

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改7
提出年月日	平成30年4月20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4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

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。

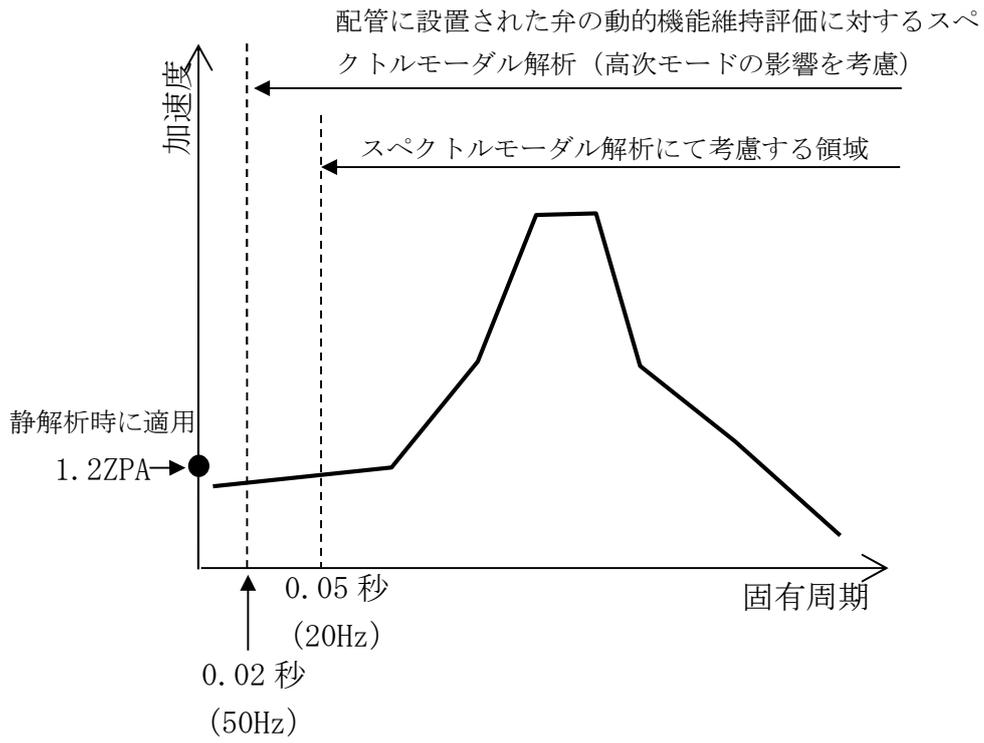


図 2-1 静解析及びスペクトルモーダル解析にて適用する加速度値

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採用する。以下では、各建物・構築物、土木構造物における設定方法を説明する。

3.2.1 原子炉建屋

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

原子炉建屋床面に設置された機器・配管系については、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 を採用する場合も同様に 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 を採用する場合も同様に 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 (%)

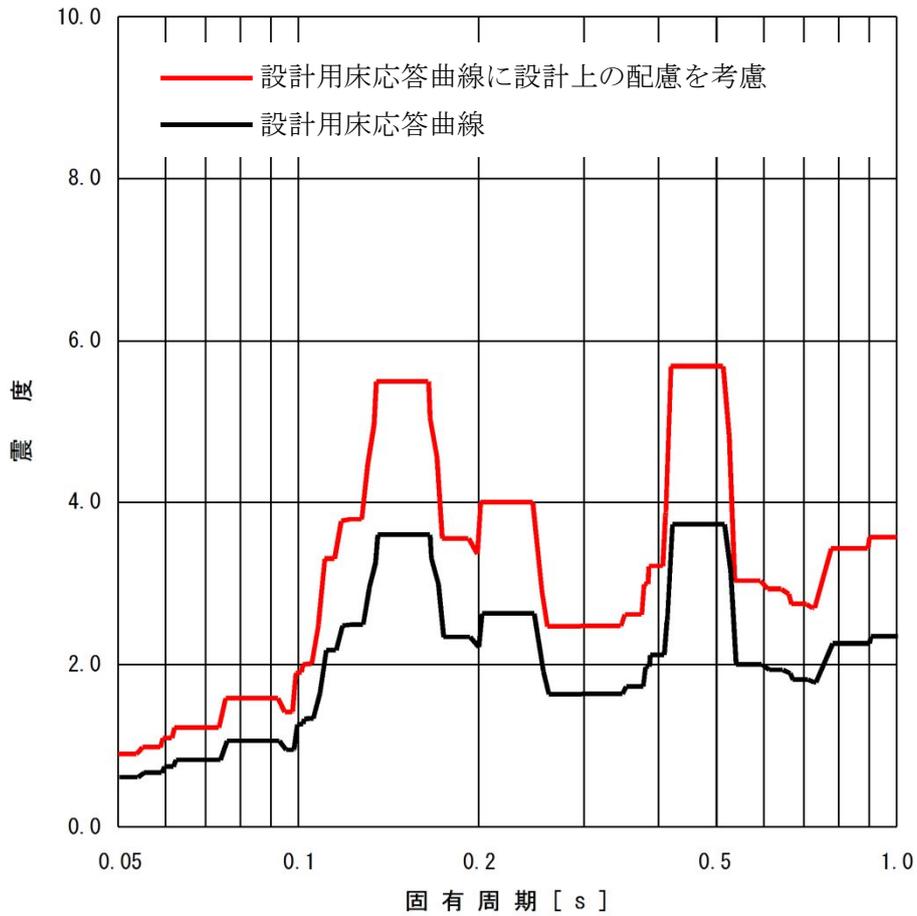


図 3-1 設計用床応答曲線に一律 1.5 倍を考慮 (例)

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 (%)

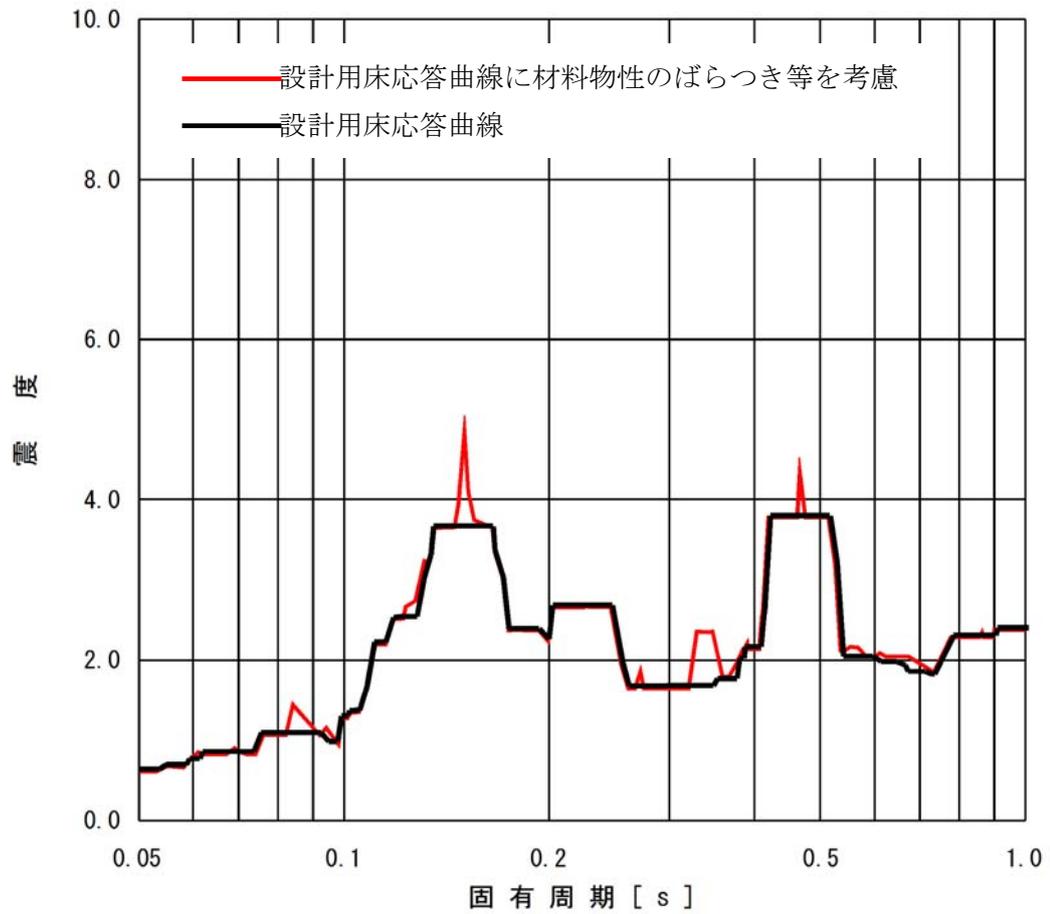


図 3-2 地盤物性等のばらつきを踏まえた考慮 (例)

床応答スペクトル固有周期計算間隔について

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

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

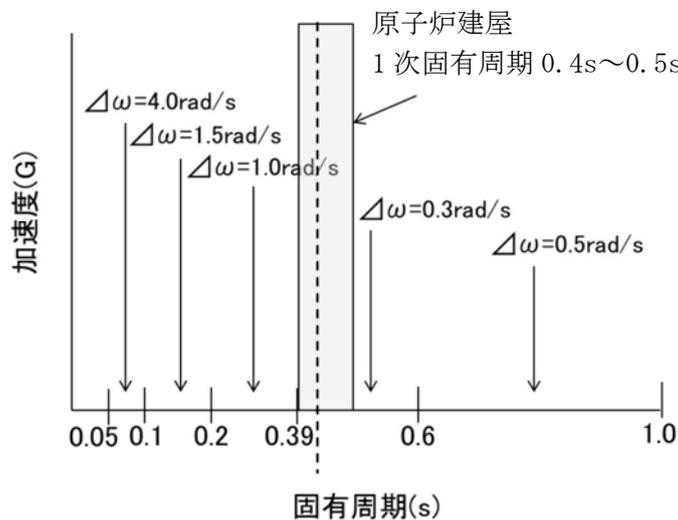


図-1 床応答スペクトル固有周期の計算間隔

表-2 床応答曲線作成に用いる固有周期計算間隔の設定手順

表 2-1 で定義した固有周期と計算間隔

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

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。

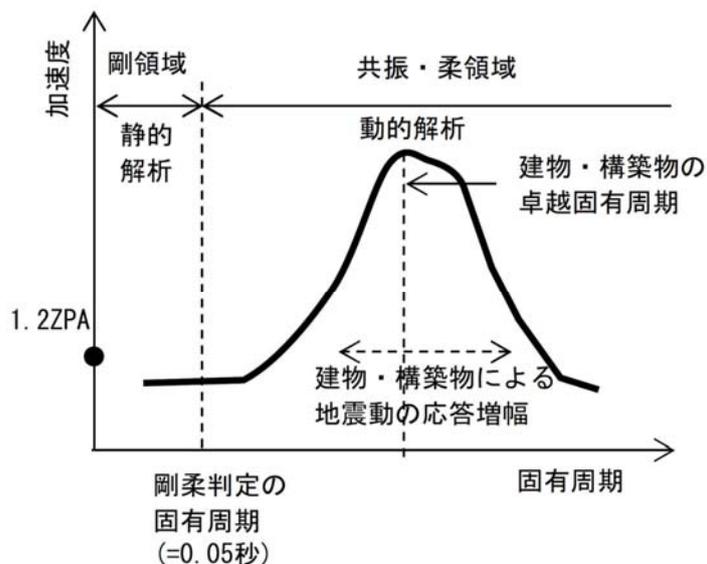


図 1 剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲 (概要図)

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 S₁ 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 S₂ 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

1次モード
 固有周期 : 0.409 (s)
 固有振動数 : 2.44 (Hz)
 刺激係数 : 1.916

2次モード
 固有周期 : 0.202 (s)
 固有振動数 : 4.96 (Hz)
 刺激係数 : 1.154

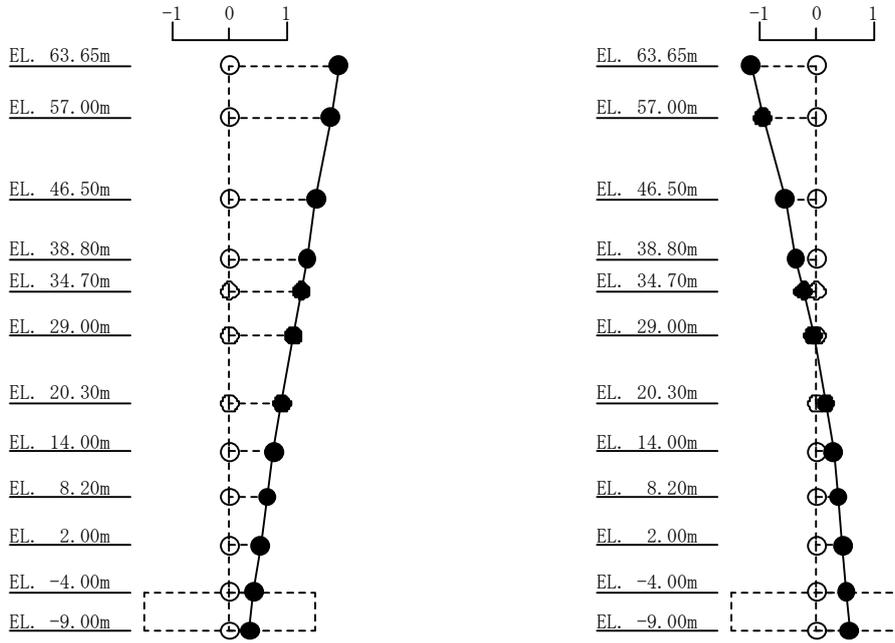


図4 刺激関数図 (S_s-D1, NS 方向)

1次モード
 固有周期 : 0.411 (s)
 固有振動数 : 2.43 (Hz)
 刺激係数 : 1.941

2次モード
 固有周期 : 0.202 (s)
 固有振動数 : 4.96 (Hz)
 刺激係数 : 1.213

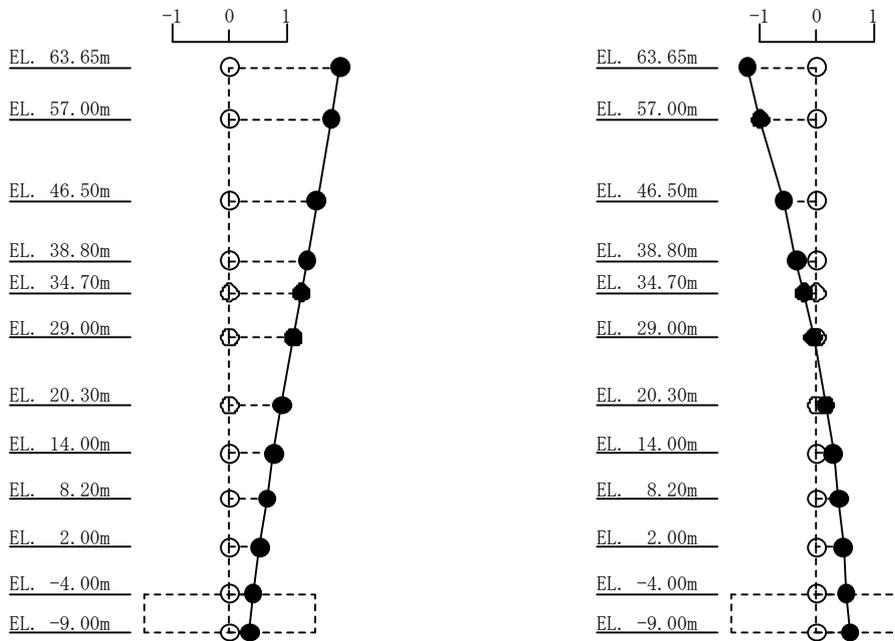


図5 刺激関数図 (S_s-D1, EW 方向)

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

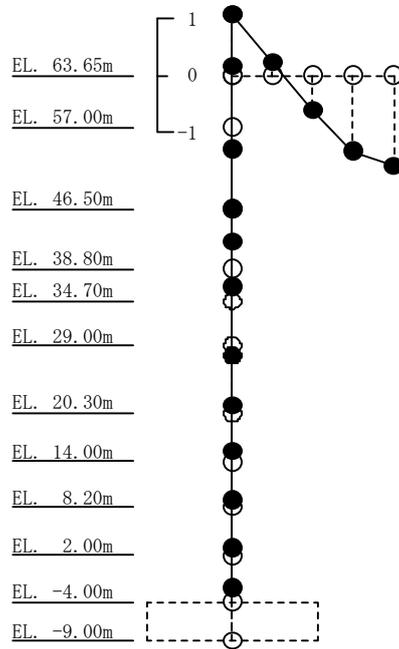


図6 刺激関数図 ($S_s - D 1$, UD 方向)

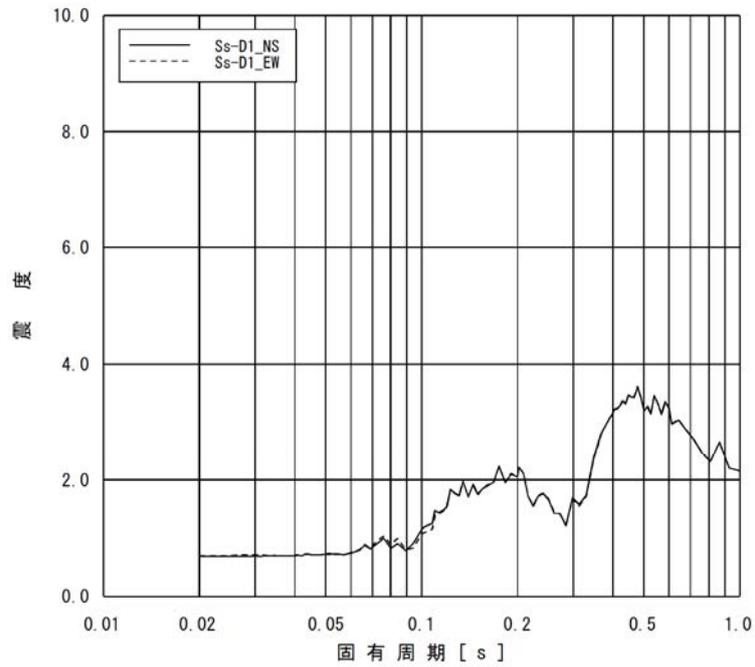


図 7-1 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 1.0%)

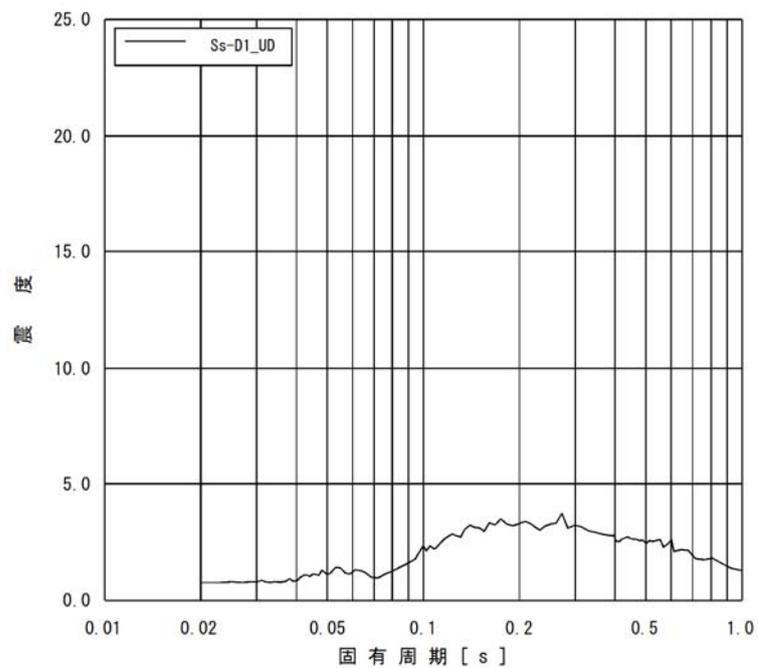


図 7-2 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

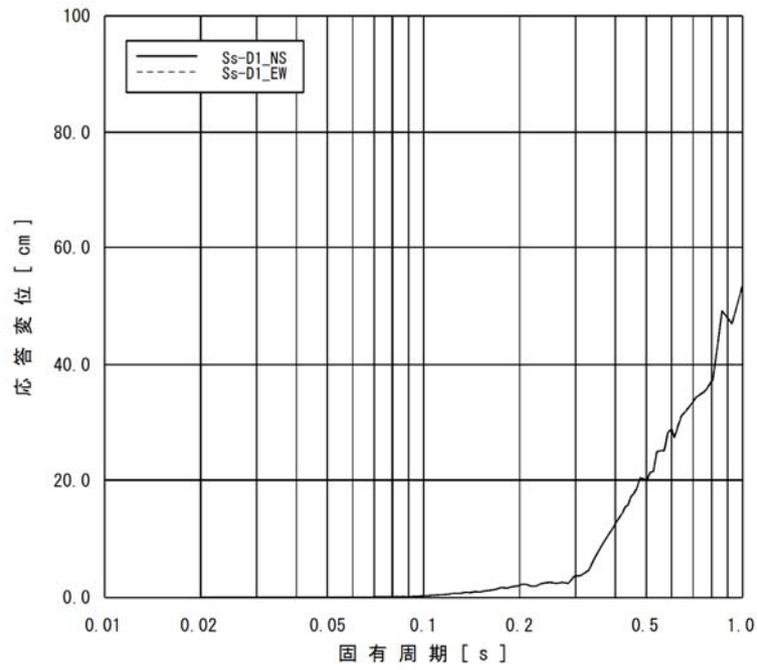


図 8-1 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の変位応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 1.0%)

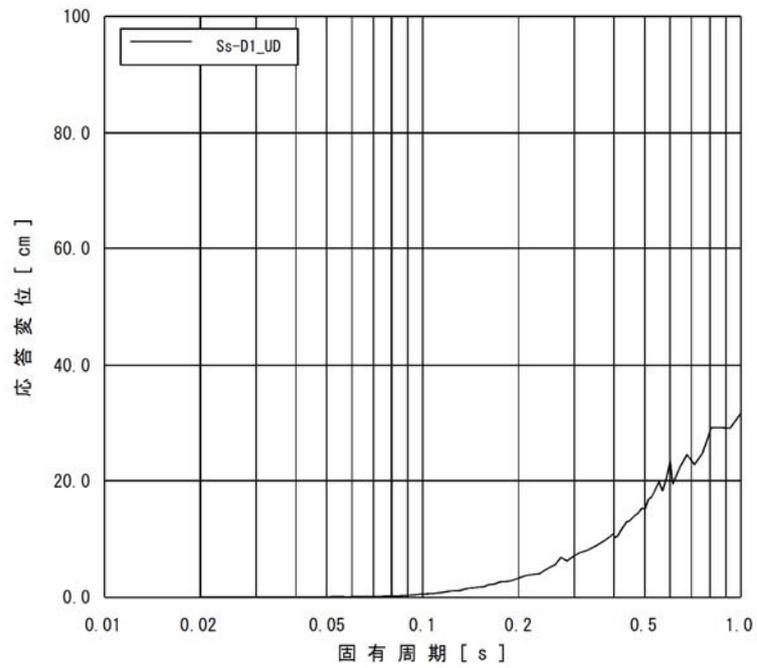


図 8-2 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の変位応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

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

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 a. 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。

