

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-01-0140-1_改 42
提出年月日	2021年11月11日

補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料

## 目次

1. 入力津波の評価
  - 1.1 潮位観測記録の考え方について
  - 1.2 遡上・浸水域の考え方について
  - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
  - 1.4 管路解析モデルについて
  - 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
  - 1.6 津波シミュレーションにおける解析モデルについて
  - 1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について
2. 津波防護対象設備
  - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
3. 取水性に関する考慮事項
  - 3.1 砂移動による影響確認について
  - 3.2 除塵装置の取水性への影響について
  - 3.3 非常用海水ポンプの波力に対する強度評価について
4. 漂流物に関する考慮事項
  - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
  - 4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性
  - 4.3 漂流物による衝突荷重について
5. 設計における考慮事項
  - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について
  - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて
  - 5.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について
  - 5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について
  - 5.5 スロッシングによる貯水量に対する影響評価
  - 5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び衝突荷重の組合せについて
  - 5.7 浸水防護施設の評価における衝突荷重，風荷重及び積雪荷重について
  - 5.8 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について
  - 5.9 耐震及び耐津波設計における許容限界について
  - 5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について
  - 5.11 地殻変動後の津波襲来時における海水ポンプの取水性への影響について
  - 5.12 浸水防護施設のアンカーボルトの設計について

- 5.13 強度計算に用いた規格・基準類の適用性について
- 5.14 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について
- 5.15 浸水量評価について
- 5.16 強度評価における津波荷重等の鉛直方向荷重の考え方について
- 5.17 津波に対する止水性能を有する施設の評価について
- 5.18 防潮壁内のスロッシングによる非常用海水ポンプへの没水影響について
- 5.19 津波監視設備の設備構成及び電源構成について
- 5.20 軽油タンクエリアにおける浸水防護重点化範囲について
- 5.21 屋外タンク等からの溢水影響評価について
- 5.22 復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について
- 5.23 タービン補機冷却海水系ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について
- 5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価
  - 5.24.1 3号機補機放水側配管の基準地震動  $S_s$  に対する耐震評価
  - 5.24.2 3号機海水系ポンプの基準地震動  $S_s$  に対する耐震評価
  - 5.24.3 3号機取水側海水系配管の基準地震動  $S_s$  に対する耐震評価
  - 5.24.4 2号機および3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
  - 5.24.5 2号機および3号機海水系配管・弁の津波に対する強度評価
- 5.25 第3号機海水熱交換器建屋の回転の影響について
- 5.26 大津波警報発表時等における常用系海水系の運用について
- 5.27 防潮壁の止水構造について
- 5.28 3号機海水系に関する津波時の敷地への流入影響について
- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
  - 6.1 防潮堤に関する補足説明
  - 6.2 取放水路流路縮小工に関する補足説明
  - 6.3 防潮壁に関する補足説明
  - 6.4 貯留堰に関する補足説明
  - 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
    - 6.5.1 逆流防止設備に関する補足説明
    - 6.5.2 水密扉に関する補足説明
    - 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
    - 6.5.4 浸水防止壁に関する補足説明
    - 6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明
    - 6.5.6 貫通部止水処置に関する補足説明
  - 6.6 津波監視設備に関する補足説明
    - 6.6.1 津波監視カメラに関する補足説明

## 6.6.2 取水ピット水位計に関する補足説明

: 本日の説明範囲

## 5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

### 5.24.2 3号機海水系ポンプの基準地震動 $S_s$ に対する耐震評価

#### (1) 概要

3号機海水系ポンプについては、基準地震動 $S_s$ による地震力により設備が損傷した場合、津波が敷地へ流入する可能性があるため、基準地震動 $S_s$ による地震力に対してバウンダリ機能を維持することが必要である。

本資料は、3号機海水系ポンプについて、基準地震動 $S_s$ に対し、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。

評価にあたって、3号循環水ポンプについては、3号機の再稼働まで停止する運用を保安規定にて定めることを踏まえて、3号循環水ポンプの乾燥保管運用による電動機の取外し、水中部のコラムパイプ、インペラ等の取外しを考慮して評価を実施する。

#### (2) 評価対象部位

3号機海水系ポンプの評価対象部位を表5.24.2-1に示す。

表 5.24.2-1 評価対象部位

機器名称	評価部位	設置場所
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号タービン補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号循環水ポンプ	基礎ボルト	3号機海水ポンプ室

