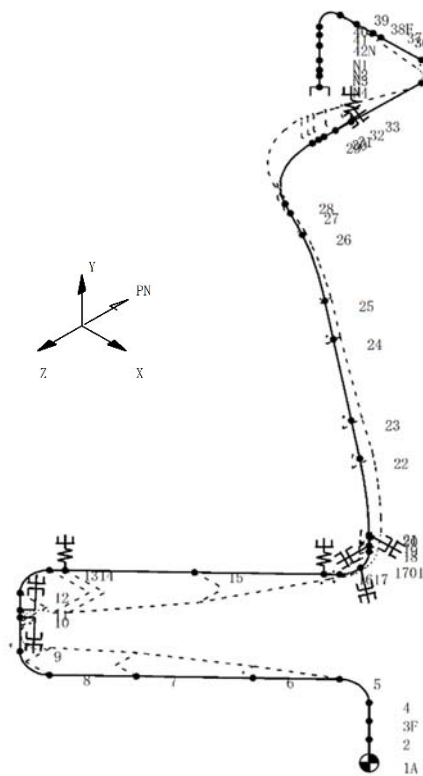


振動モード図 (7 次)
固有振動数 : 29.30 Hz

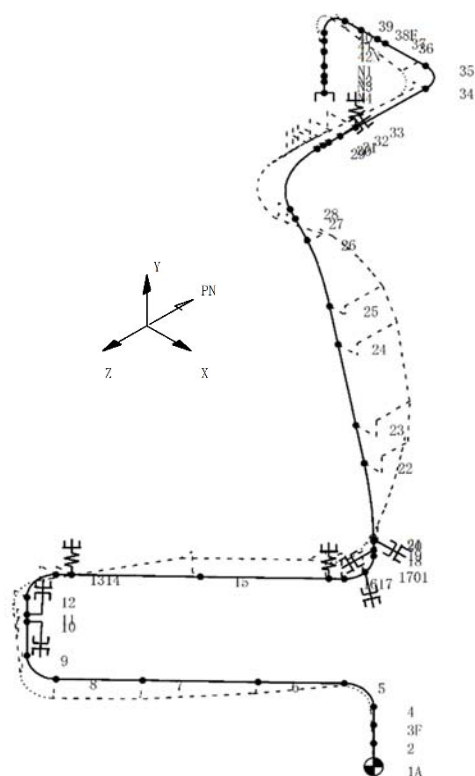


振動モード図 (8 次)
固有振動数 : 32.82 Hz

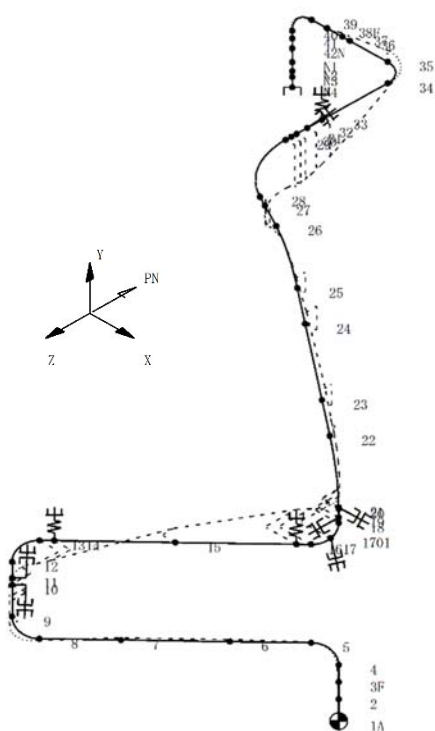
図 9(2) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図



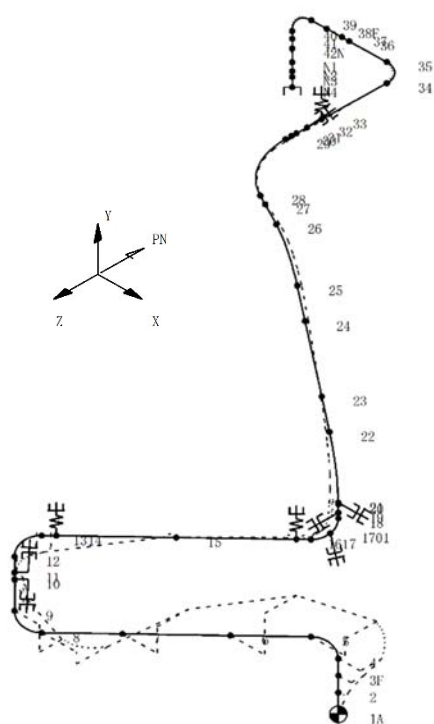
振動モード図 (9 次)
固有振動数 : 35.54 Hz



振動モード図 (10 次)
固有振動数 : 39.90 Hz



振動モード図 (11 次)
固有振動数 : 44.48 Hz



振動モード図 (12 次)
固有振動数 : 48.69 Hz

図 9(3) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図