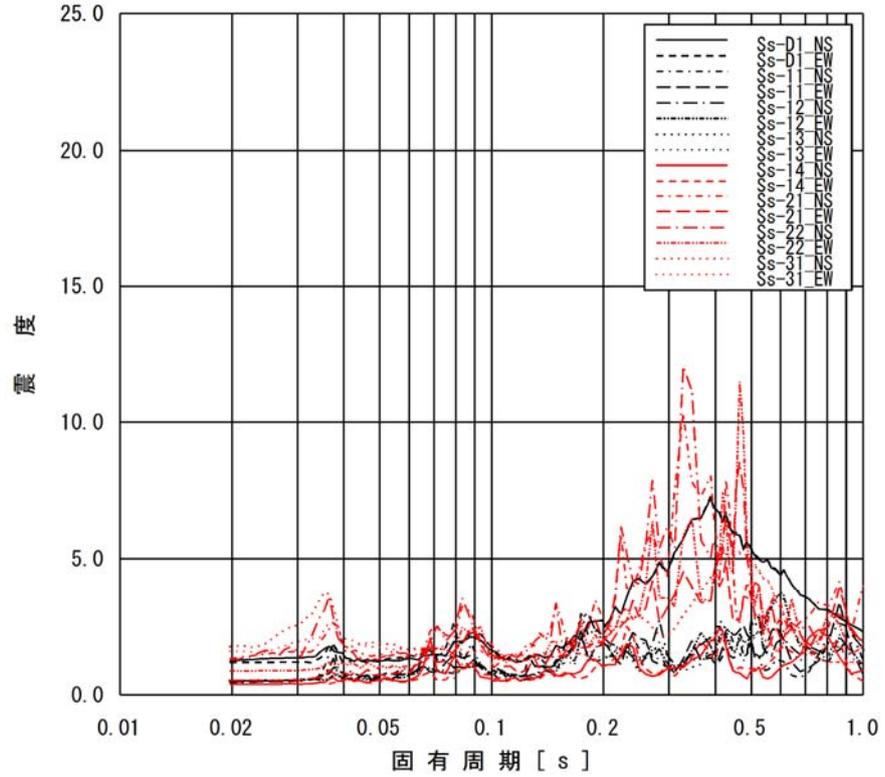


図 9-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

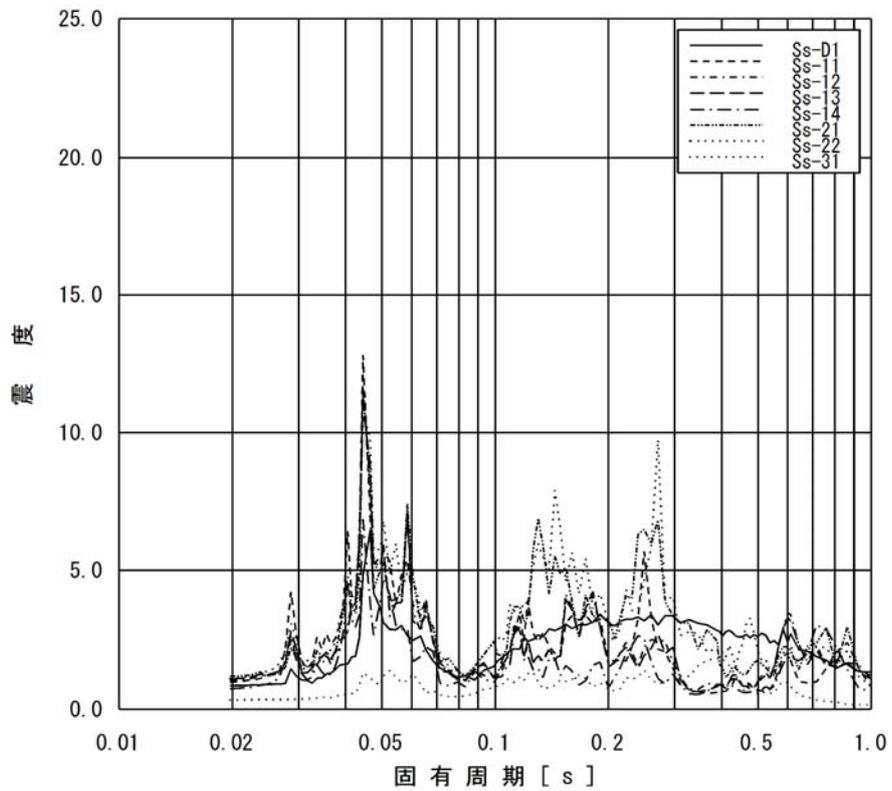


図 9-2 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

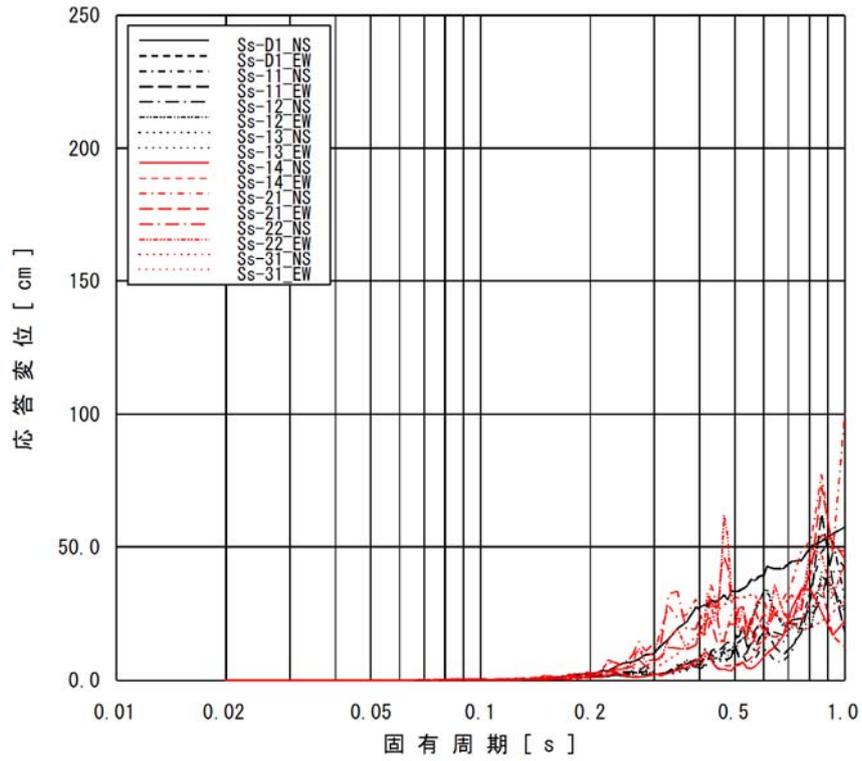


図 10-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の変位応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

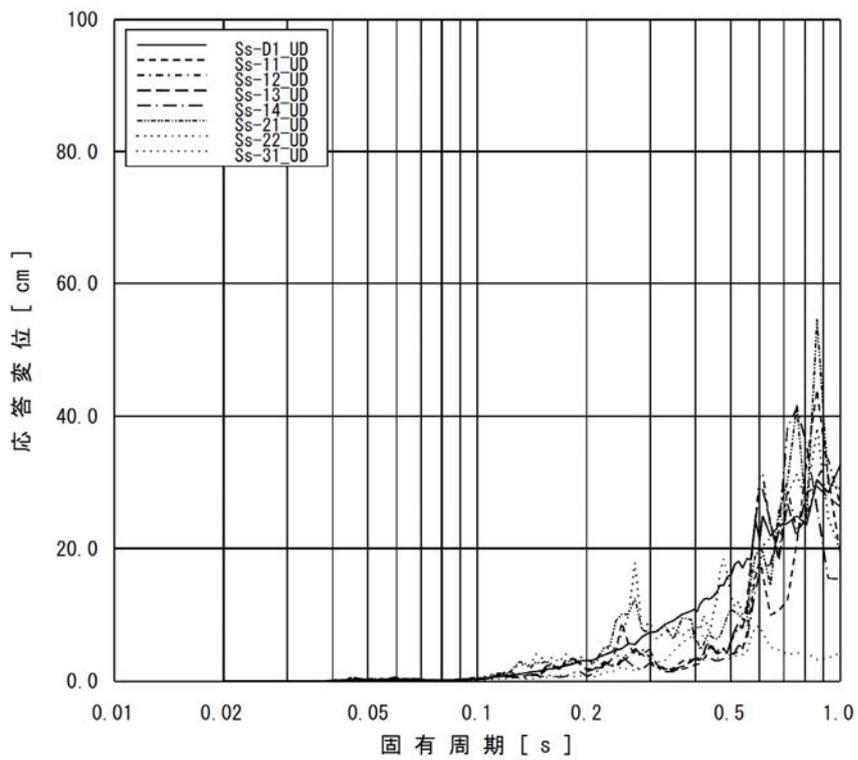


図 10-2 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の変位応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

(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。

検討対象設備を選定するに当たって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。

a. 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。

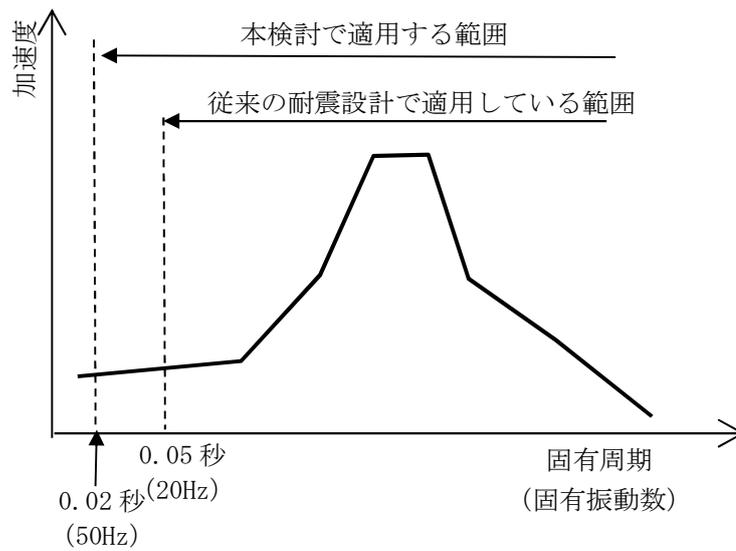


図 11 地震応答解析で考慮する固有振動数領域

b. 検討対象設備

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及び 20Hz 近傍に 1 次固有周期を有する格納容器スプレイヘッドを対象に検討する。

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

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の例を図 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ている。

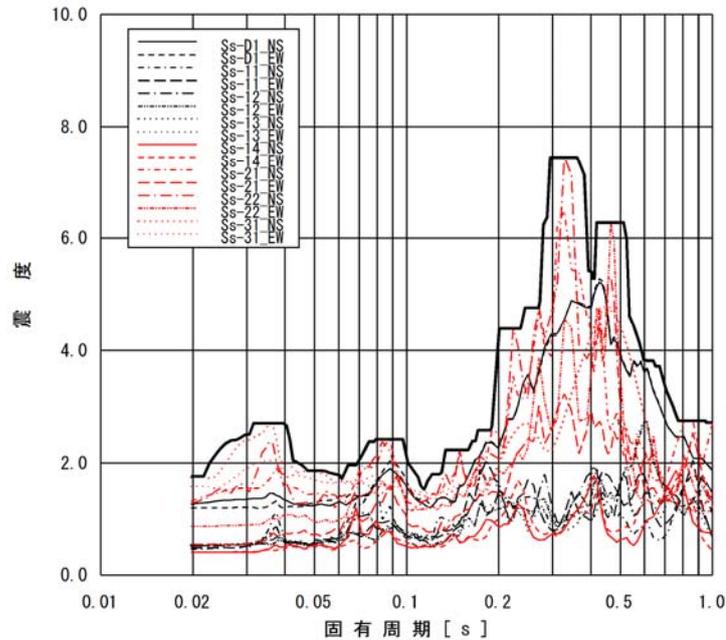


図 12-1 検討用床応答曲線

(原子炉格納容器 EL. 39.431m 水平方向, 減衰定数 2.5%)

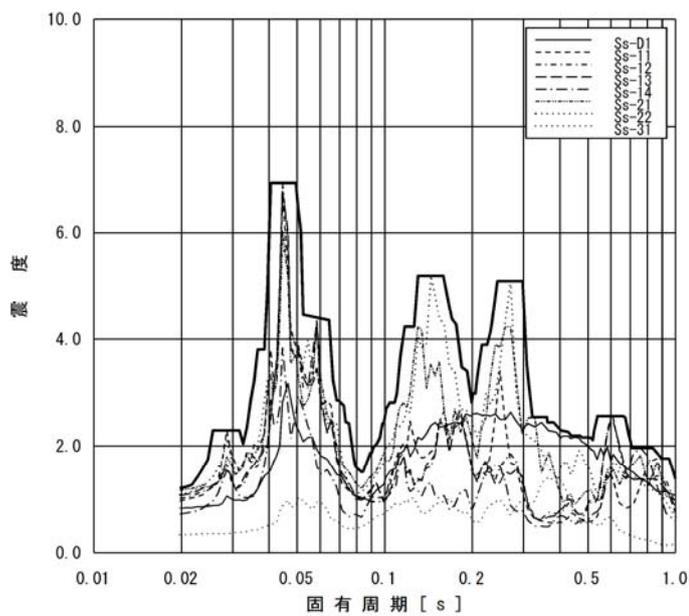


図 12-2 検討用床応答曲線

(原子炉格納容器 EL. 39.431m 鉛直方向, 減衰定数 2.5%)

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格納容器スプレイヘッダ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。

(a) 原子炉隔離時冷却系配管

評価結果を表 4 に示すとともに，最大応力点発生部位を図 13 に示す。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 4 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)
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
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
静的解析 (1.2ZPA)	追而	364

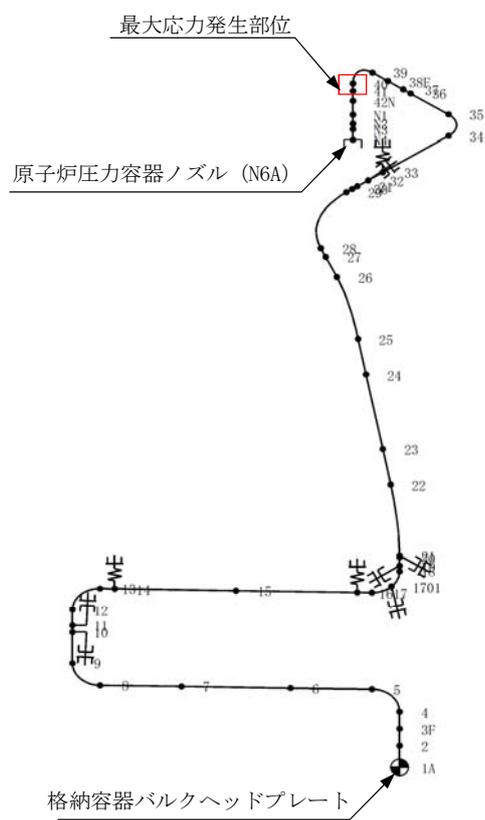


図 13 原子炉隔離時冷却系配管の最大応力発生部位

(b) 格納容器スプレイヘッド
(追而)

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 (°C)	302
外 径 (mm)	165.2
厚 さ (mm)	14.3
材 料	GSTPL 相当 (ASME SA333Gr. 6)

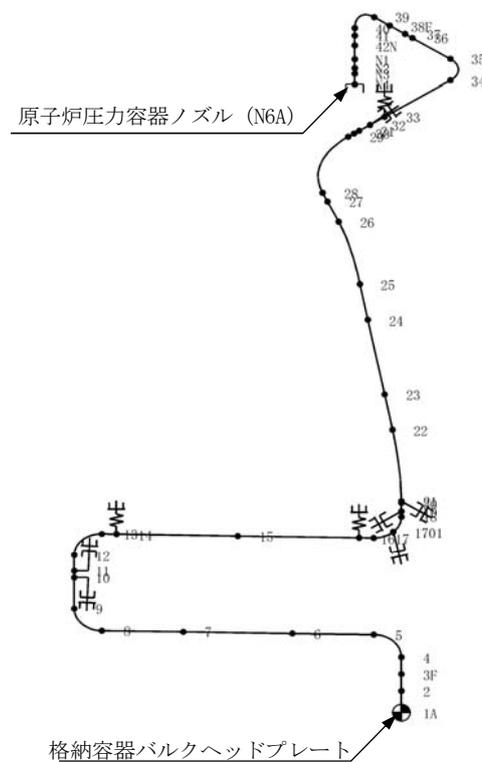
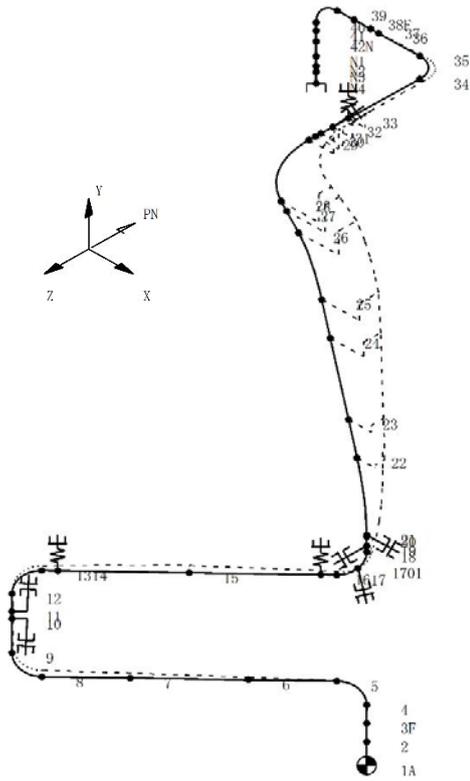


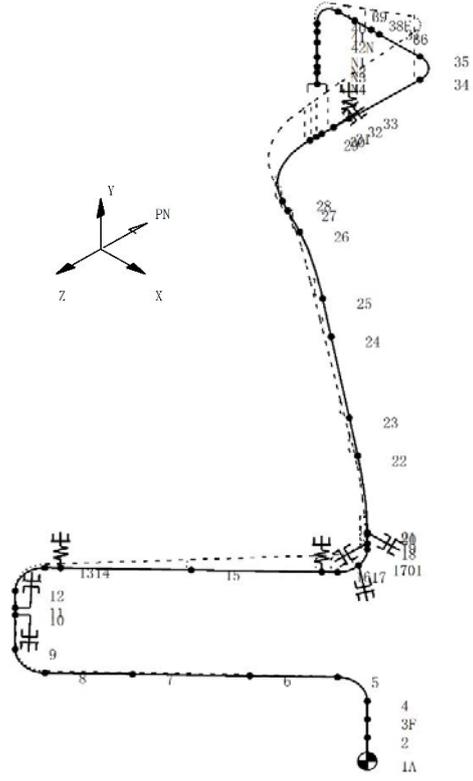
図 1 原子炉隔離時冷却系配管の解析モデル図

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

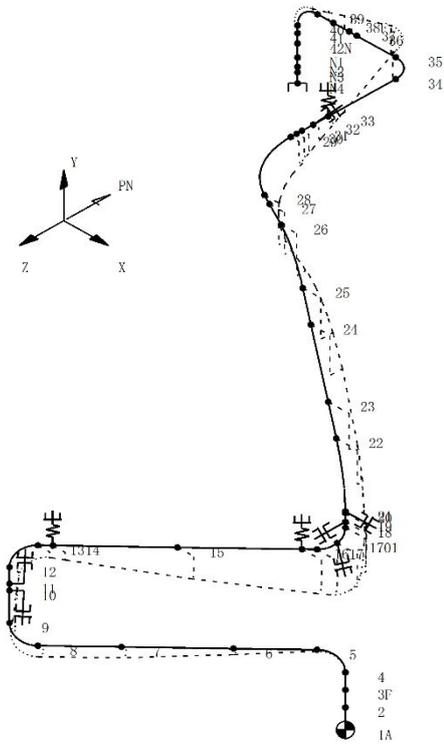
モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数		
			X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	12.60	0.079	0.160	0.093	0.084
2 次	15.10	0.066	0.096	0.286	0.008
3 次	21.18	0.047	0.088	0.069	0.006
4 次	22.23	0.045	0.131	0.148	0.051
5 次	25.02	0.040	0.053	0.059	0.204
6 次	27.24	0.037	0.100	0.015	0.193
7 次	29.30	0.034	0.107	0.081	0.123
8 次	32.82	0.030	0.017	0.027	0.160
9 次	35.54	0.028	0.023	0.028	0.007
10 次	39.90	0.025	0.101	0.010	0.081
11 次	44.48	0.022	0.009	0.004	0.024
12 次	48.69	0.021	0.092	0.009	0.092



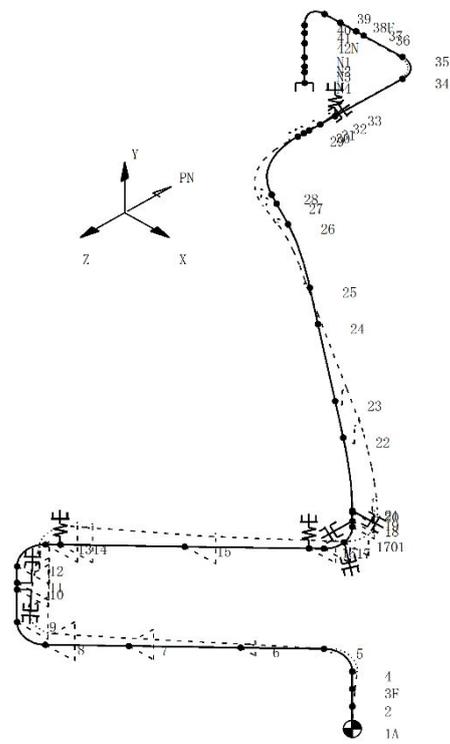
振動モード図 (1次)
固有振動数 : 12.60 Hz



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. 格納容器スプレイヘッド

格納容器スプレイヘッドの主要仕様を表 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 格納容器スプレイヘッドの主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	3.45
最高使用温度 (°C)	76.7
外 径 (mm)	114.3
厚 さ (mm)	3.5 6.0
材 料	GSTPL 相当 (ASME SA333Gr. 6)