#### (3) 評価方針

3号海水系ポンプについては、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」にて示している構造と同等であることから、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器、許容応力状態 $IV_A S$ の荷重の組合せを踏まえて、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等に示す評価式及び解析方法を参考に評価する。

#### (4) 評価条件

##### a. 計算方法

固有値解析及び構造評価で用いる解析コードは、「MSC NASTRAN」を原子炉補機冷却海水ポンプ及びタービン補機冷却海水ポンプに使用し、「SAP2000」を高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプに使用するものとする。

循環水ポンプについては、系統を停止して乾燥保管運用を実施しているため、循環水ポンプ電動機の取外し、水中部のコラムパイプ、インペラ等の取外しを行っている。そのため、津波のバウンダリとなる範囲はケーシングのみであり、これらをモデル化して固有周期及び構造評価を行う。

b. 荷重及び荷重の組合せ

(a) 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

- ・ 常時作用する荷重 (D)

死荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

- ・ 内圧荷重 ( $P_D$ )

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

- ・ 機械的荷重 ( $M_D$ )

当該設備に設計上定められた機械的荷重とする。

- ・ 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動  $S_s$  により定まる地震力とする。

(b) 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せについて表5.24.2-2に示す。

表 5.24.2-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

許容応力状態	荷重の組合せ	評価対象部位
$IV_A S$	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト

c. 許容限界

3号機海水系ポンプの評価の許容限界は、許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力を用いる。

評価に用いる許容限界を表 5.24.2-3 に、使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 5.24.2-4 に示す。

表 5.24.2-3 基礎ボルトの許容限界 (許容応力)

許容応力状態	許容限界	
	一次応力	
	引張	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

表 5.24.2-4 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
タービン補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
循環水ポンプ	基礎ボルト		50		

d. 解析モデル

解析モデルについては、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991）の立形ポンプに基づき、以下の方針にて設定している。