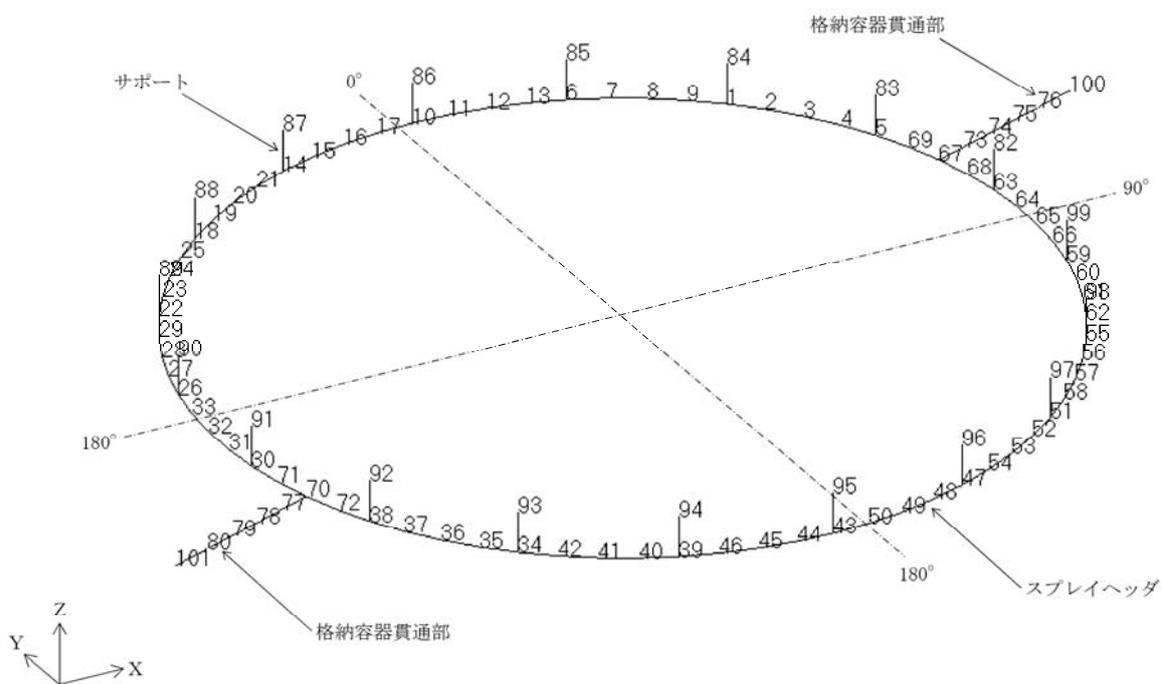
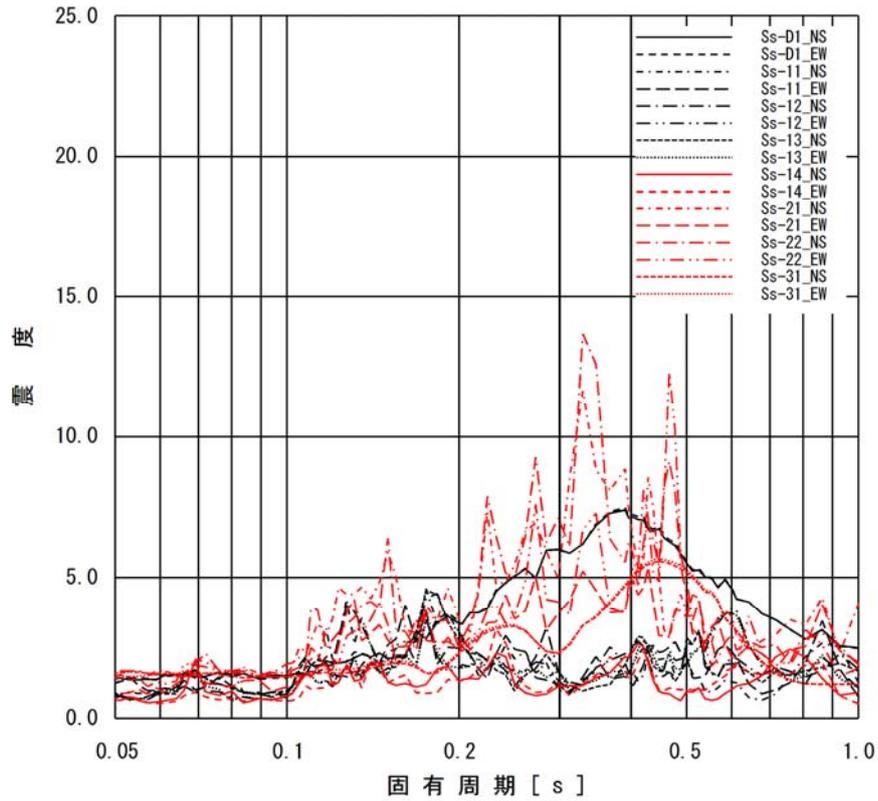


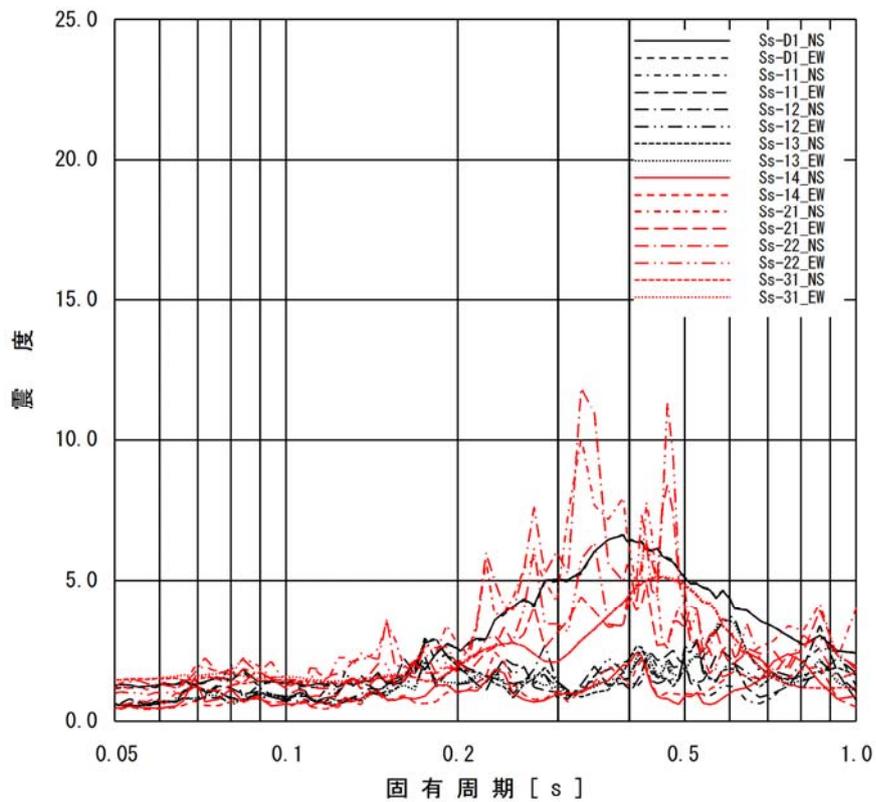
図 3 格納容器スプレイヘッドの解析モデル図

表 4 格納容器スプレイヘッドの固有振動数及び刺激係数
追而

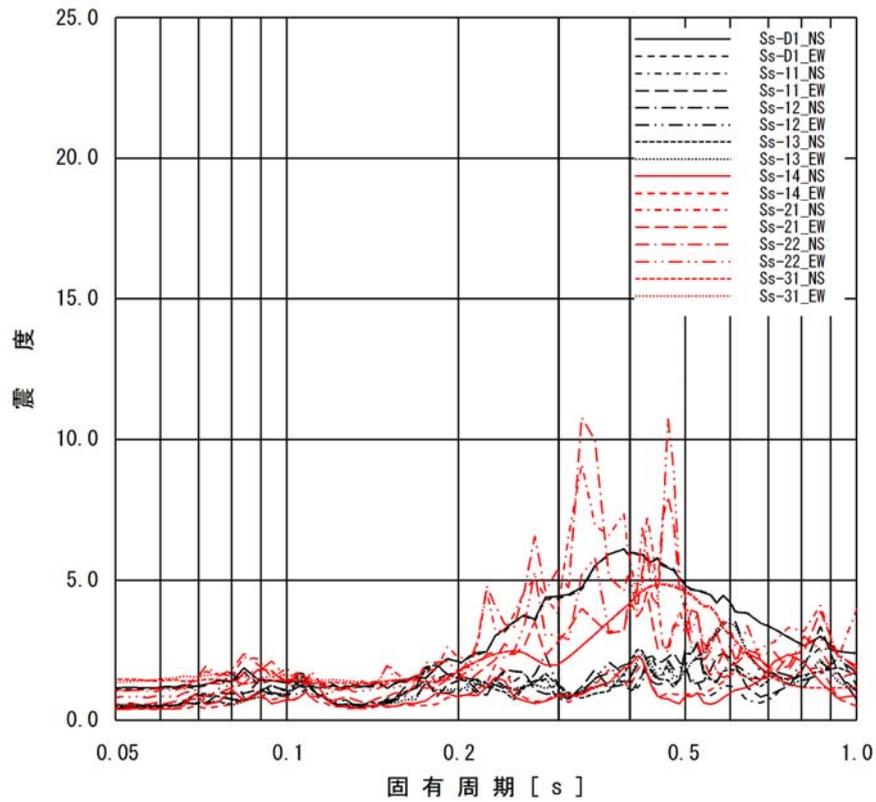
図 4 格納容器スプレイヘッドのモード図
追而



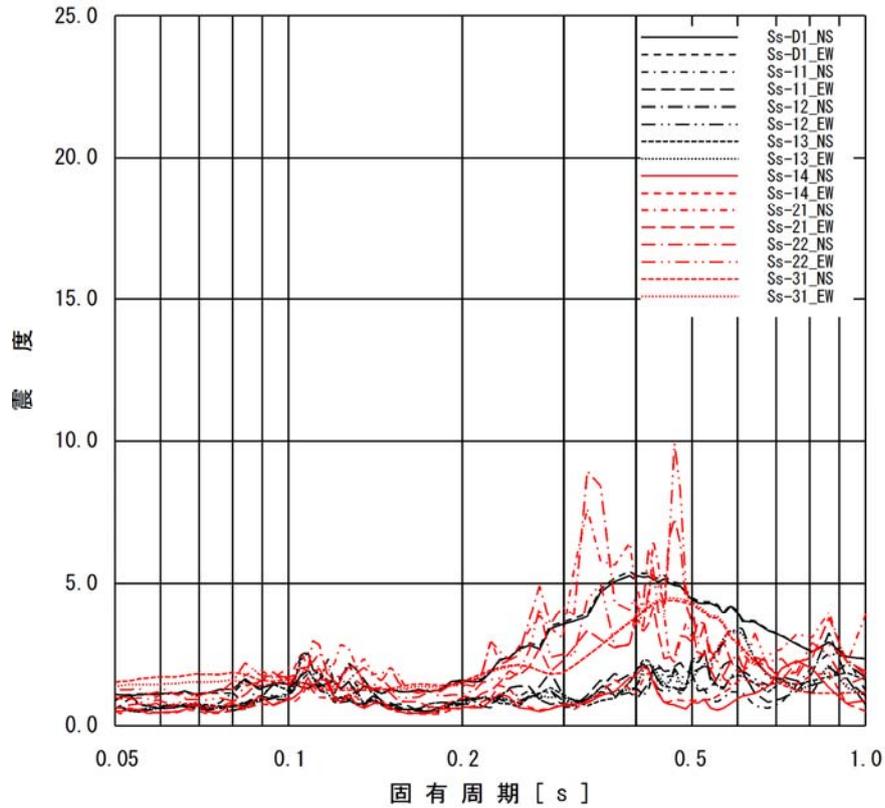
添付図 1-1 原子炉建屋 (EL. 46.5m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



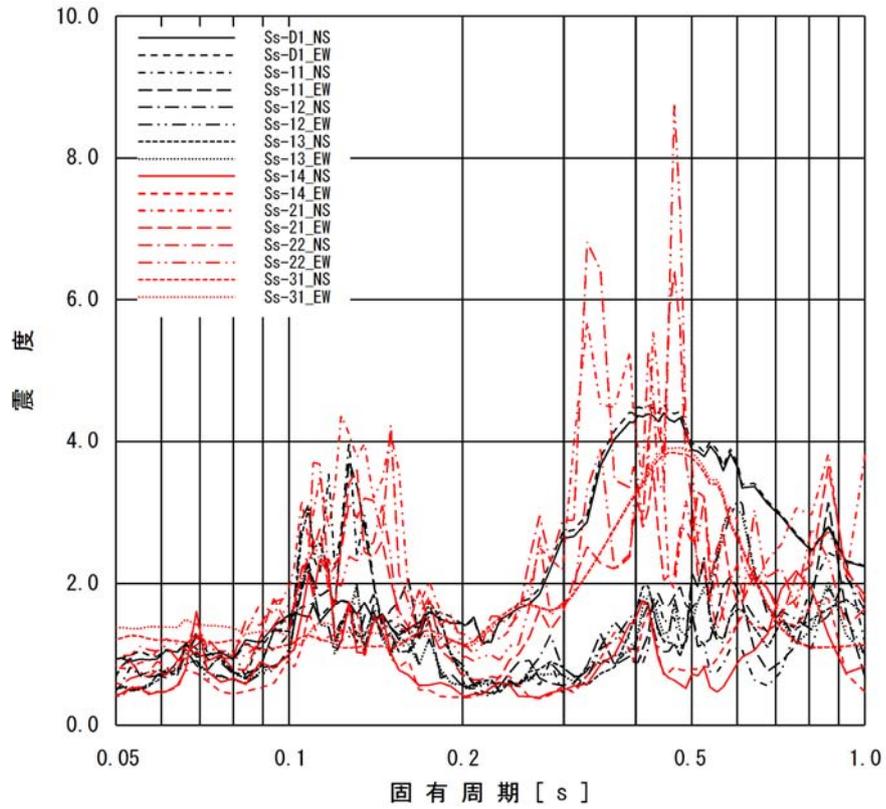
添付図 1-2 原子炉建屋 (EL. 38.8m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



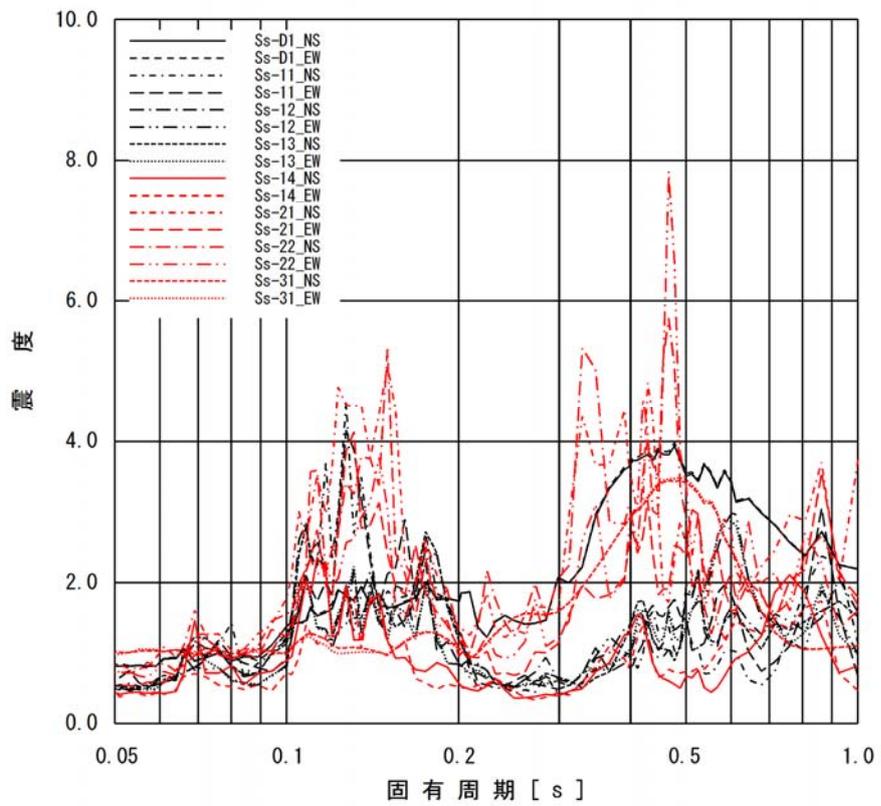
添付図 1-3 原子炉建屋 (EL. 34.7m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



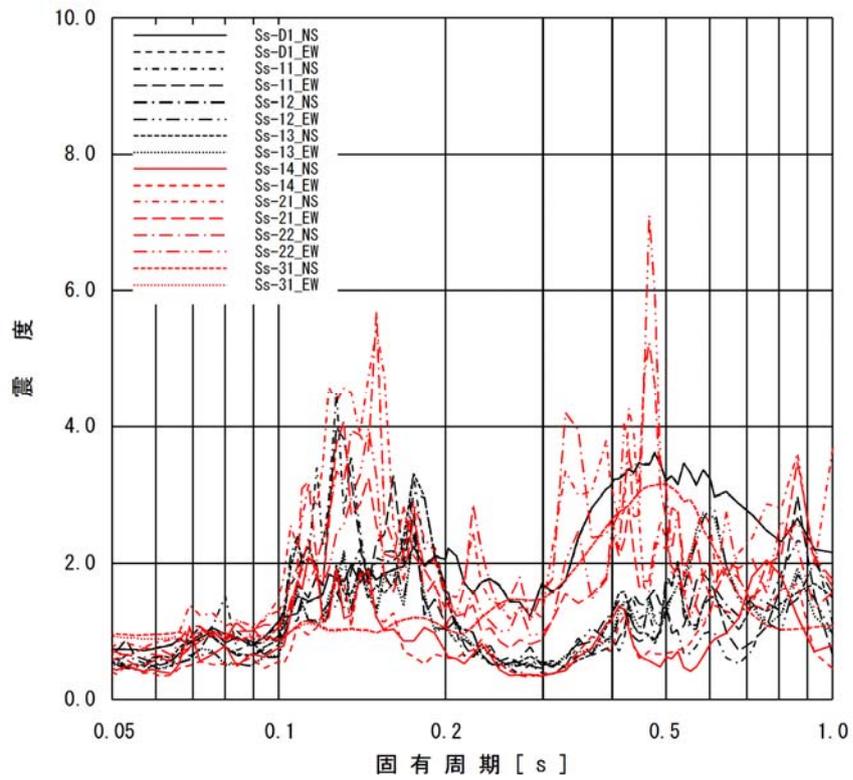
添付図 1-4 原子炉建屋 (EL. 29.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



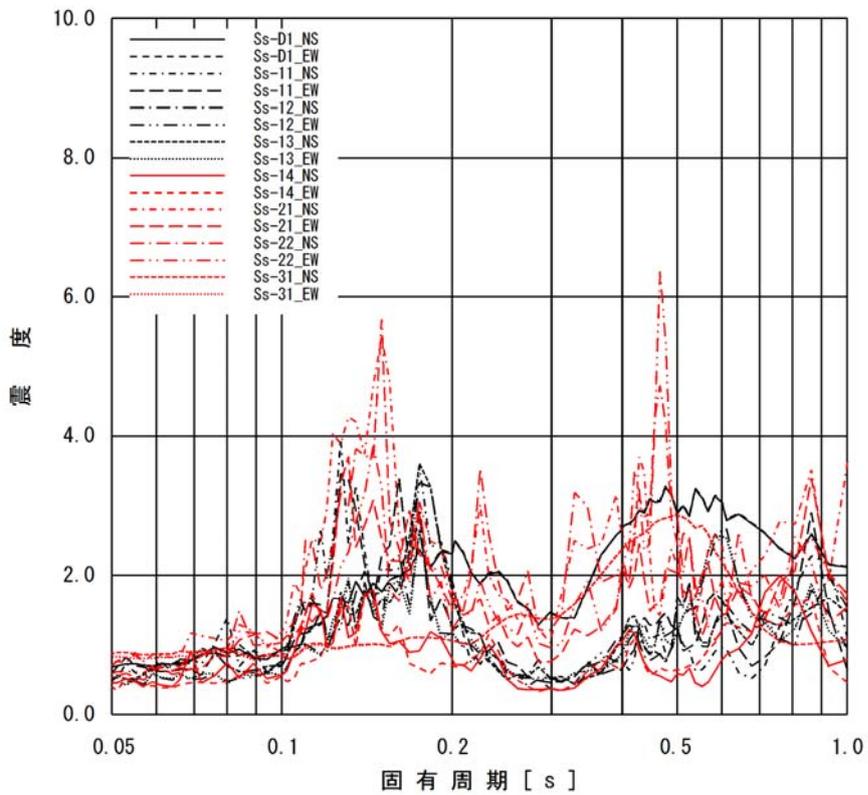
添付図 1-5 原子炉建屋 (EL. 20.3m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



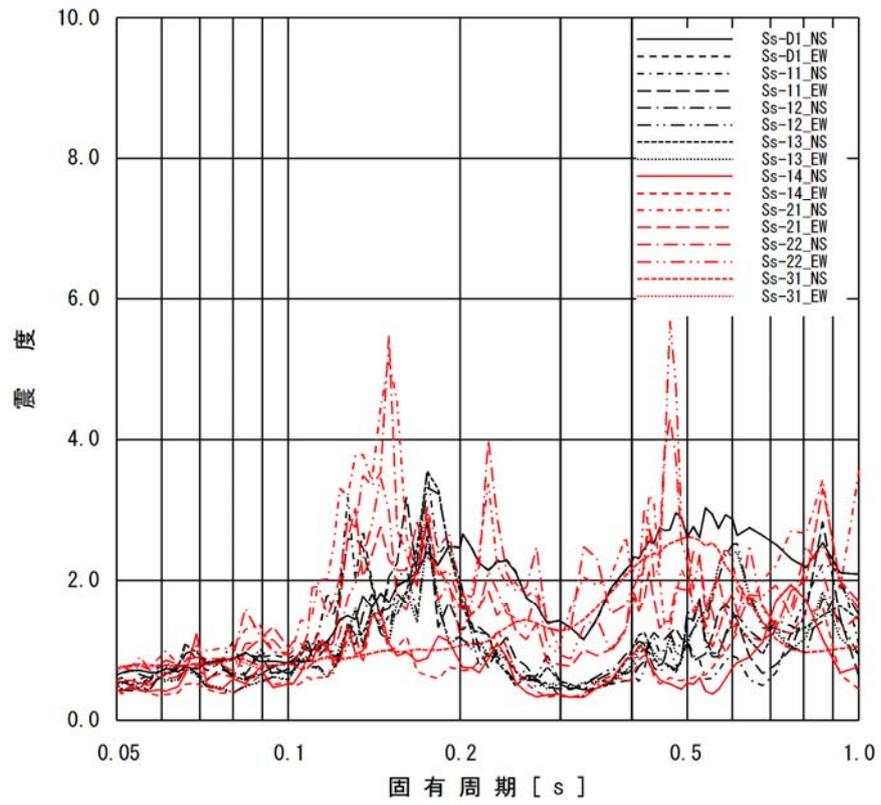
添付図 1-6 原子炉建屋 (EL. 14.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



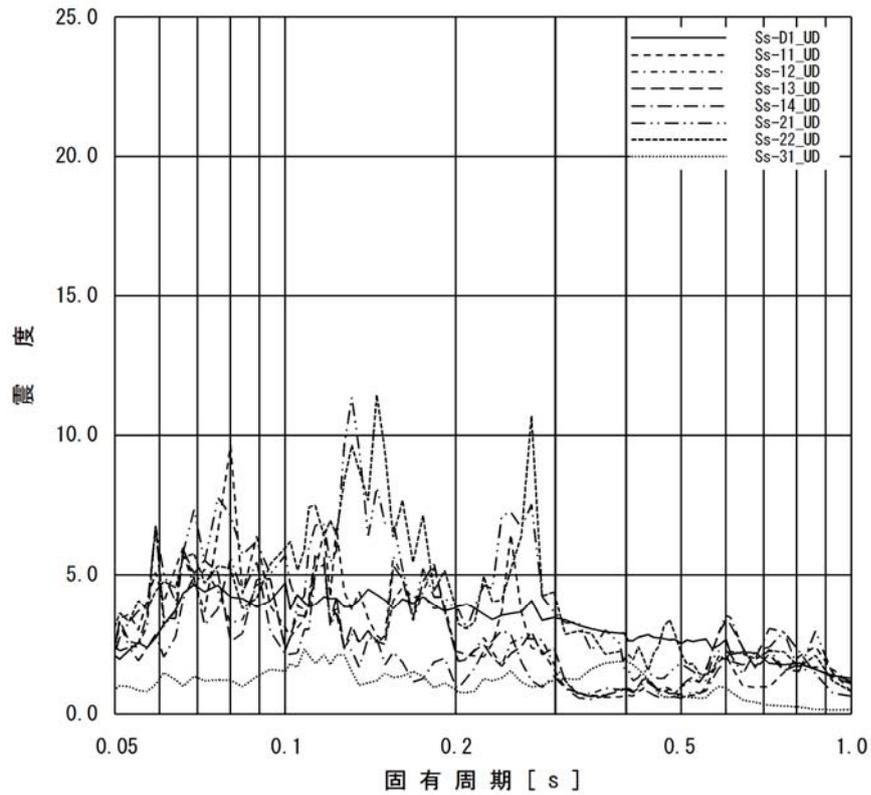
添付図 1-7 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



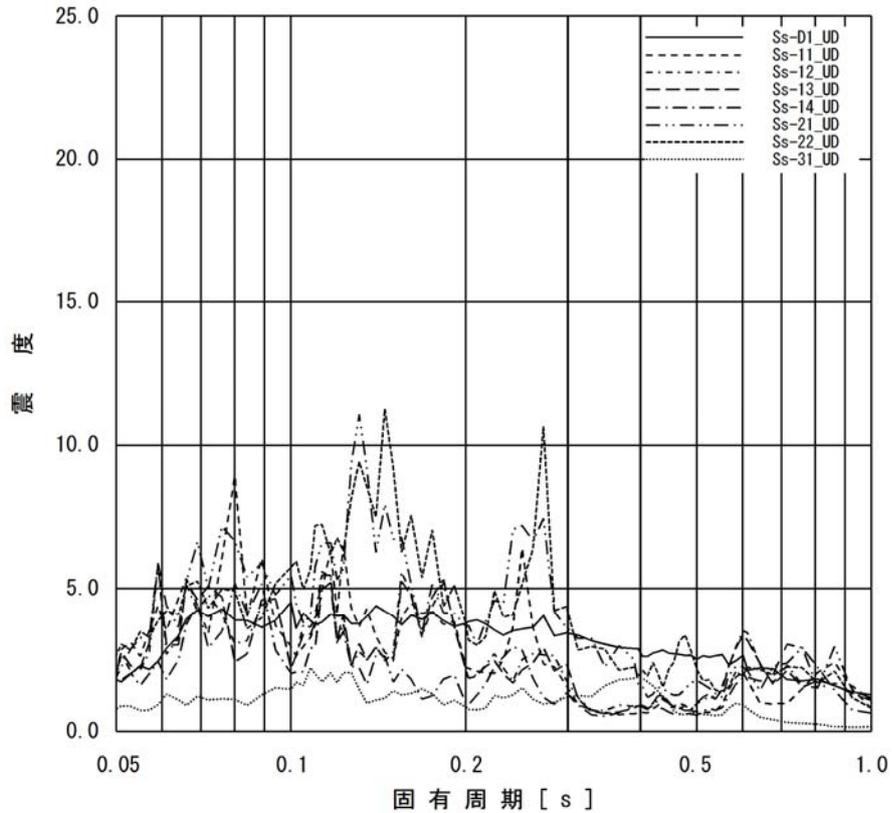
添付図 1-8 原子炉建屋 (EL. 2.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



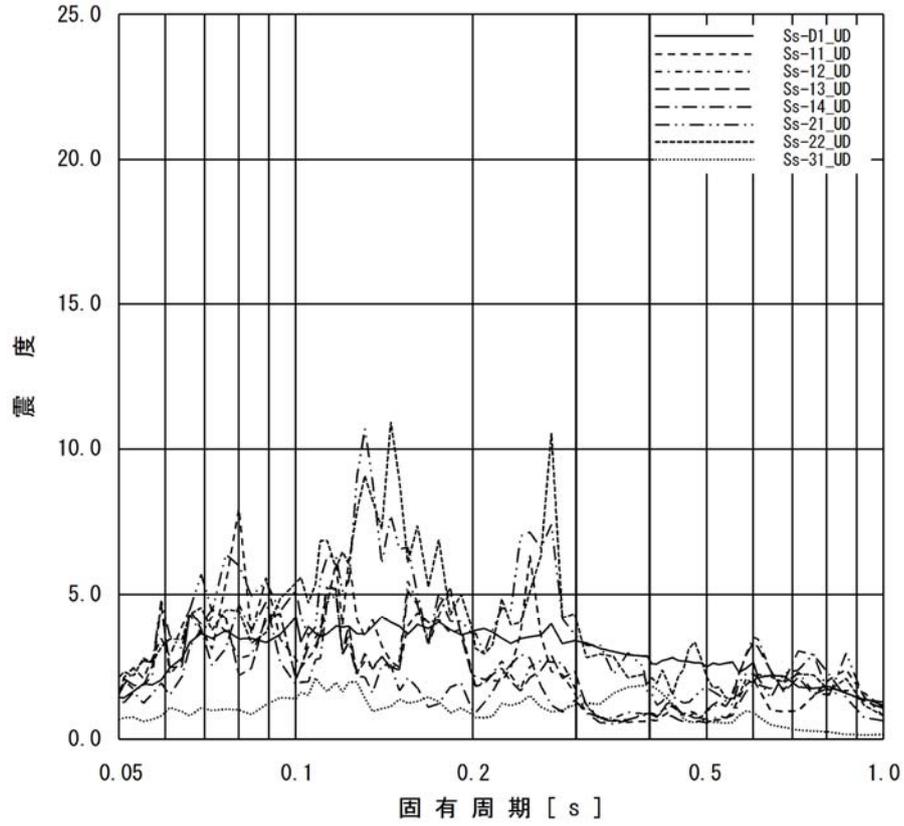
添付図 1-9 原子炉建屋 (EL. -4.0m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



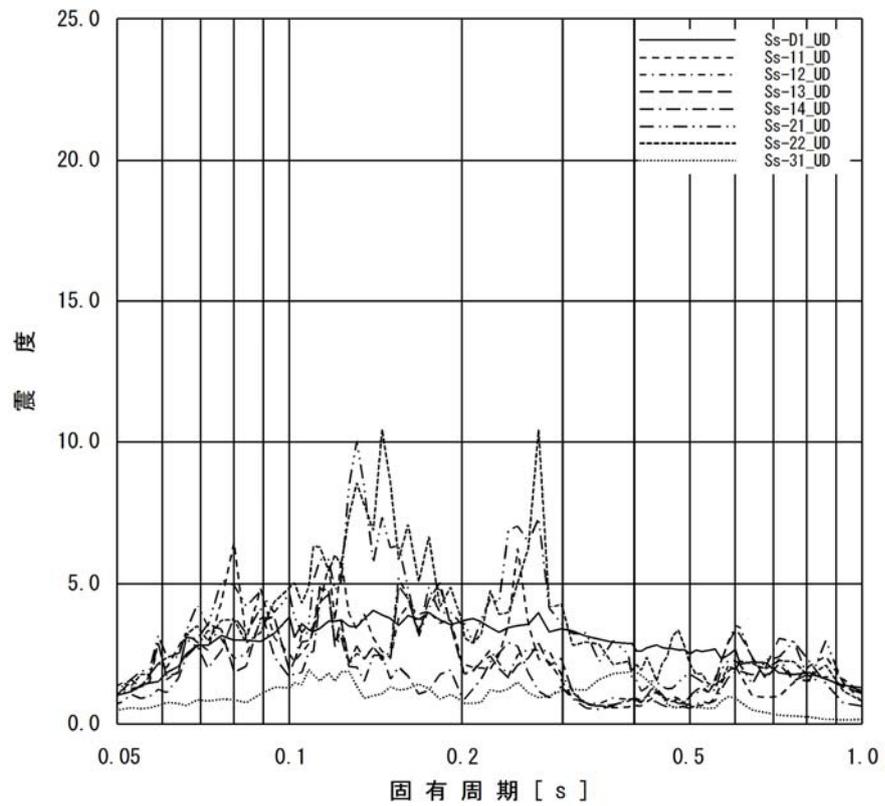
添付図 2-1 原子炉建屋 (EL. 46.5m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



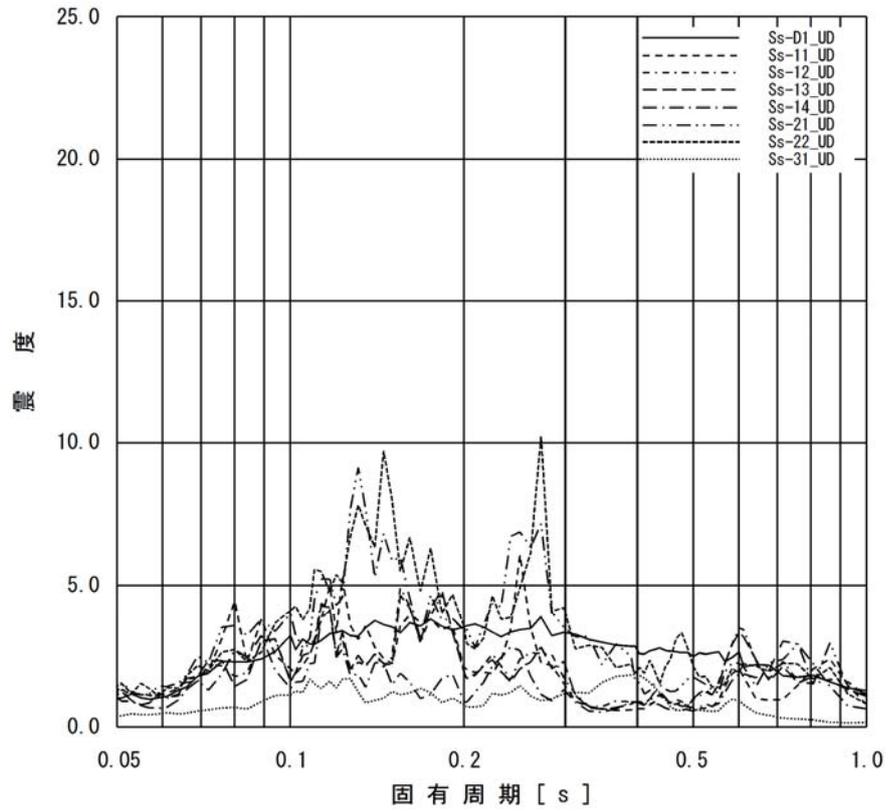
添付図 2-2 原子炉建屋 (EL. 38.8m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



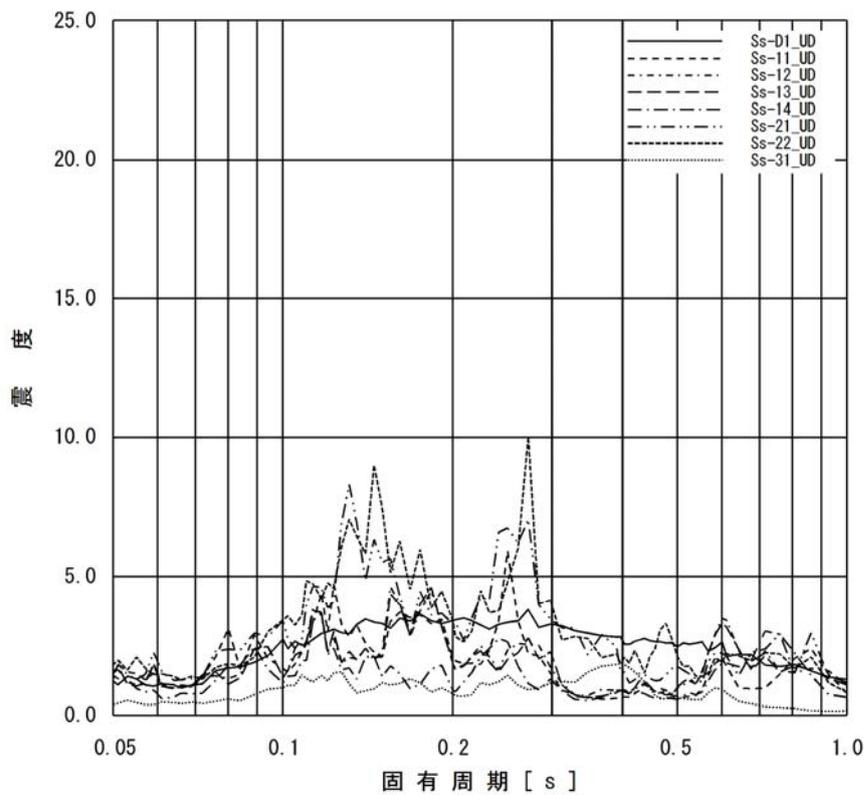
添付図 2-3 原子炉建屋 (EL. 34.7m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



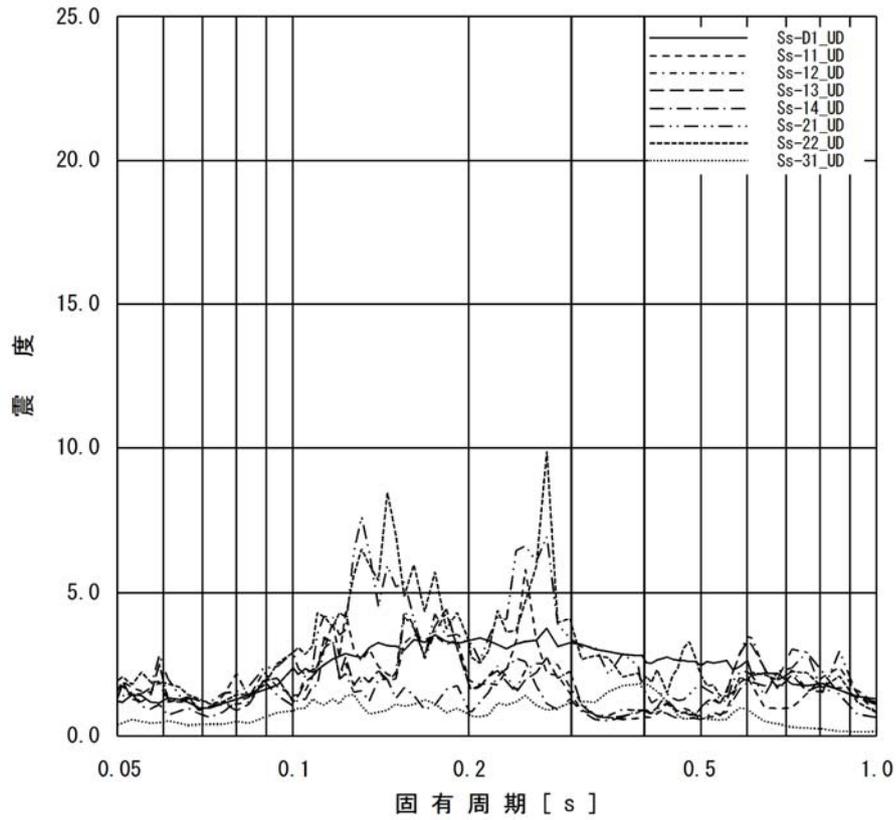
添付図 2-4 原子炉建屋 (EL. 29.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



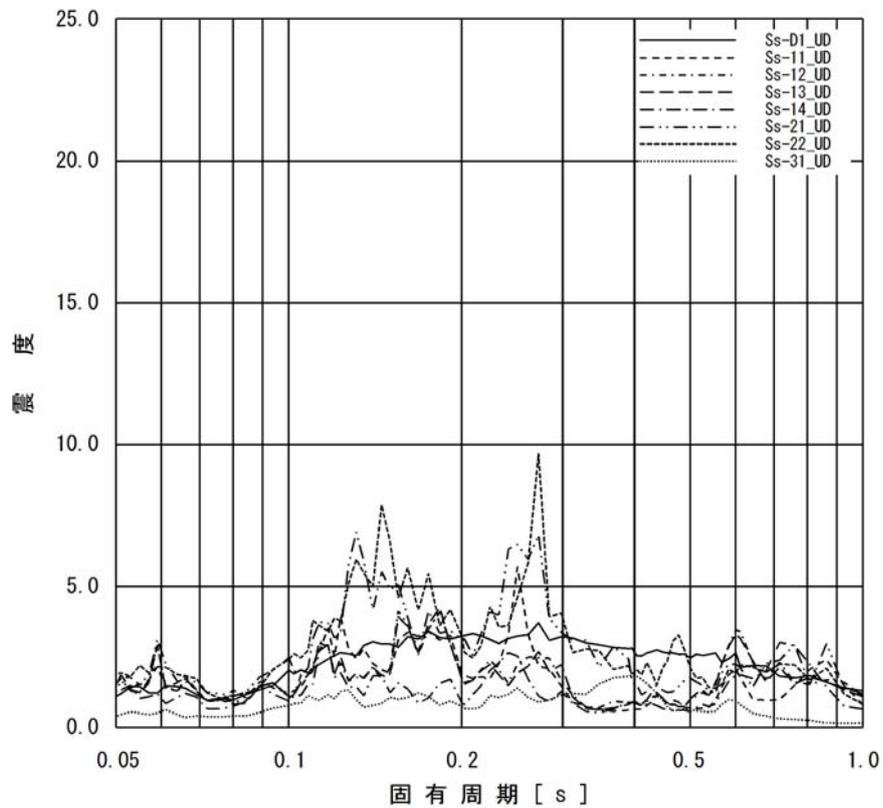
添付図 2-5 原子炉建屋 (EL. 20.3m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



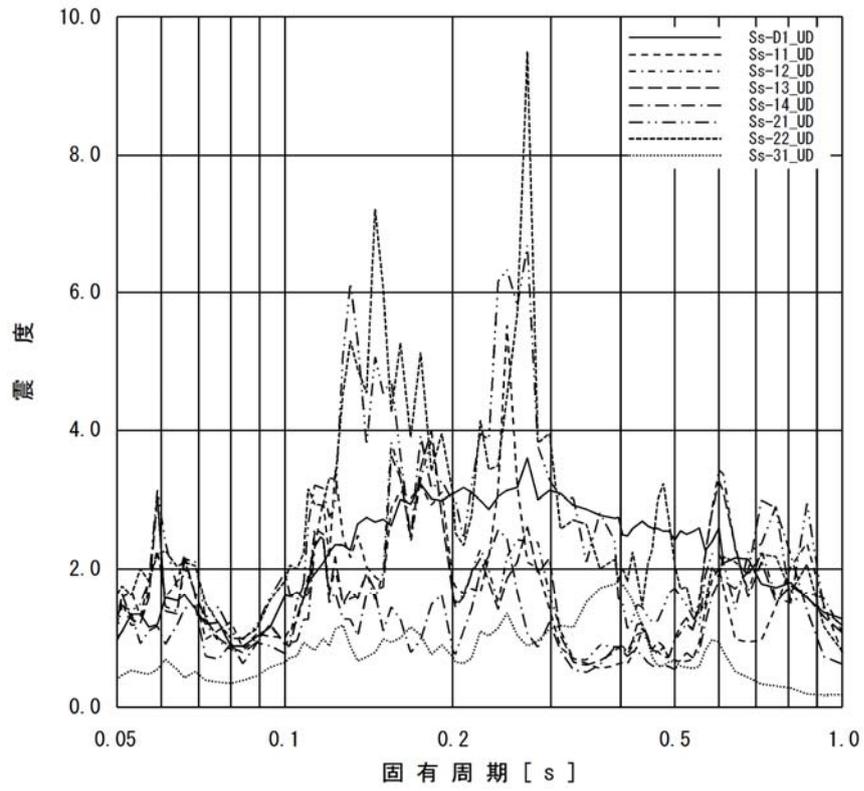
添付図 2-6 原子炉建屋 (EL. 14.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



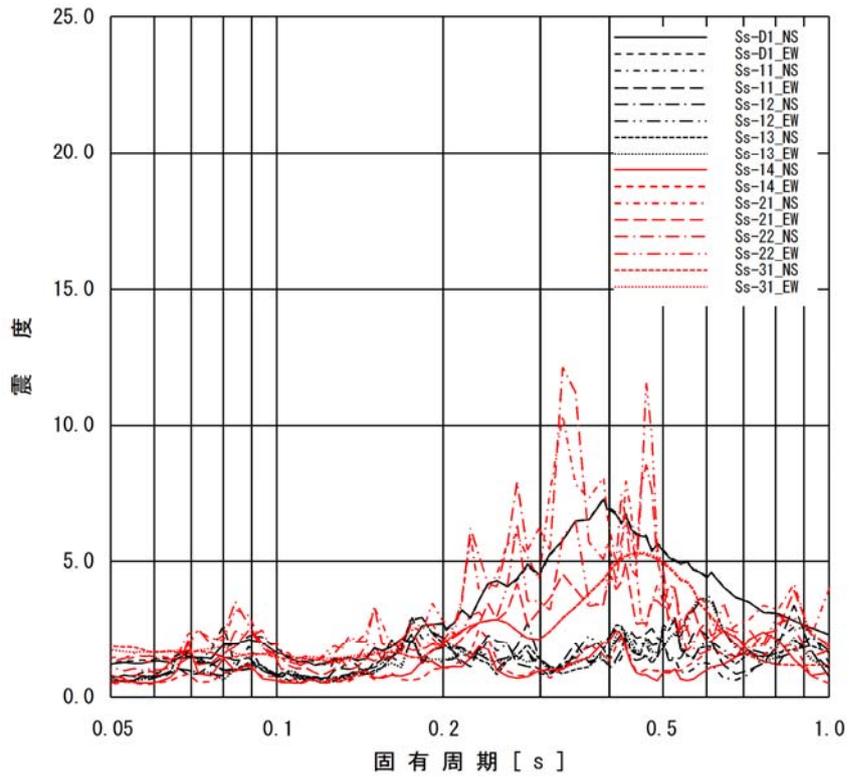
添付図 2-7 原子炉建屋 (EL. 8.2m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



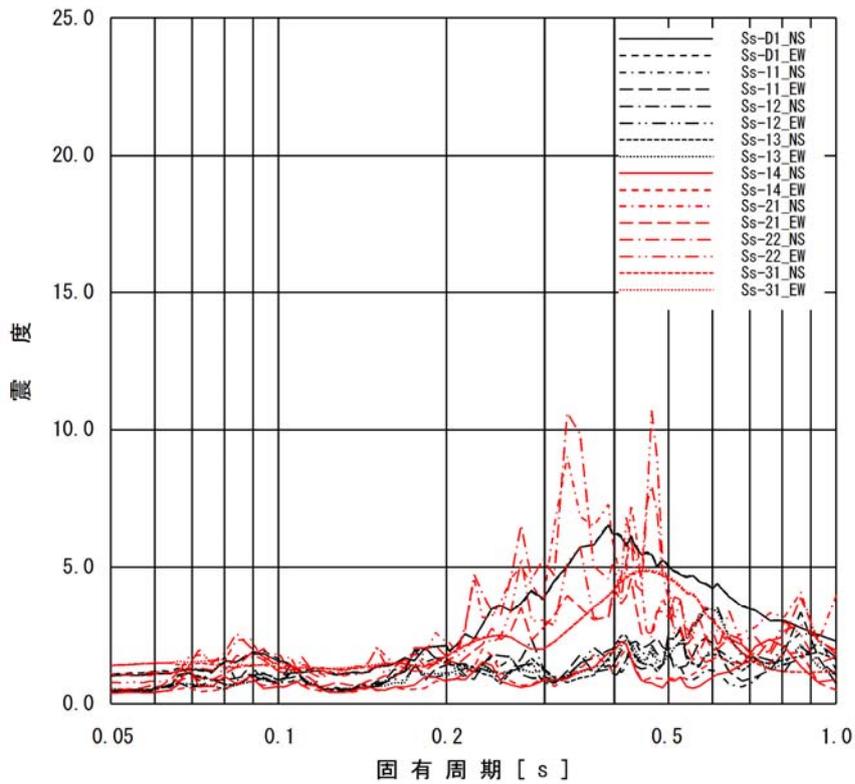
添付図 2-8 原子炉建屋 (EL. 2.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



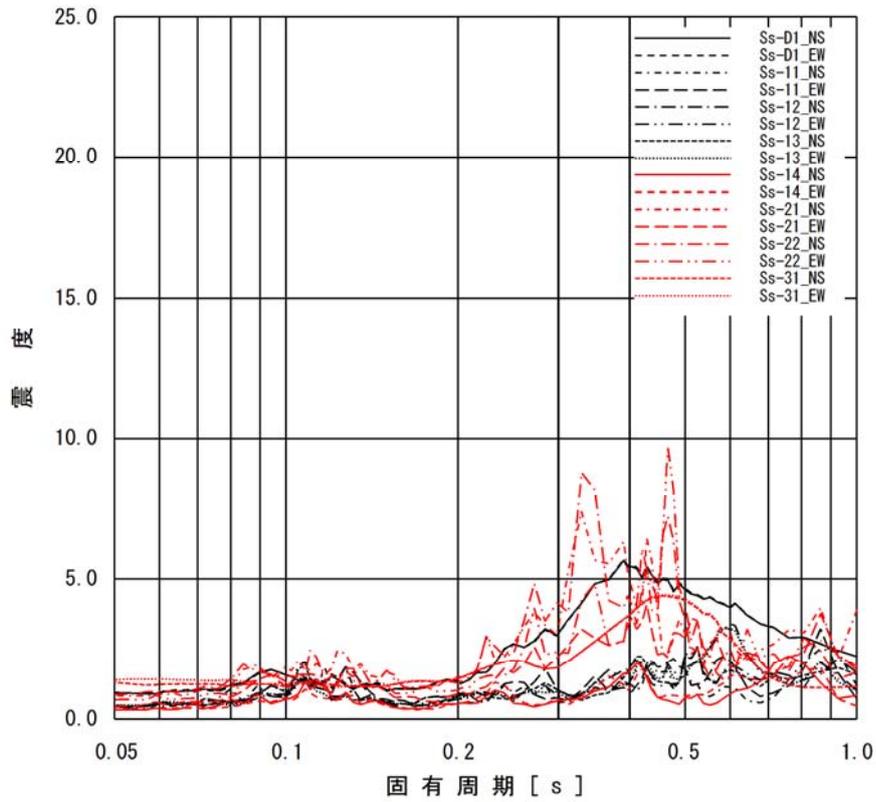
添付図 2-9 原子炉建屋 (EL. -4.0m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



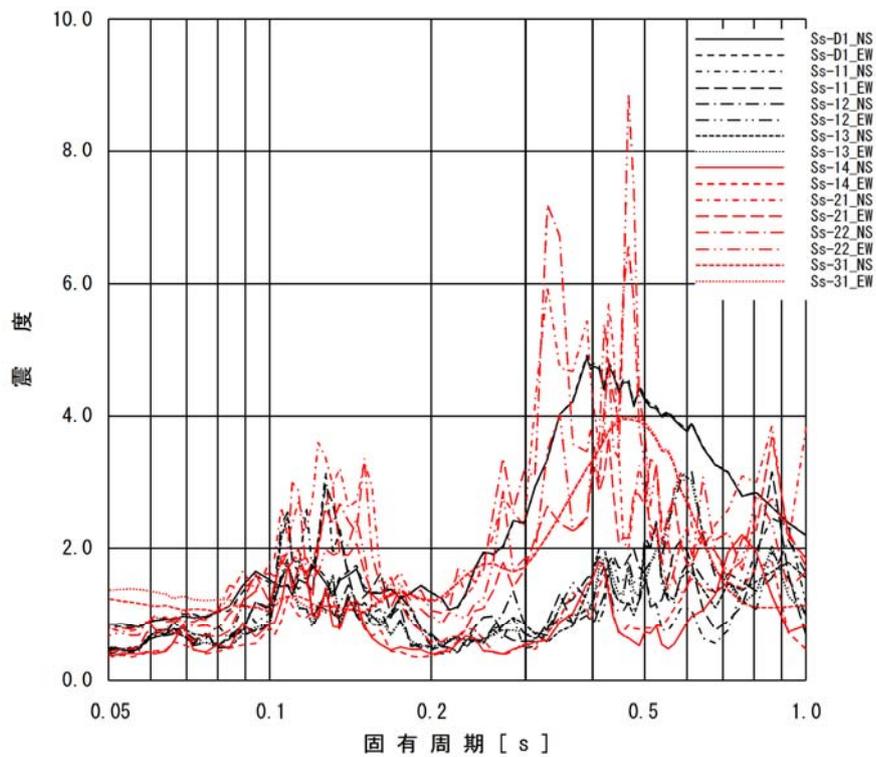
添付図 3-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



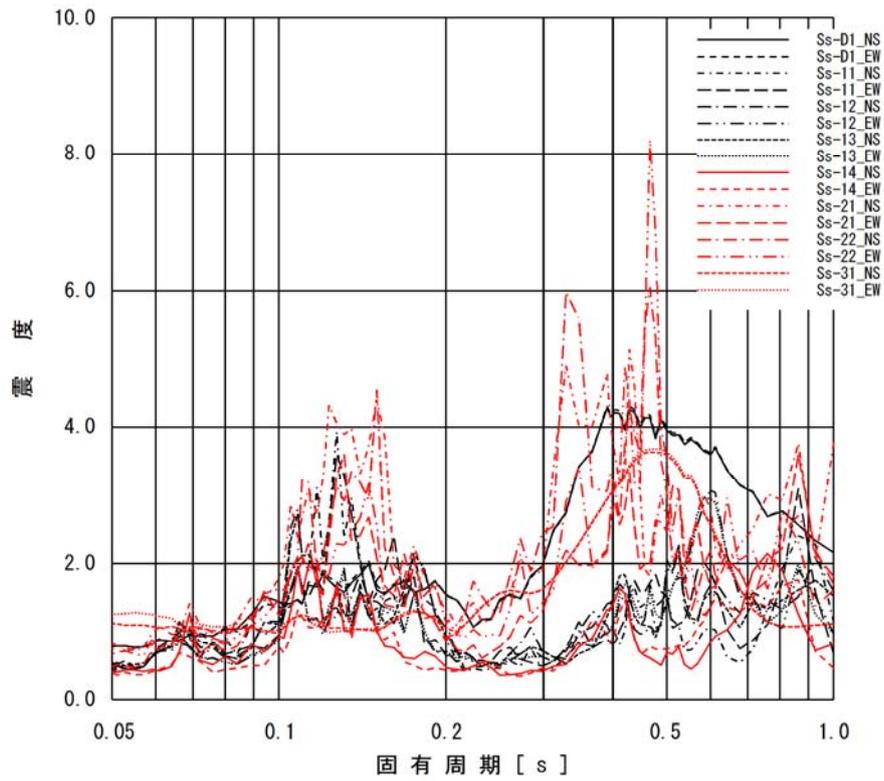
添付図 3-2 原子炉格納容器 (EL. 33.431m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



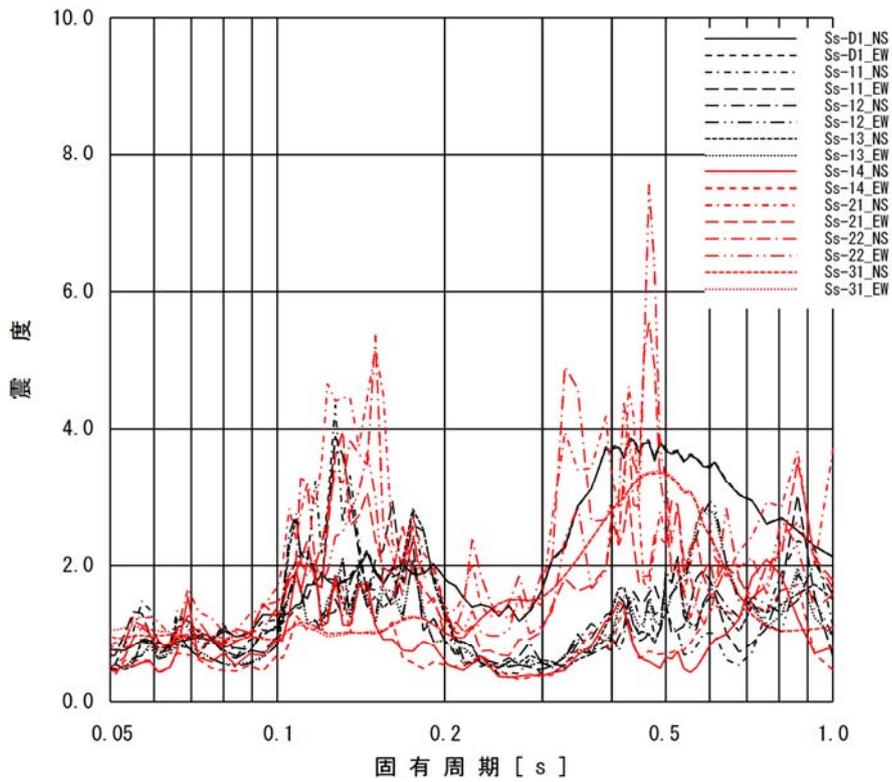
添付図 3-3 原子炉格納容器 (EL. 27.432m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



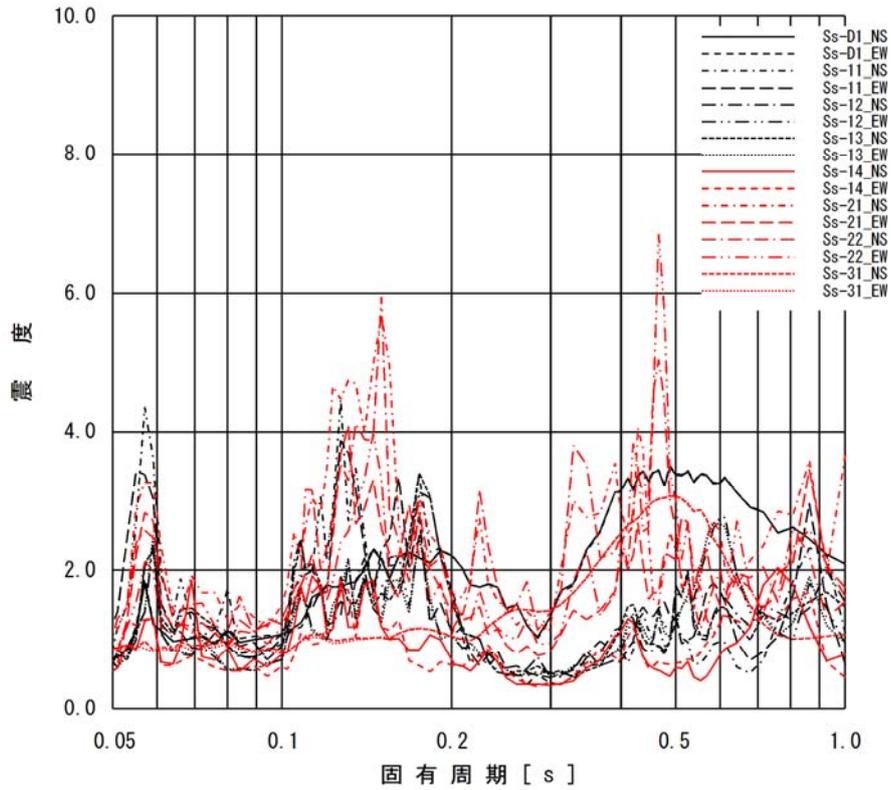
添付図 3-4 原子炉格納容器 (EL. 21.420m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



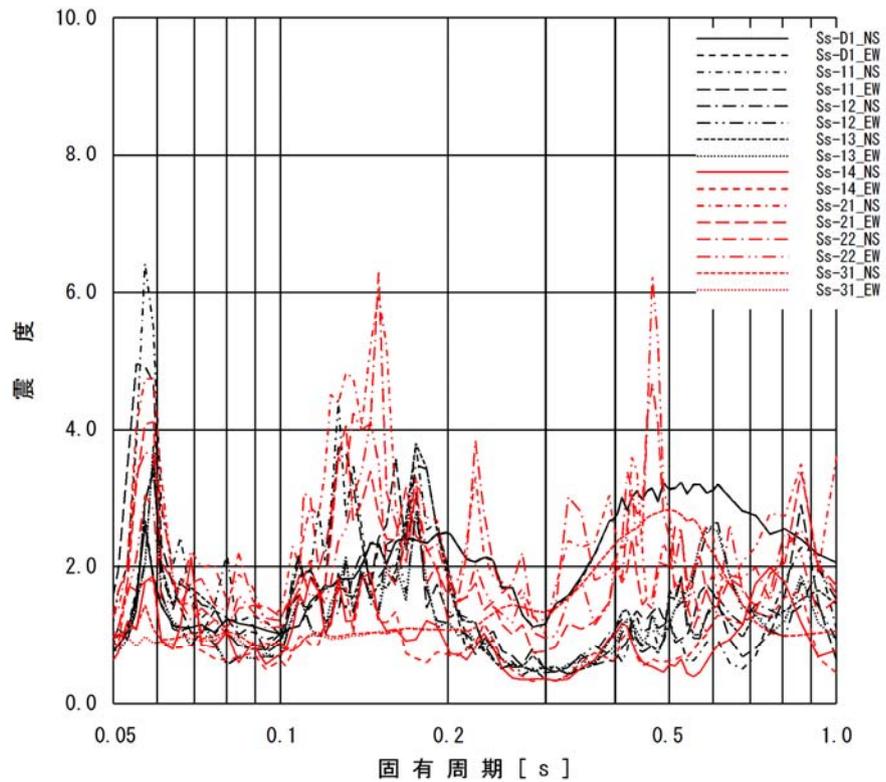
添付図 3-5 原子炉格納容器 (EL. 16.319m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



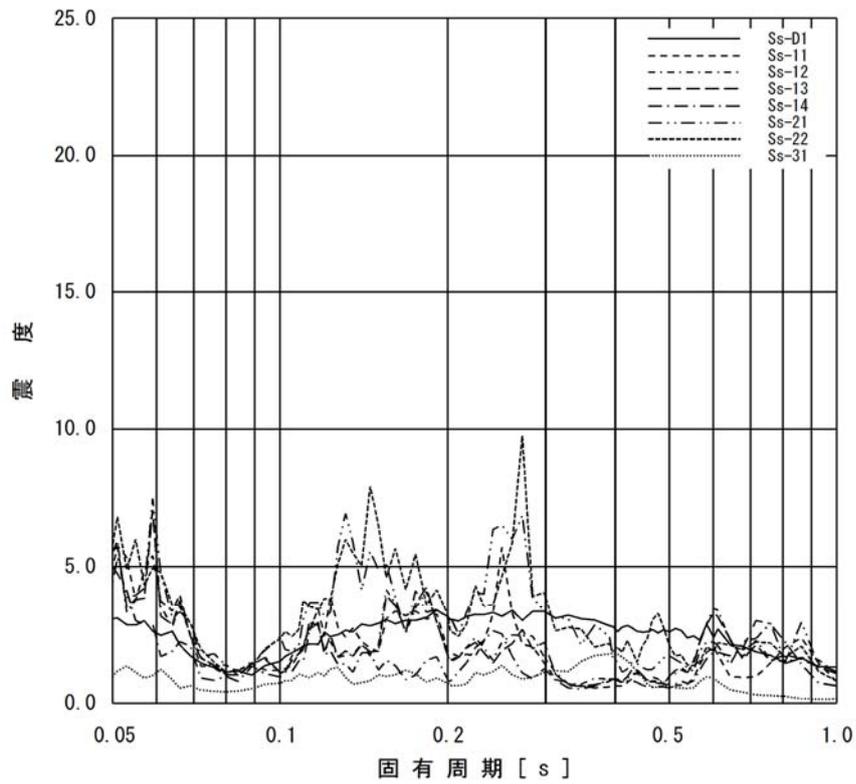
添付図 3-6 原子炉格納容器 (EL. 11.191m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



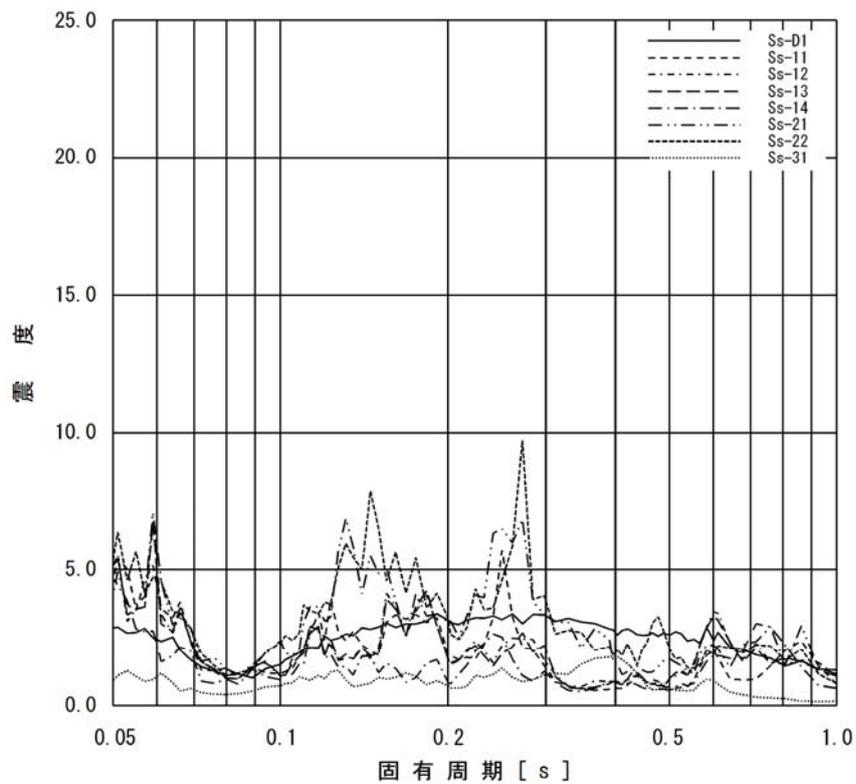
添付図 3-7 原子炉格納容器 (EL. 5.141m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



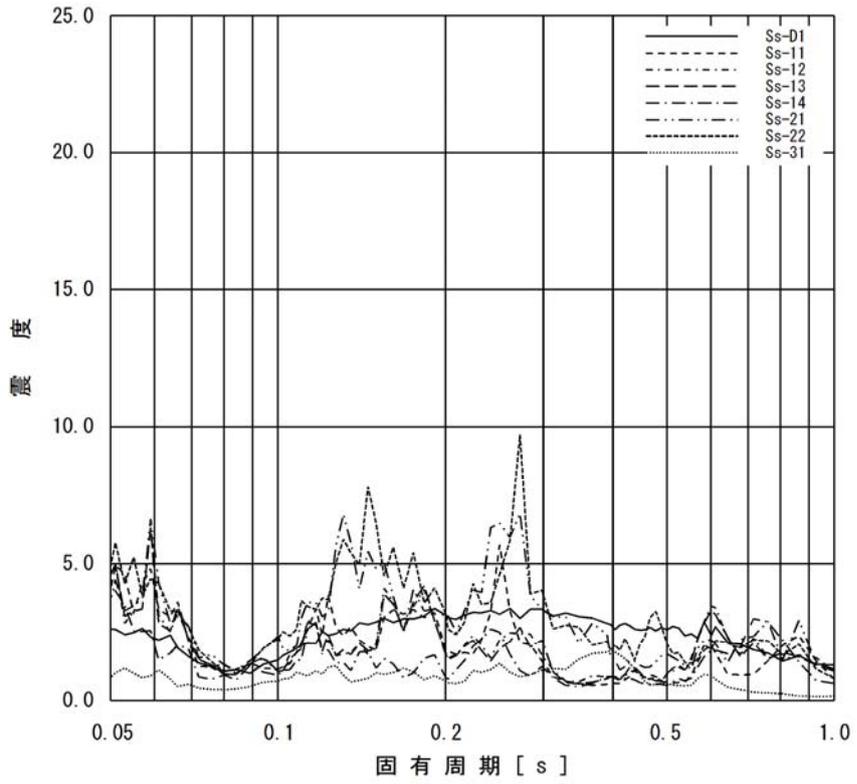
添付図 3-8 原子炉格納容器 (EL. -0.013m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



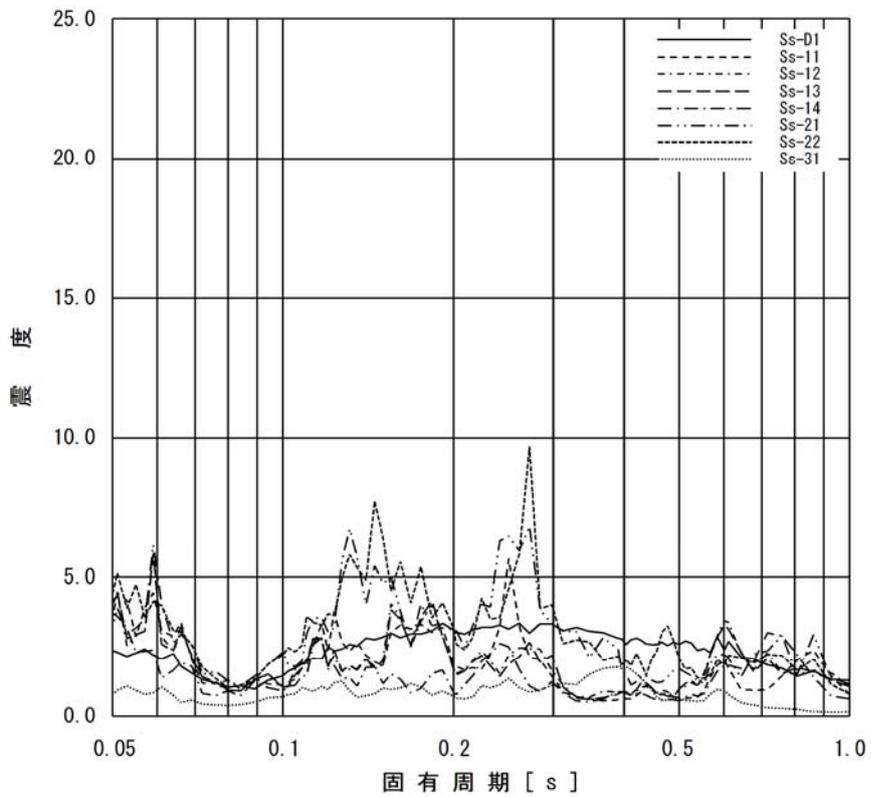
添付図 4-1 原子炉格納容器 (EL. 39.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



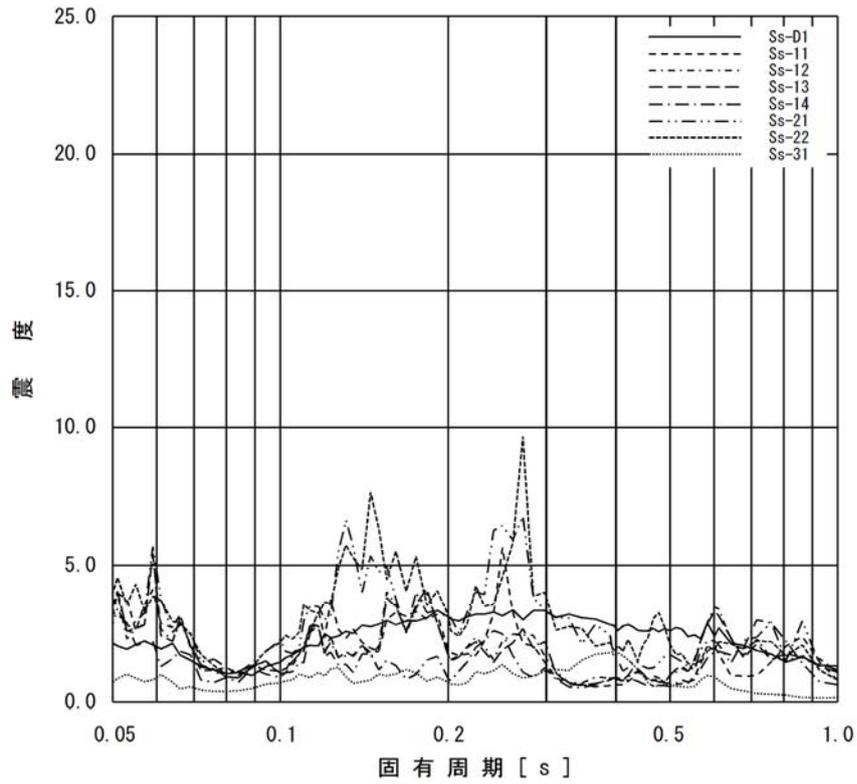
添付図 4-2 原子炉格納容器 (EL. 33.431m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



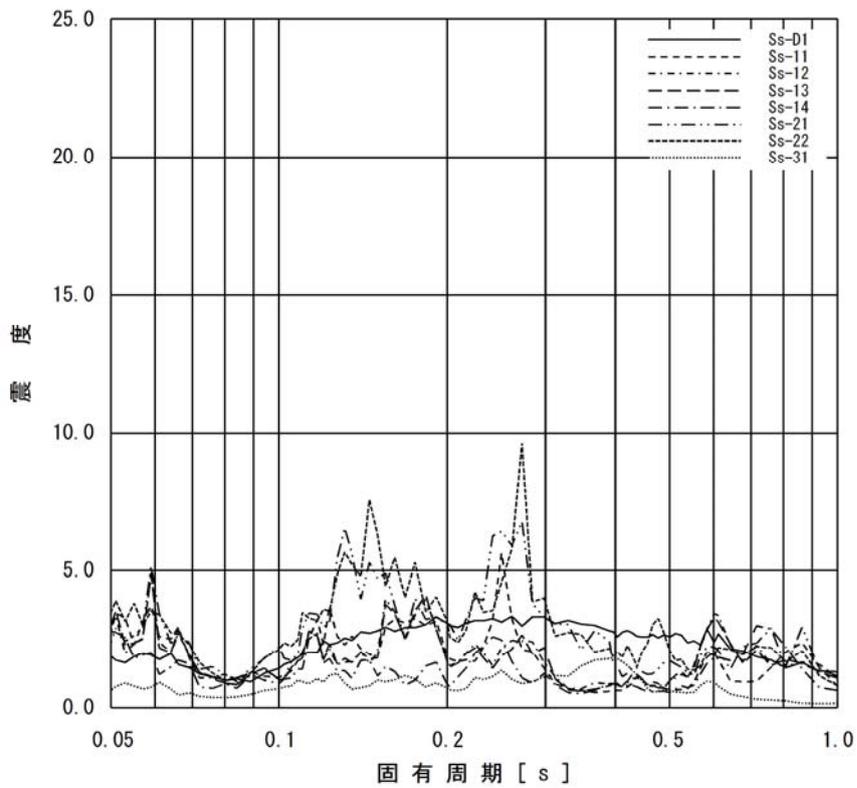
添付図 4-3 原子炉格納容器 (EL. 27.432m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



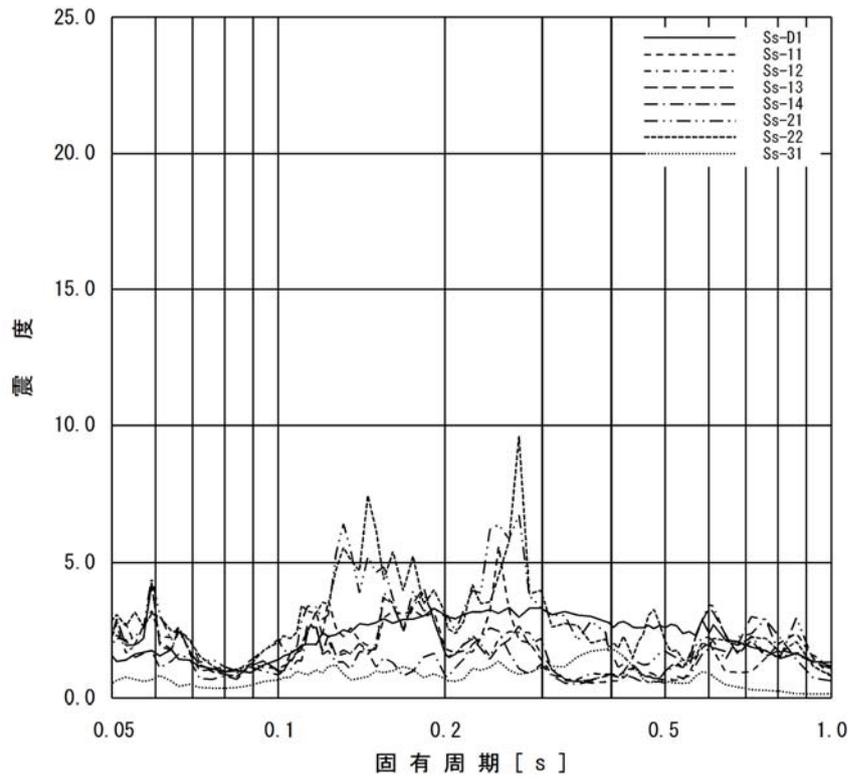
添付図 4-4 原子炉格納容器 (EL. 21.420m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



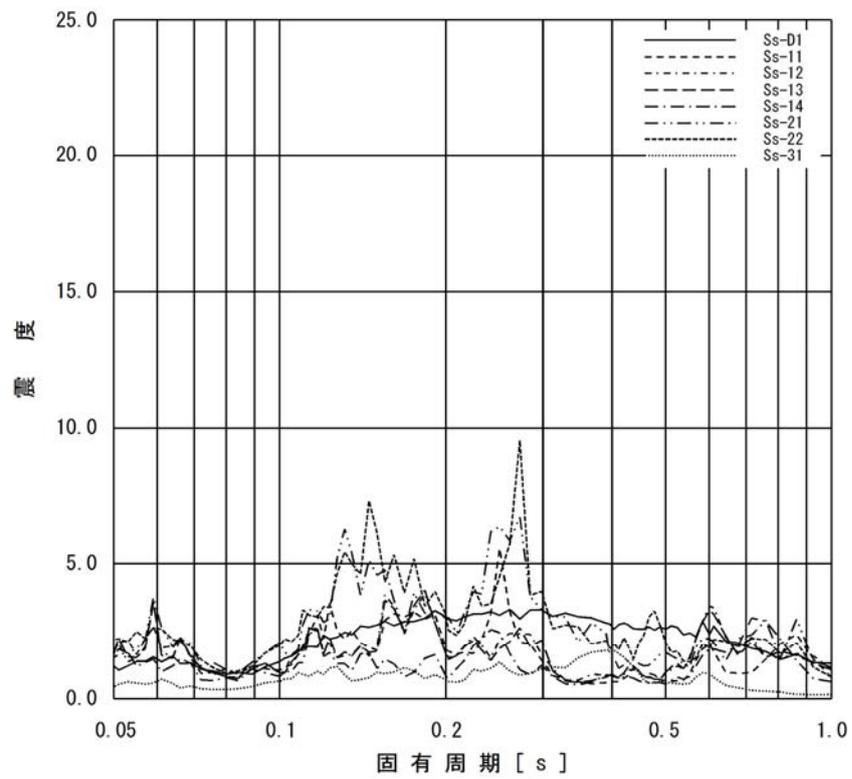
添付図 4-5 原子炉格納容器 (EL. 16.319m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



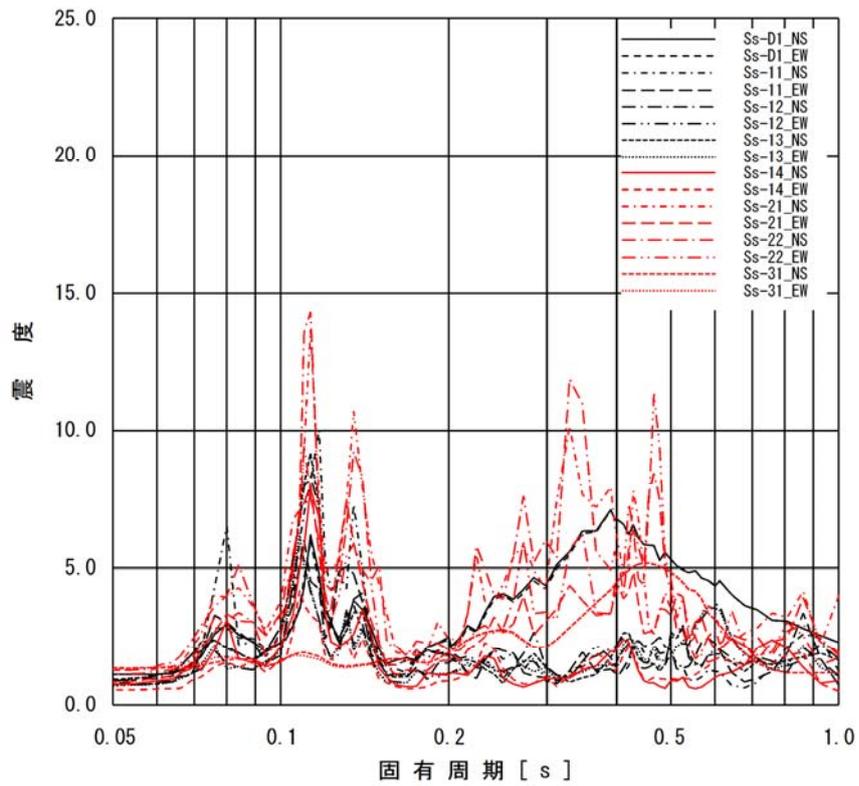
添付図 4-6 原子炉格納容器 (EL. 11.191m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



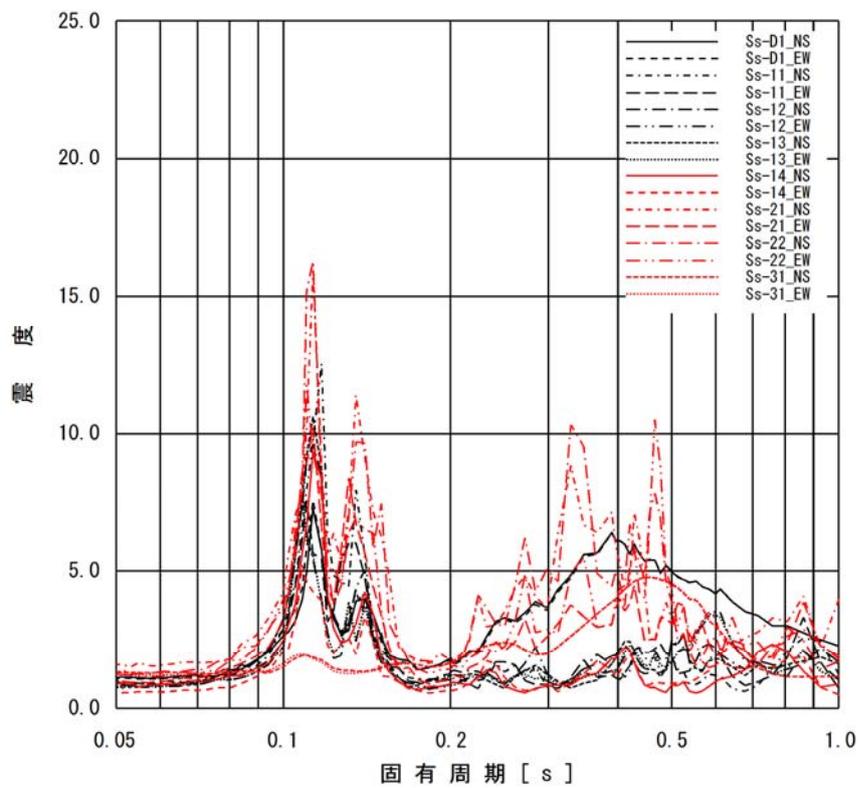
添付図 4-7 原子炉格納容器 (EL. 5.141m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



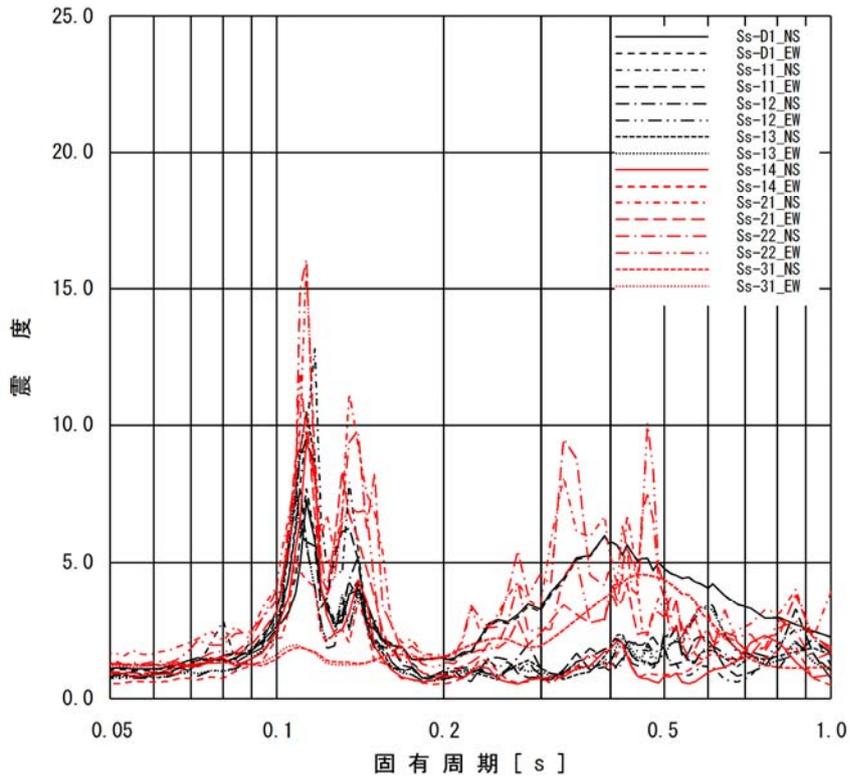
添付図 4-8 原子炉格納容器 (EL. -0.013m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



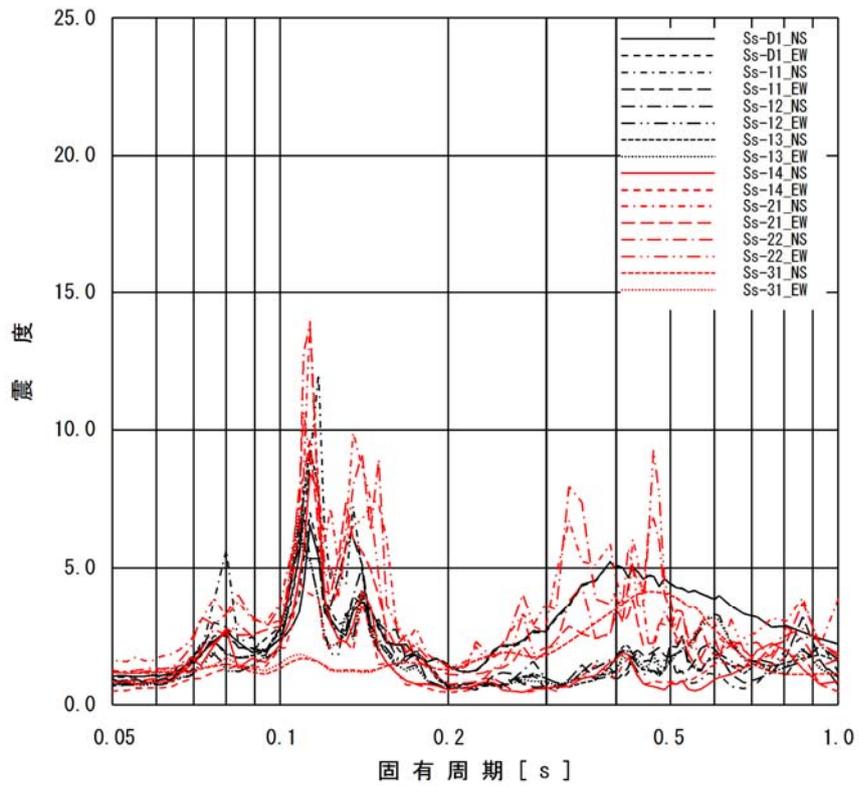
添付図 5-1 原子炉遮蔽 (EL. 34.643m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



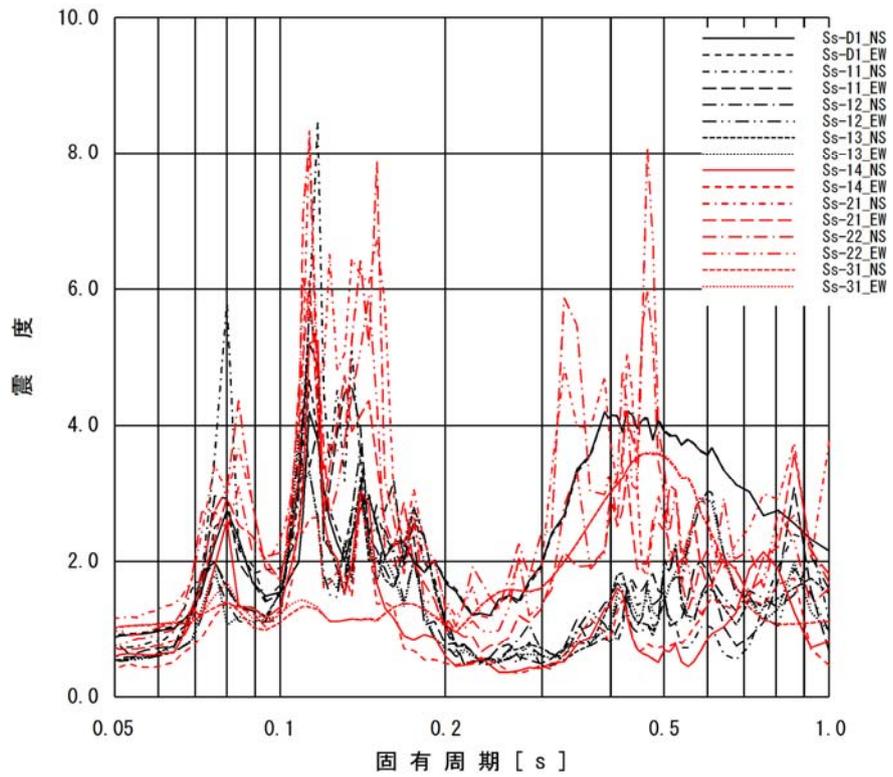
添付図 5-2 原子炉遮蔽 (EL. 28.308m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



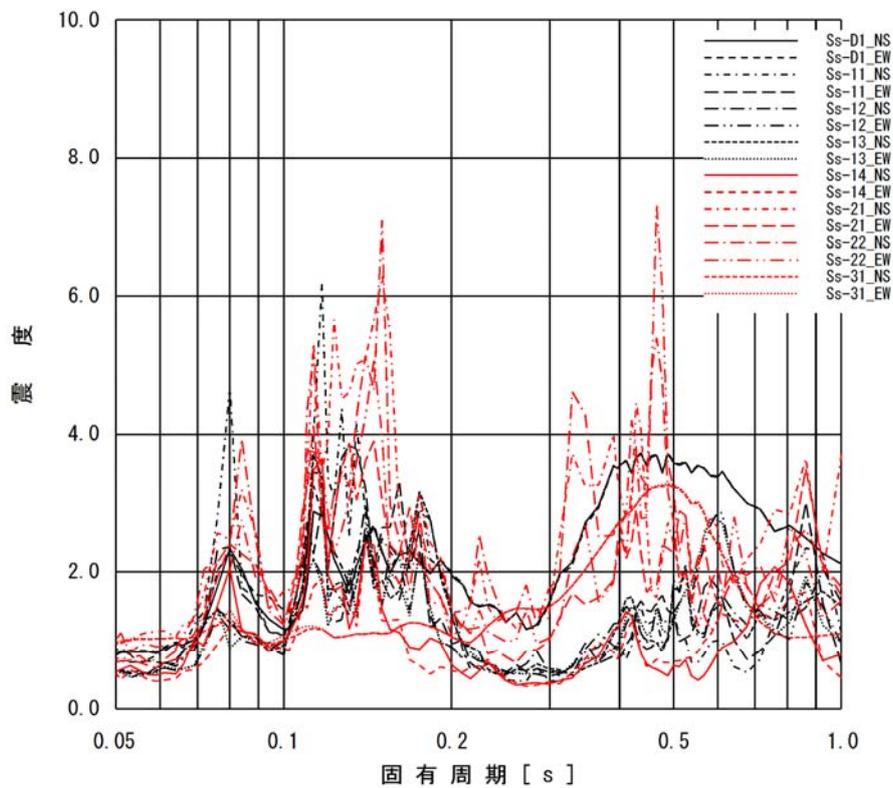
添付図 5-3 原子炉遮蔽 (EL. 25.212m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



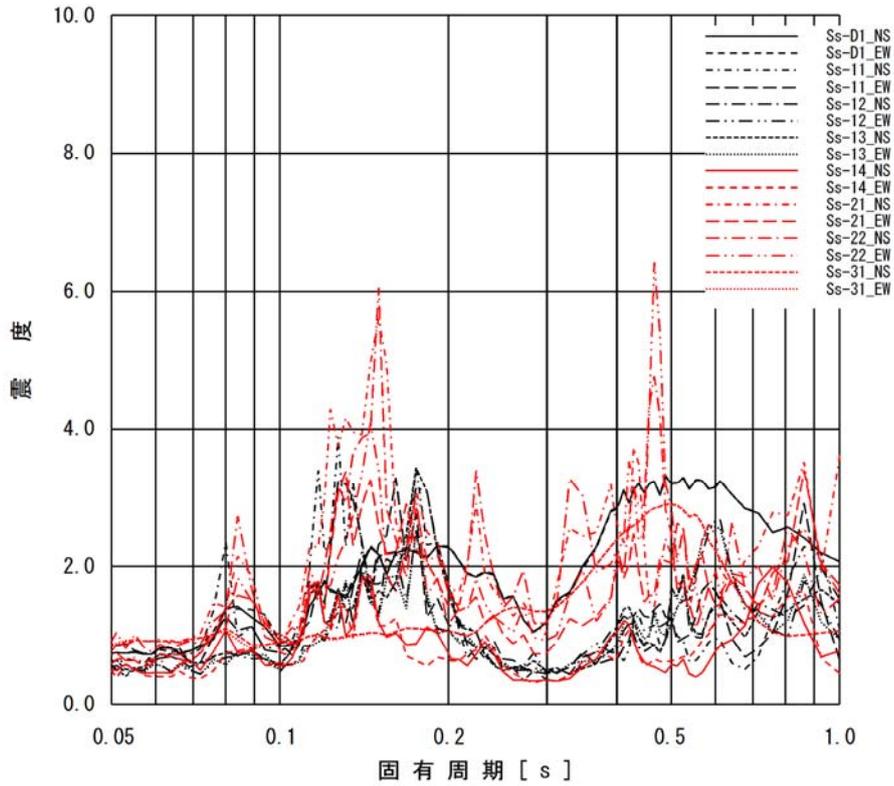
添付図 5-4 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



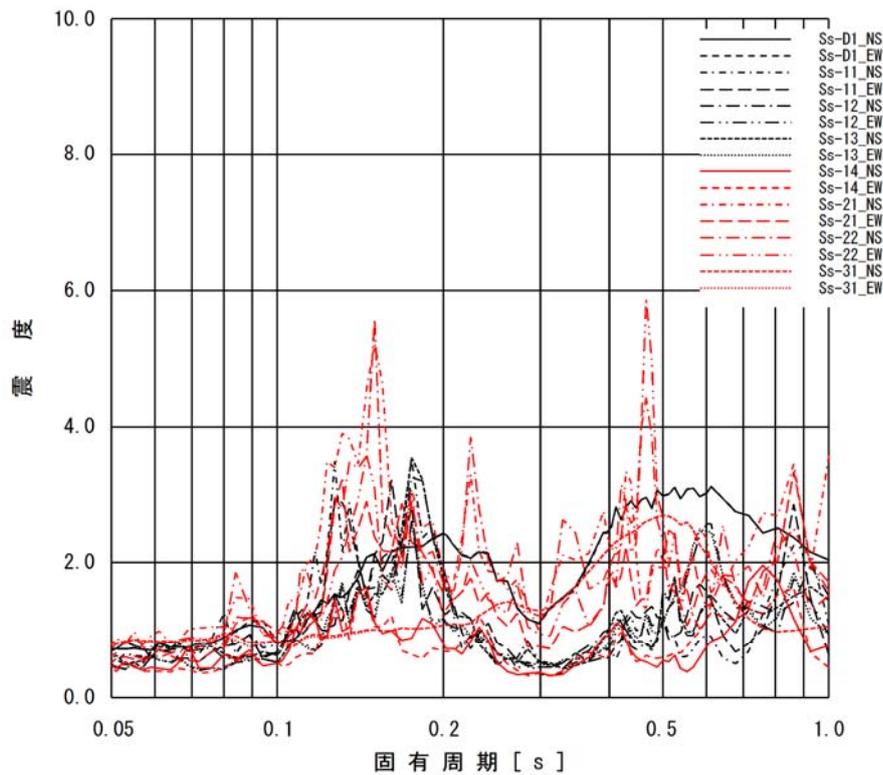
添付図 5-5 原子炉本体の基礎 (EL. 13.198m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



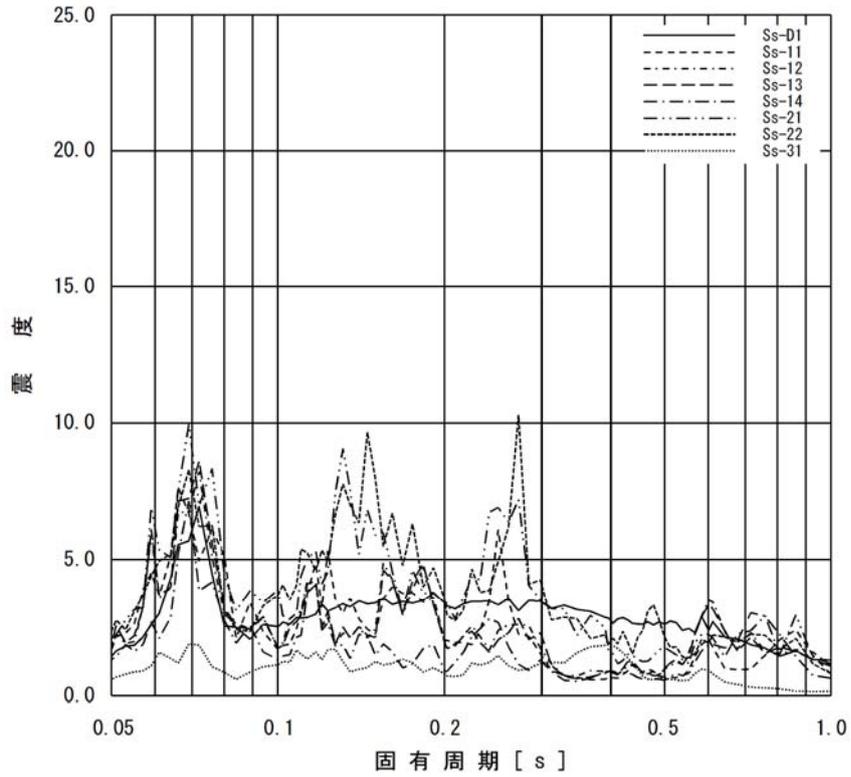
添付図 5-6 原子炉本体の基礎 (EL. 8.395m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



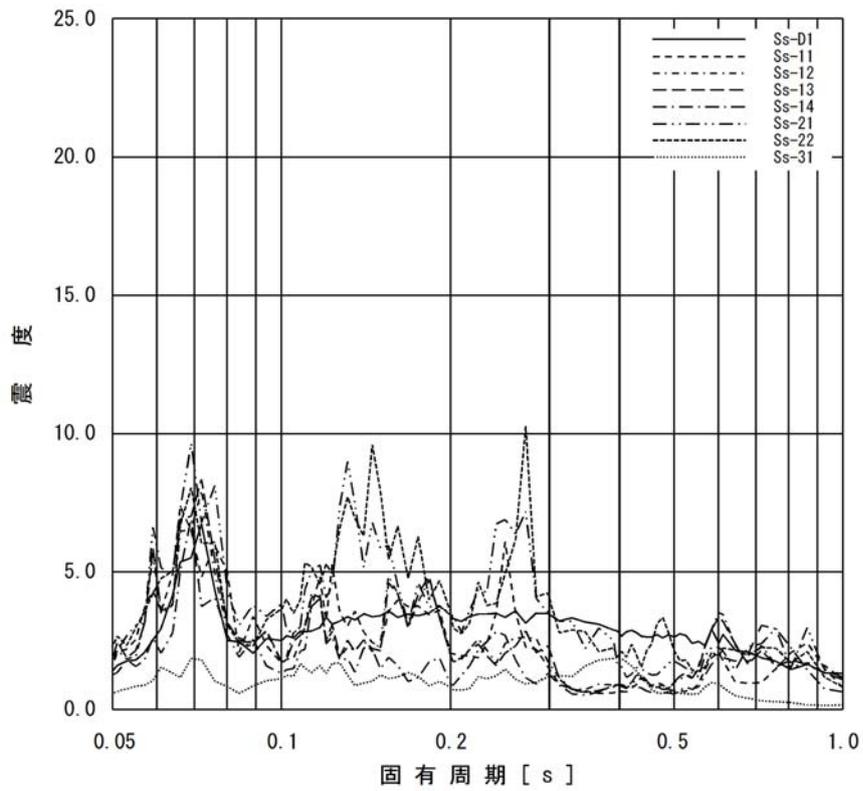
添付図 5-7 原子炉本体の基礎 (EL. 2.189m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



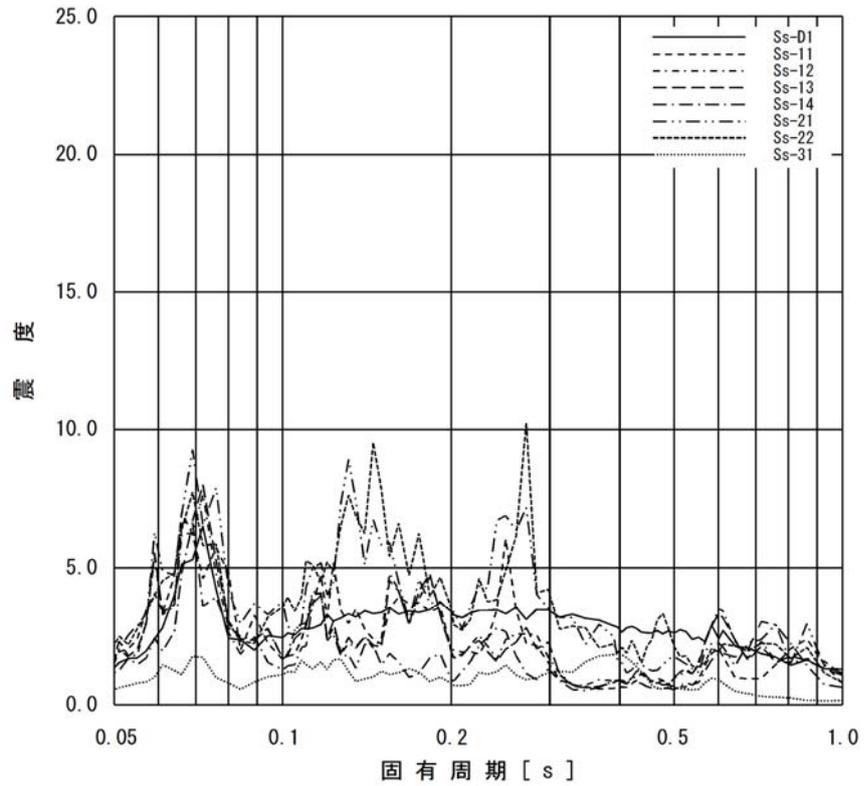
添付図 5-8 原子炉本体の基礎 (EL. -2.167m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)



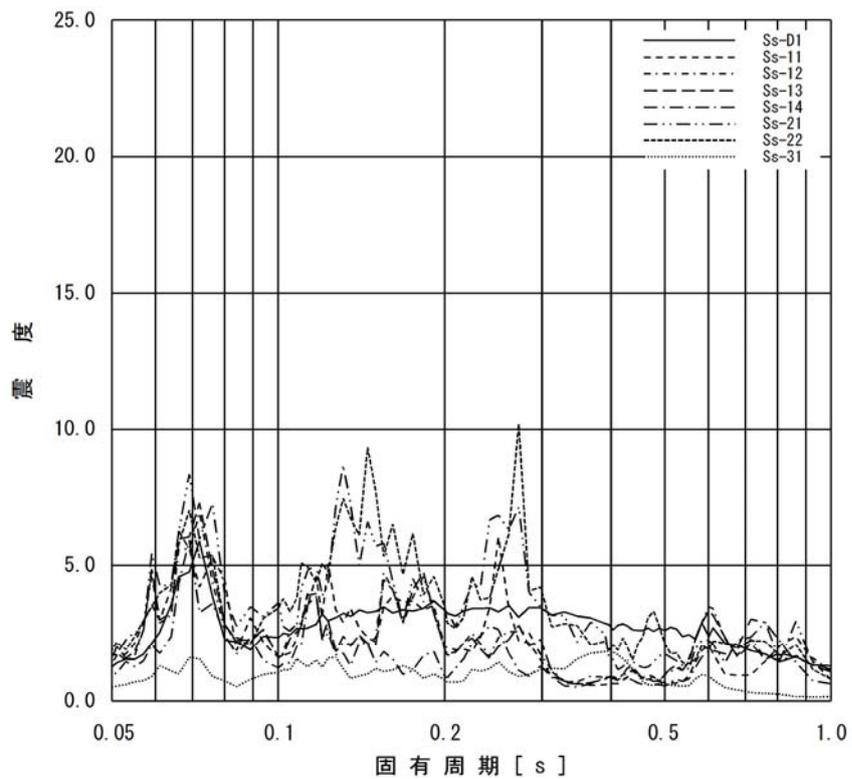
添付図 6-1 原子炉遮蔽 (EL. 34.643m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



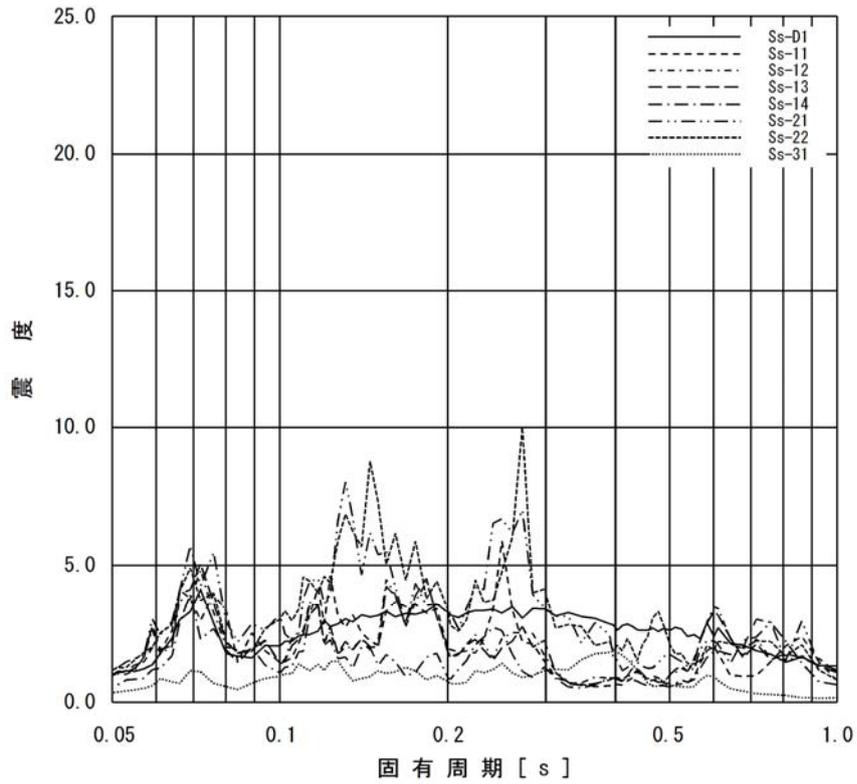
添付図 6-2 原子炉遮蔽 (EL. 28.308m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



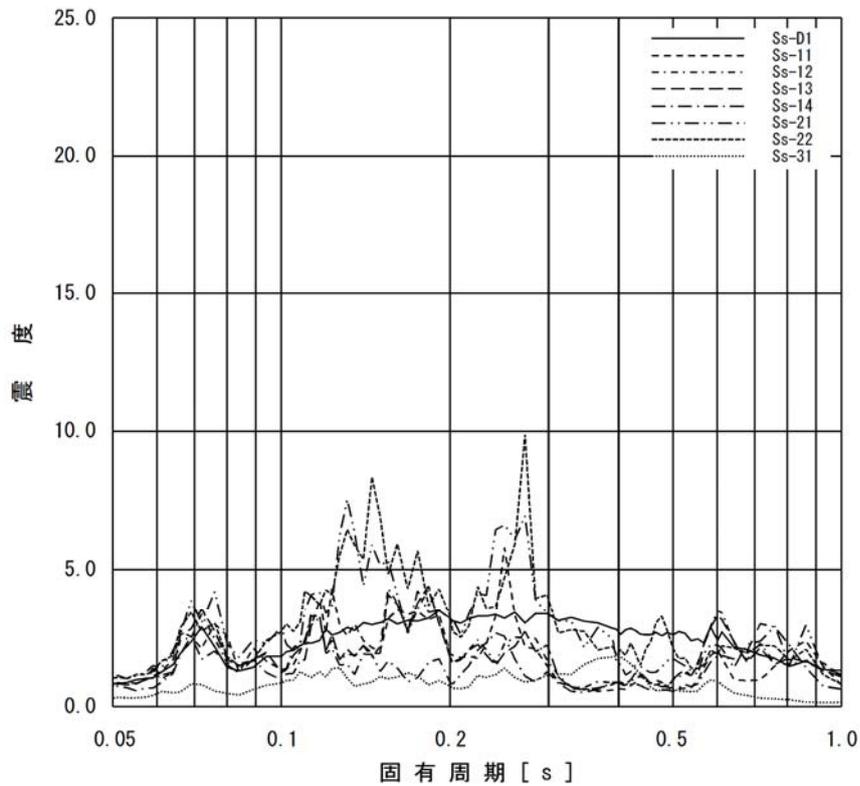
添付図 6-3 原子炉遮蔽 (EL. 25.212m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



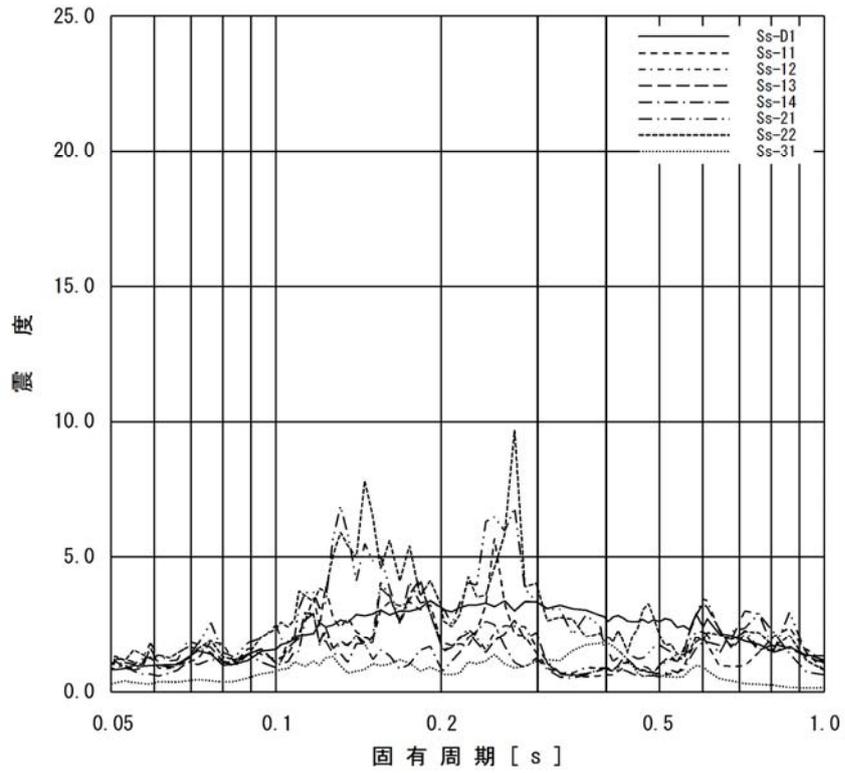
添付図 6-4 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



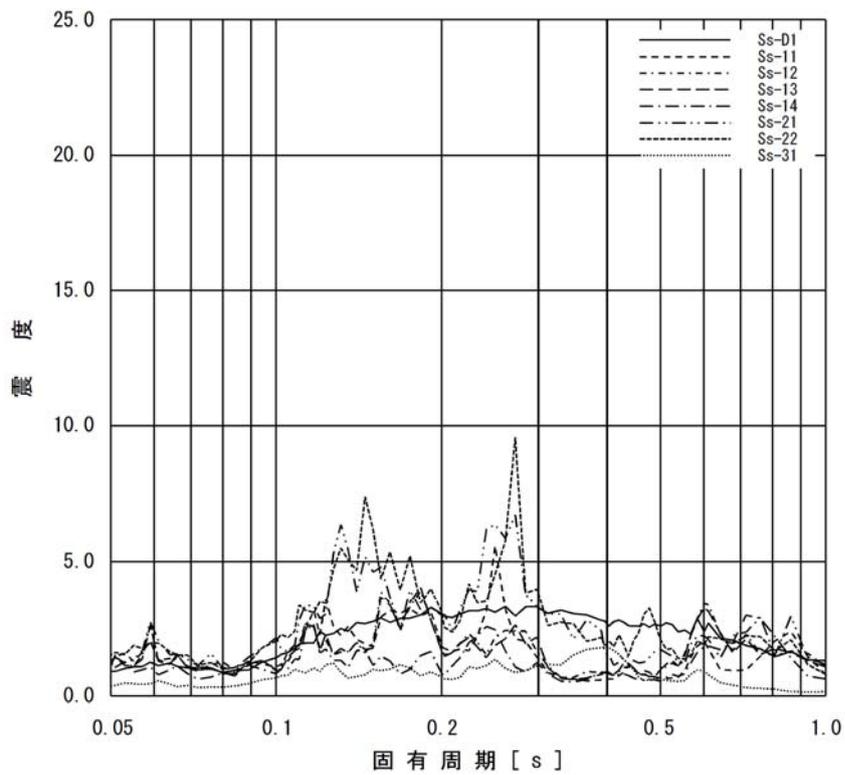
添付図 6-5 原子炉本体の基礎 (EL. 13.198m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)



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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - D 1$			$S_s - 1 1$			$S_s - 1 2$		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)								
		$S_s - 1 3$			$S_s - 1 4$			$S_s - 2 1$		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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 -D 1			S _s -1 1			S _s -1 2		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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
の 基 礎 原 子 炉 本 体	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 -1 3			S _s -1 4			S _s -2 1		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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
の 基 礎 原 子 炉 本 体	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 -2 2			S _s -3 1		
		NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 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
の 基 礎 原 子 炉 本 体	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

4. 機電設備の耐震計算書の作成について

目次

1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 基本方針	1
4. 機電設備耐震計算書分類フロー及び構成について	2
5. 耐震計算書記載注意事項	3

参考図書

- V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- 添付資料-1 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-2 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-3 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「計器ラック」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-4-1 機能維持評価で詳細検討を実施する場合(評価用加速度>機能確認済加速度)
- 添付資料-4-2 機能維持評価で新たな検討を実施する場合
- 添付資料-5 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-6-1 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-1パターン「解析」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-6-2 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2パターン「手計算」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-7 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Dパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-8 機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(Eパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-9 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「管」の耐震計算書記載例)

下線：ご提出資料

説明用

V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有周期及び構造強度評価	6
4.1 固有周期及び構造強度評価方法	6
4.2 固有周期の計算	7
4.3 設計用地震力	7
4.4 計算方法	7
4.5 応力の評価	11
5. 機能維持評価	13
5.1 動的機能維持評価方法	13
6. 耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 構造強度評価方法」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

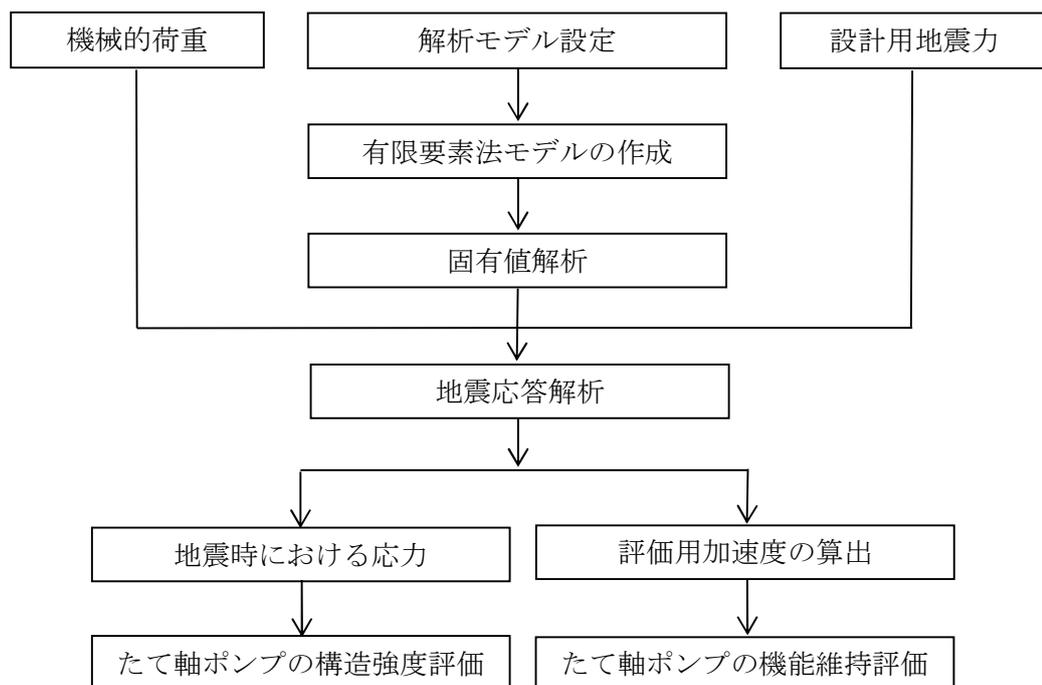


図2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協
会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設
規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b i	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _p	ポンプ振動による震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F b i	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _p	予想最大両振幅	μm
M	図4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M _i	図4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* ²	N・mm
M _p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m _i	運転時質量* ³	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
P _c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q _{b i}	図4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S _u , S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S _y , S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa

記号	記号の説明	単位
T_i	固有周期*4	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
σ_{cH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{cV}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{zP}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記 *1: A_{bi} , D_i , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 基礎ボルト
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機台取付ボルト
- $i = 4$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*2: M_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 
- $i = 2$: 
- $i = 3$: 
- $i = 4$: 

*3: m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 据付面
- $i = 2$: ポンプ取付面
- $i = 3$: 原動機台取付面
- $i = 4$: 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付面(下), $i = 3$: ポンプ取付面(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*4: T_i の添字*i*の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。

4. 固有周期及び構造強度評価

4.1 固有周期及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有周期の計算及び構造強度評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (2) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し、軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては、原動機、ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし、水平方向の地震力を受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

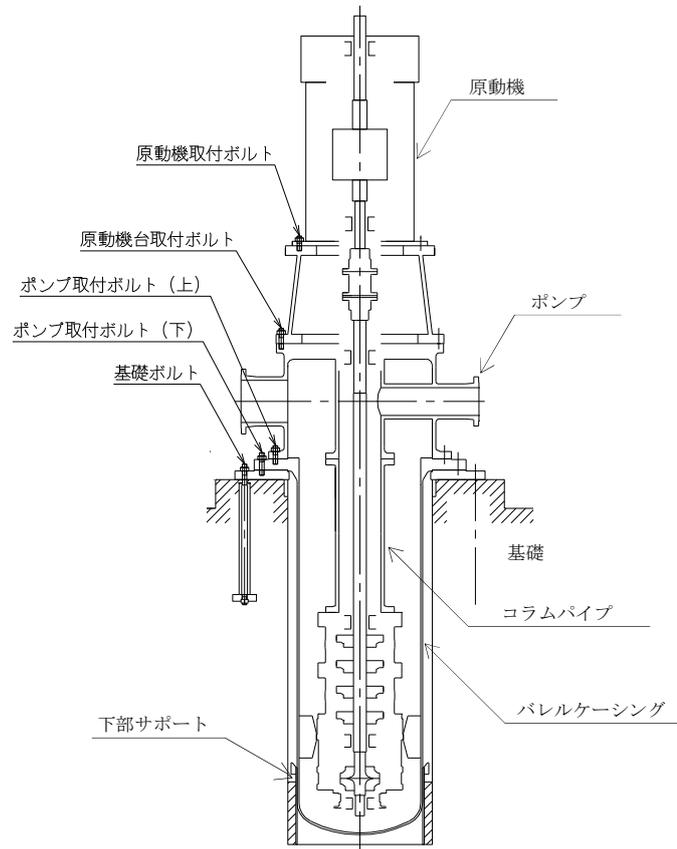


図 4-1 概要図

4.2 固有周期の計算

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 たて軸ポンプの固有周期の計算及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

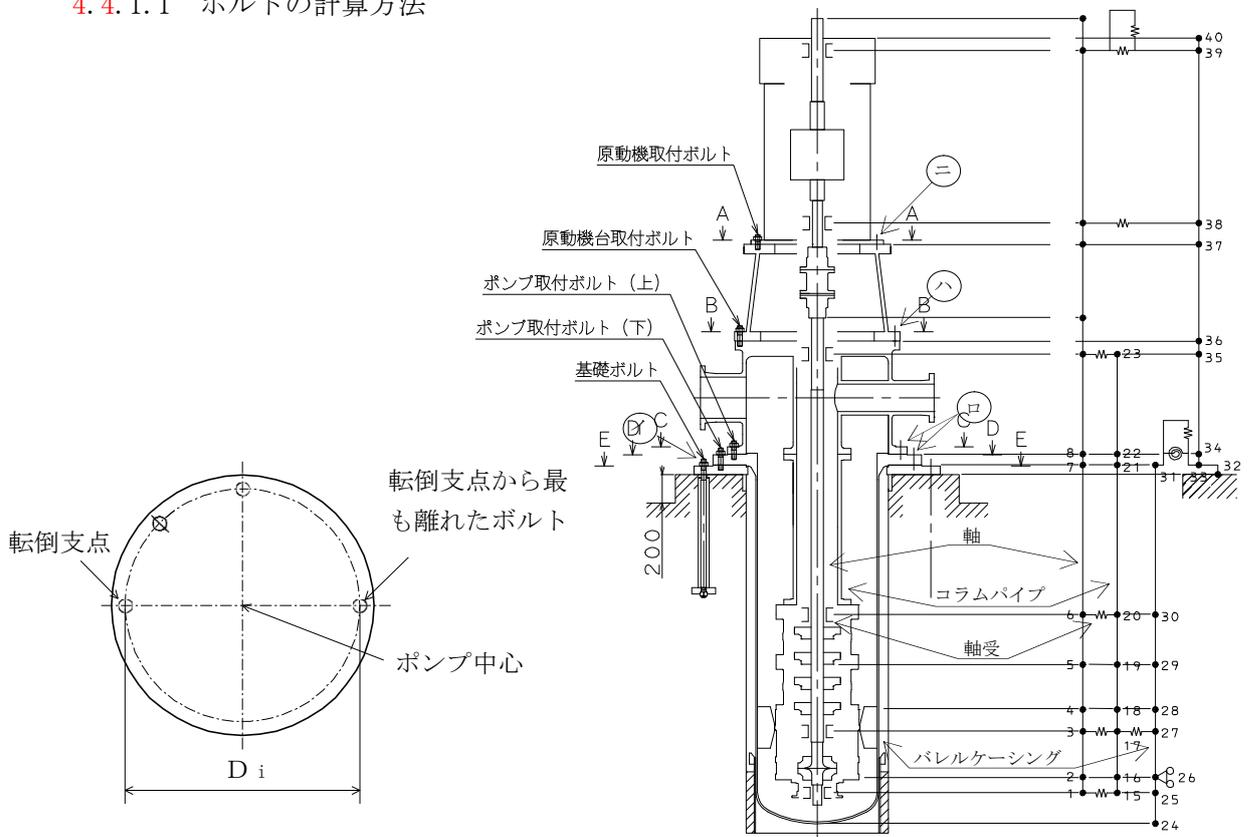
4.3 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 ボルトの計算方法



$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ポンプ取付ボルト*

$i=3$: 原動機台取付ボルト*

$i=4$: 原動機取付ボルト*

注記* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i=2$: ポンプ取付ボルト(下), $i=3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i=3$ を $i=4$, $i=4$ を $i=5$ とする。

図 4-2 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度、ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお、転倒モーメント並びにせん断力は、計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{b i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.3.1.1.1)$$

ここで、 M_i は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める。
また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルト($i=1$)については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める $Q_{b i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.3.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.3.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.3.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.5 応力の評価

4.5.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 $f_{t si}$ 以下であること。ただし、 $f_{t oi}$ は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s bi}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.3.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお、この適用形式を外れる場合は、加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は“—”表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_{d,i}$ 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸込側	吐出側
		建屋 EL. *			$C_{H1} =$	$C_{V1} =$	$C_{H2} =$	$C_{V2} =$	$C_p =$				

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N·mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (MPa)	F_i (MPa)	F_{i}^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2		
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

M_p が生じない場合は“—”とする。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。
(パレルケーシング、コラムパイプについても同様とする。)

ボルト径を記載する。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p =$	$N =$

(2) パレルケーシング、コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
パレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b,i} (N)		Q _{b,i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結 論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =
鉛直 1次	T _{V1} =

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} =$	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} =$
		せん断	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma =$	S _a =
		基準地震動 S _s	$\sigma =$	S _a =
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma =$	S _a =
		基準地震動 S _s	$\sigma =$	S _a =

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「評価用加速度 \leq 機能確認済加速度」の場合の記載

※: 「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

1.5 その他の機器要目
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	-		-		-	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	-		-		-	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	-		-		-	
原動機台取付ボルト (i=4)	-		-		-	
原動機取付ボルト (i=5)	-		-		-	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	-	
コラムパイプ	-	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =
鉛直 1次	T _{V1} =

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	-	-	σ _{b1} =	f _{ts1} =
		せん断	-	-	τ _{b1} =	f _{sb1} =
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	-	-	σ _{b2} =	f _{ts2} =
		せん断	-	-	τ _{b2} =	f _{sb2} =
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	-	-	σ _{b3} =	f _{ts3} =
		せん断	-	-	τ _{b3} =	f _{sb3} =
原動機台取付ボルト		引張り	-	-	σ _{b4} =	f _{ts4} =
		せん断	-	-	τ _{b4} =	f _{sb4} =
原動機取付ボルト		引張り	-	-	σ _{b5} =	f _{ts5} =
		せん断	-	-	τ _{b5} =	f _{sb5} =

すべて許容応力以下である。

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	許容応力
バレルケーシング		-	-
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ ₀ =
		基準地震動 S _s	σ ₀ =

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

		評価用加速度との比較	(単位：×9.8 m/s ²)
		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載

※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

2.5 その他の機器要目
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

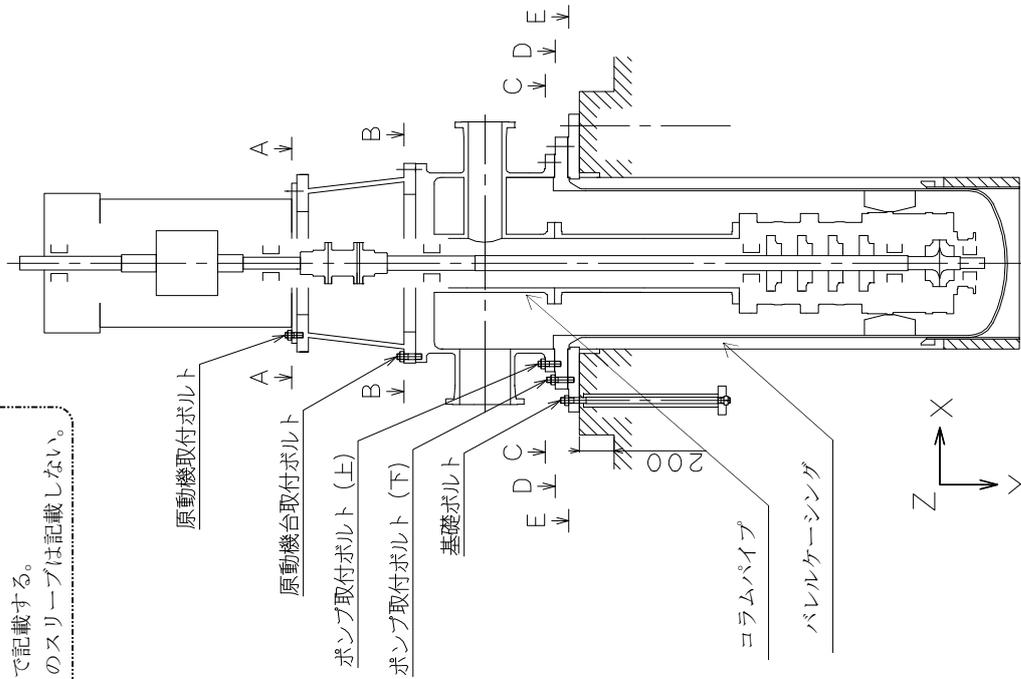
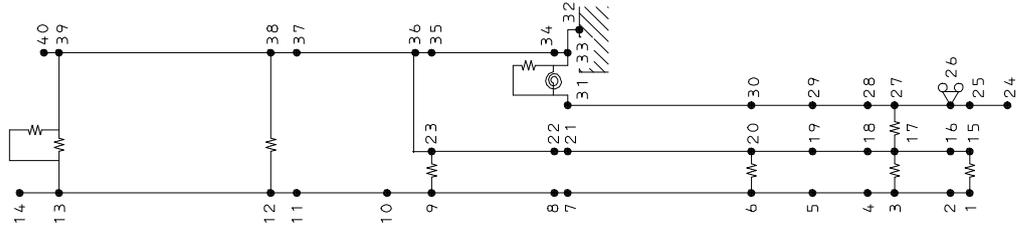
(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

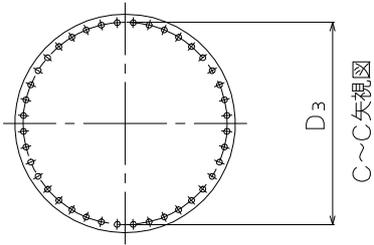
(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

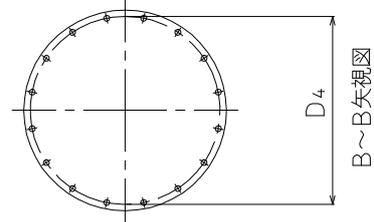
容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリーブは記載しない。



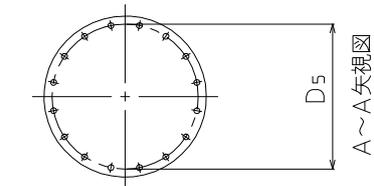
原動機取付ボルト (上)



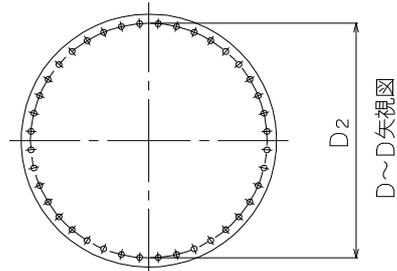
原動機台取付ボルト



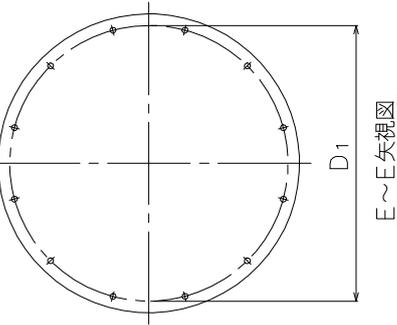
原動機取付ボルト



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト



添付資料-1:「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)

V-〇-〇-〇 〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 評価結果	8
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8



DB + SAの場合

4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
4.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、〇〇〇〇空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇空気だめの構造計画を表 2-1 に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。

その場合は、目次にも本項目を記載する。

2.3 適用基準

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用基準」となる。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇空気だめの構造はスカート支持たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇空気だめの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に示す。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	○○○○空気だめ	S	クラス3 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記 * : クラス3 容器の支持構造物を含む。 「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2 : S s と組合せ、 III_{AS} の評価を実施する。

III_{AS} の評価でS sを組合せる場合は「S d**2」とし、注記で説明する。

(DB + SAの場合、以下を追加)

表 3-0 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	○○○○空気だめ	常設/防止	*2 重大事故等 クラス2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限 界を用いる。)

注記 *1 : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2 : 重大事故等クラス2 容器の支持構造物を含む。

*3 : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

・DB+SAの場合を示す。
 [・DB単独の場合は、許容応力(クラス2, 3容器)
 ・SA単独の場合は、許容応力(重大事故等クラス2容器)とする。]

表3-2 許容応力(クラス2, 3容器及び重大事故等クラス2容器)

許容限界*1, *2			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次+ ピーク応力
III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。
IV _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)			

注記 *1: 座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMIC容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB+SAの場合は、V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB+SAの場合を示す。
 [DB単独の場合は, 許容応力 (クラス2, 3支持構造物)
 ・SA単独の場合は, 許容応力 (重大事故等クラス2支持構造物) とする。]

表 3-3 許容応力 (クラス2, 3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III _A S	1.5・f _t	1.5・f _s
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S		

(V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。)

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB+SAの場合は, V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SB46	100			220	433	—
スカート	SM41A	50		—	241	394	—
基礎ボルト	SS41	50		—	231	394	—

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

(DB+S Aの場合、以下を追加)

表 3-〇 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対応設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SB46	100			220	433	—
スカート	SM41A	50		—	241	394	—
基礎ボルト	SS41	50		—	231	394	—

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(DB + SAの場合、以下を追加)

4.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設
- 1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
○○○○空気だめ	S	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	C _H =0.66	C _V =0.48	C _H =1.87	C _V =0.96	3.24	100	50

III A Sの評価を S_s で実施する場合は「-」*2とし、注記で説明する。

注記 *2が必要なる場合は「*1」とする。

* : 基準床レベルを示す。

*2 : III A Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000*1	201000*2	76200*1	77300*2
φ (mm)	φ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s (mm)	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)
971	699	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)
1350	314.2 (M20)	560	4.540×10 ⁷	1.286×10 ⁸		

III A Sの評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

S _y (筒板) (MPa)	S _u (筒板) (MPa)	S (筒板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220*1	433*1	—	241*2 (厚さ≦16mm)	394*2	241	276

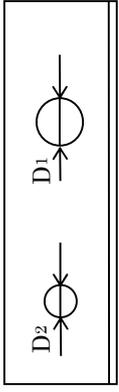
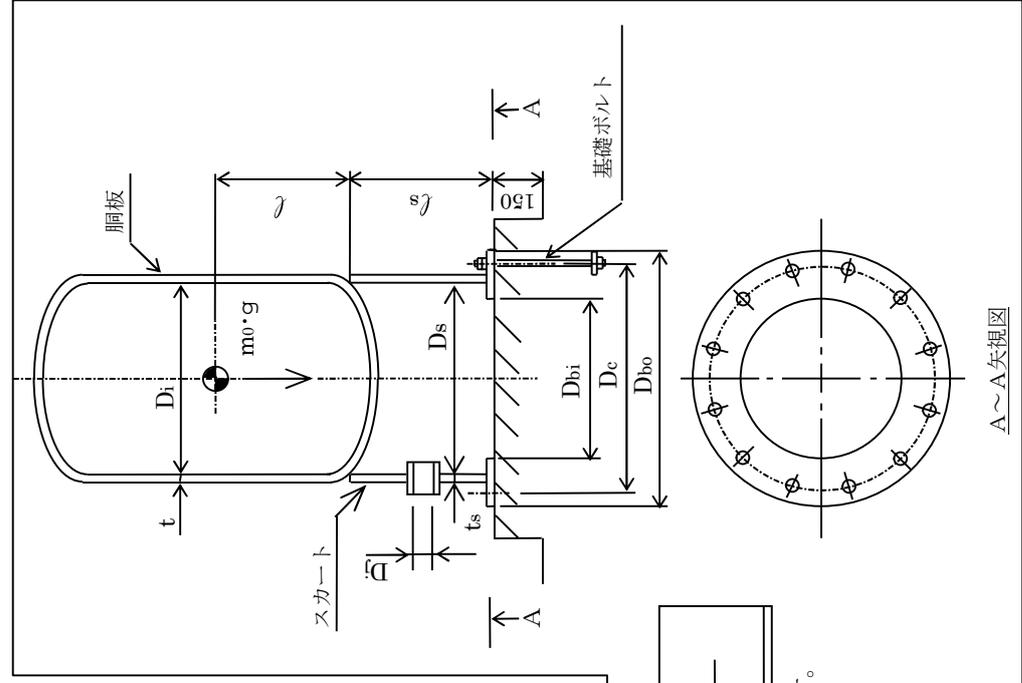
厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm<径≦40mm)	394*2	231	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。



スカート開口部の形状を示す。

A~A矢張図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			標準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2}=0$	—	—	$\sigma_{x2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x3}=0$	—	—	$\sigma_{x3}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=51$	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=52$	—
引張側	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-49$	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-48$	—
圧縮側	—	$\sigma_{0t}=100$	—	—	$\sigma_{0t}=100$	—
引張	—	—	—	—	—	—
圧縮	—	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			標準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x3}=0$	—	—	$\sigma_{x3}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=2$	—
引張側	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=2$	—
圧縮側	—	$\sigma_{2t}=2$	—	—	$\sigma_{2t}=5$	—
引張	—	$\sigma_{2c}=2$	—	—	$\sigma_{2c}=6$	—
圧縮	—	—	—	—	—	—

ⅢA Sの評価を S_sで実施する場合は「-」とする。

ⅢA Sの評価を S_sで実施する場合は「-」とする。

1.3.2 スカートに生じる応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			標準地震動 S _s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	組合せ応力	組合せ応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=9$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=22$	$\sigma_s=22$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3}=1$	—	$\sigma_{s3}=2$	$\sigma_{s3}=2$	—	—
水平方向地震による応力	$\sigma_{s2}=6$	—	$\sigma_{s2}=16$	$\sigma_{s2}=16$	—	—
せん断	$\tau_s=3$	—	$\tau_s=6$	$\tau_s=6$	—	—

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			標準地震動 S _s		
	引張応力	せん断応力	せん断応力	引張応力	せん断応力	せん断応力
引張	$\sigma_b=15$	—	—	$\sigma_b=15$	—	—
せん断	—	$\tau_b=8$	—	$\tau_b=8$	—	—
せん断	—	—	$\tau_b=21$	$\tau_b=21$	—	—

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位 : s)	
方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.017$
鉛直方向	$T_V=0.005$

1.4.2 応力

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	$\sigma_0=100$	$S_a=220$	$\sigma_0=100$	$S_a=259$
		一次 + 二次	$\sigma_2=2$	$S_a=440$	$\sigma_2=6$	$S_a=440$
		組合せ	$\sigma_s=9$	$f_t=241$	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
スカート	SM41A	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.04 (無次元)		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=173$	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207$
		せん断	$\tau_b=8$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

注記 * : 基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

ⅢA Sの評価を S_s で実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

【DB + SA の場合】
前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

【SA 単独の場合】
本フオーマットを使用する。
ただし、草番を1とする。

2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件
設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲环境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
○○○○空気だめ	常設/防止	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	—	—	C _H =1.87	C _V =0.96	3.24	100	50

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D ₁ (mm)	t	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000*1	201000*2	76200*1	77300*2
φ	φ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)
971	699	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)
1350	314.2 (M20)	560	—	—	1.286 × 10 ⁸	—

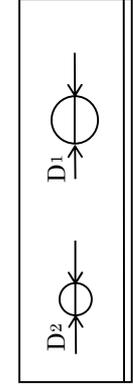
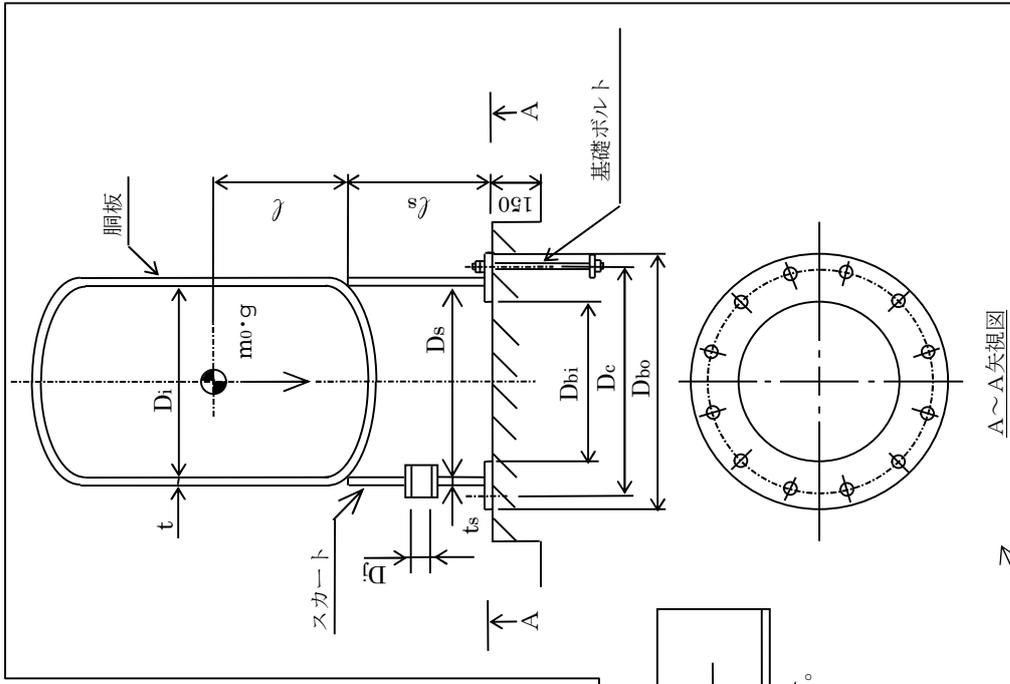
S _y (同板) (MPa)	S _u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220*1	433*1	—	241*2 (厚さ ≤ 16mm)	394*2	—	276

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。
オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	—	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲环境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。



スカート開口部の形状を示す。

A~A矢張図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。
(但し、DB + SA の場合は、SA の最終ページにのみ記載する)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
引張側	—	—	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=52$	—
圧縮側	—	—	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-48$	—
引張	—	—	—	—	$\sigma_{0t}=100$	—
圧縮	—	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
引張側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=2$	—
圧縮側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=2$	—
引張	—	—	—	—	$\sigma_{2t}=5$	—
圧縮	—	—	—	—	$\sigma_{2c}=6$	—

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=2$	—
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s3}=2$	$\sigma_s=22$
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s2}=16$	—
せん断	—	—	$\tau_s=6$	—

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張	—	—	$\sigma_b=61$	—
せん断	—	—	—	$\tau_b=21$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

方向	固有周期 (単位：s)
水平方向	$T_H=0.017$
鉛直方向	$T_V=0.005$

2.4.2 応力

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=100$	$S_a=259$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=6$	$S_a=440$
		組合せ	—	—	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
スカート	SM41A	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—	—	0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207$
		せん断	—	—	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。