(a) 考慮する次元数

質点は鉛直方向 1 次元に配置され直交方向（水平方向）の震度に対して解析を行う。

(b) ポンプ構造体

ポンプのコラム、軸、電動機台、電動機の回転子・固定子等は曲げ変形及びせん断変形を考慮した弾性はりとする。

(c) 流体の影響

コラムパイプ、軸などの水中構造物に作用する流体力として、流体による低減効果は考慮しない。（非対角質量は考慮していない）

(d) 質点の取り方

原則として軸受部、断面の変化する部分及び評価点に質点を設ける。

(e) 付加水質量

付加水の質量は実質量として考慮し質点質量に加える。

各ポンプの解析モデルを図 5.24.2-1～4 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

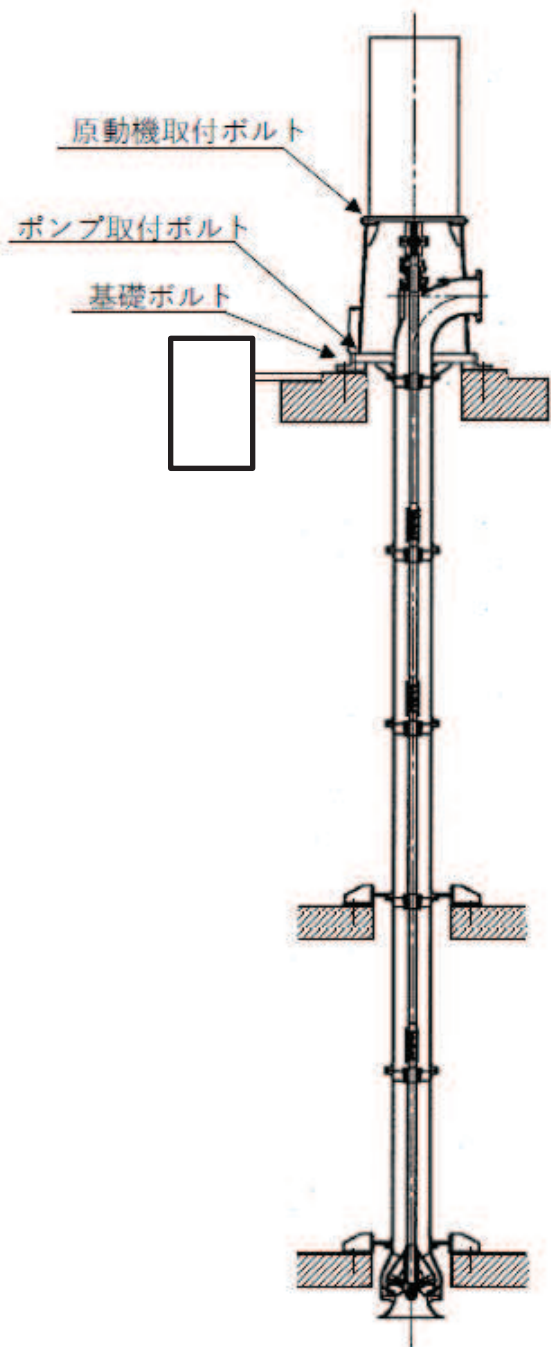


図 5. 24. 2-1 原子炉補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



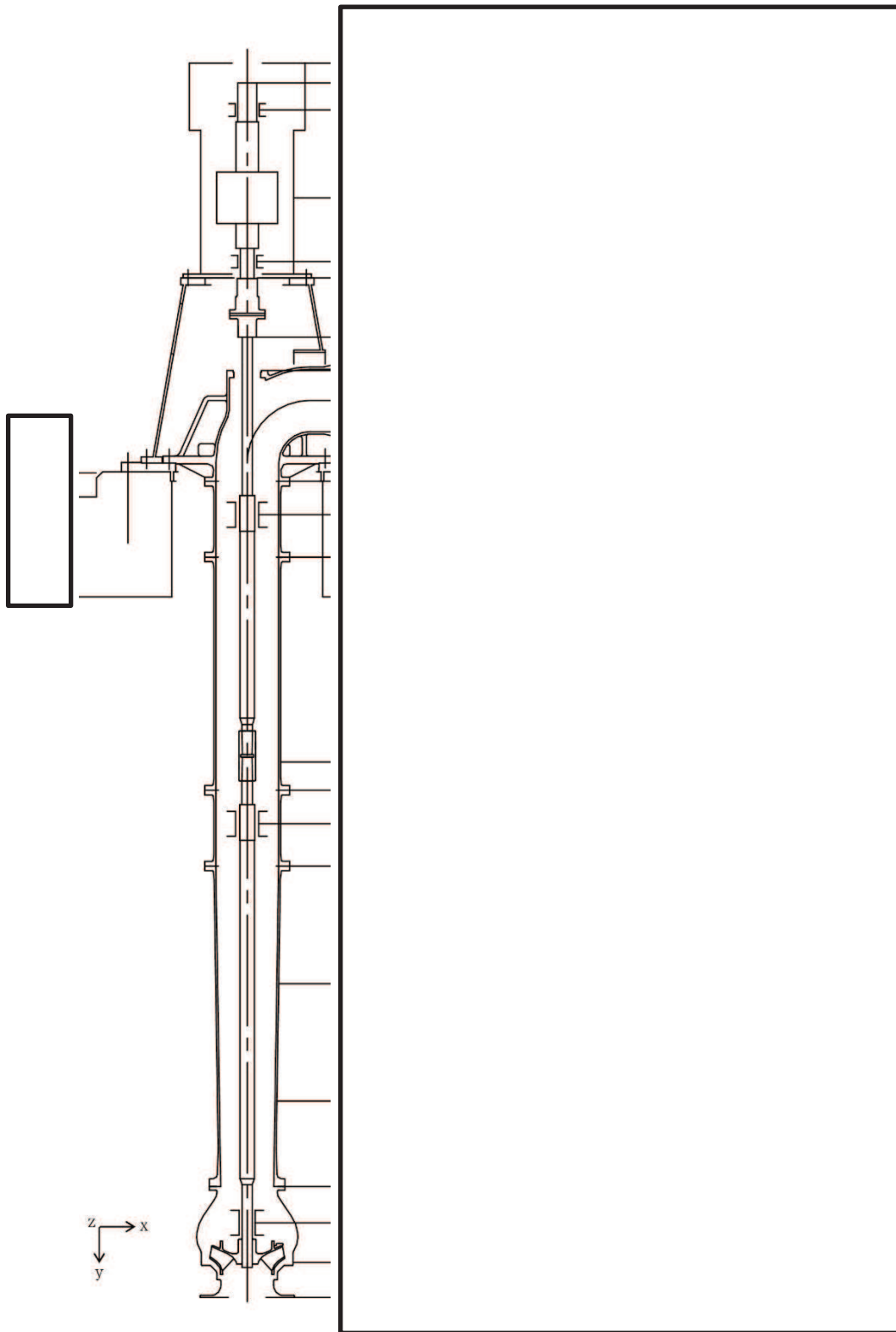


図 5. 24. 2-2 タービン補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

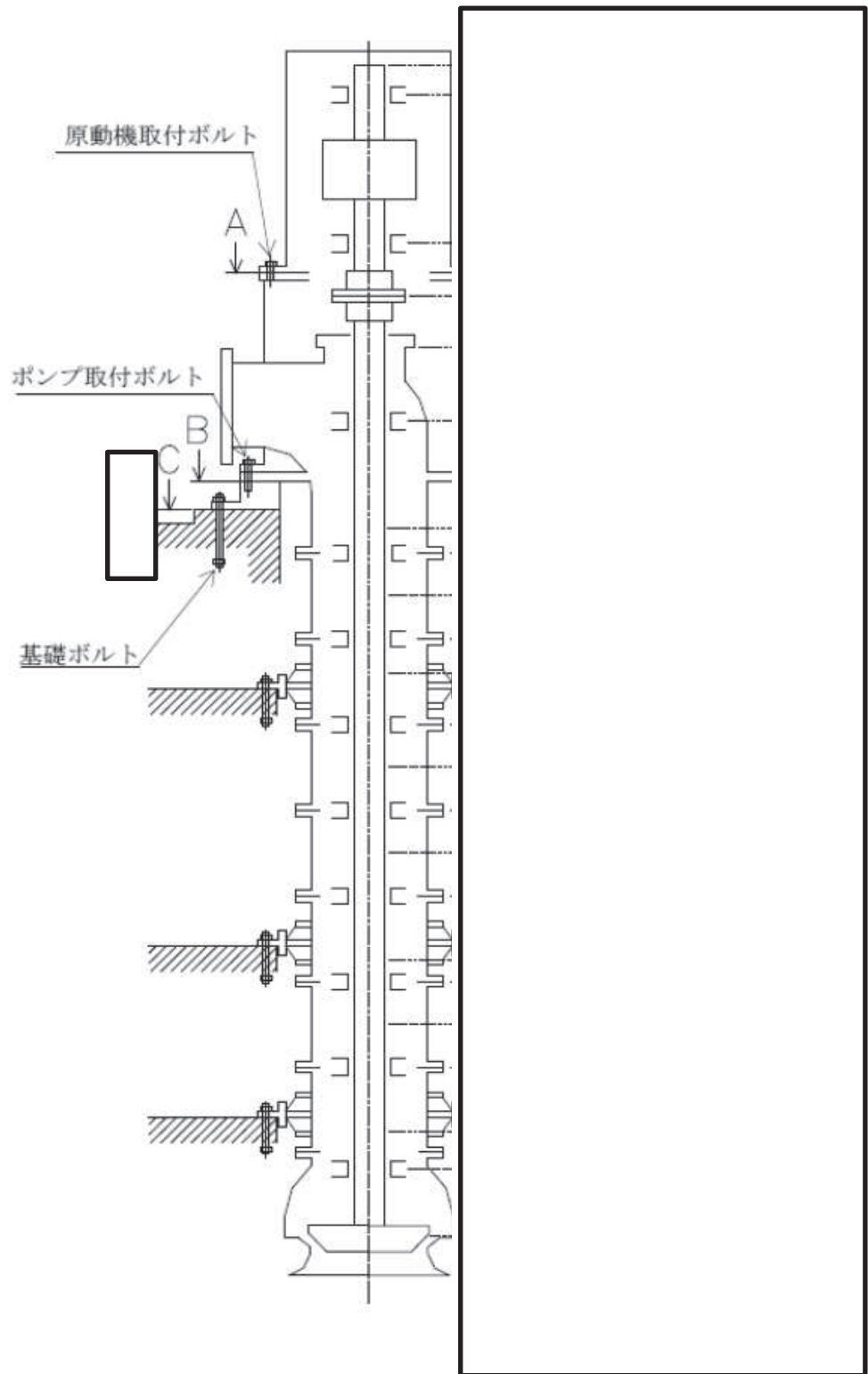


図 5.24.2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

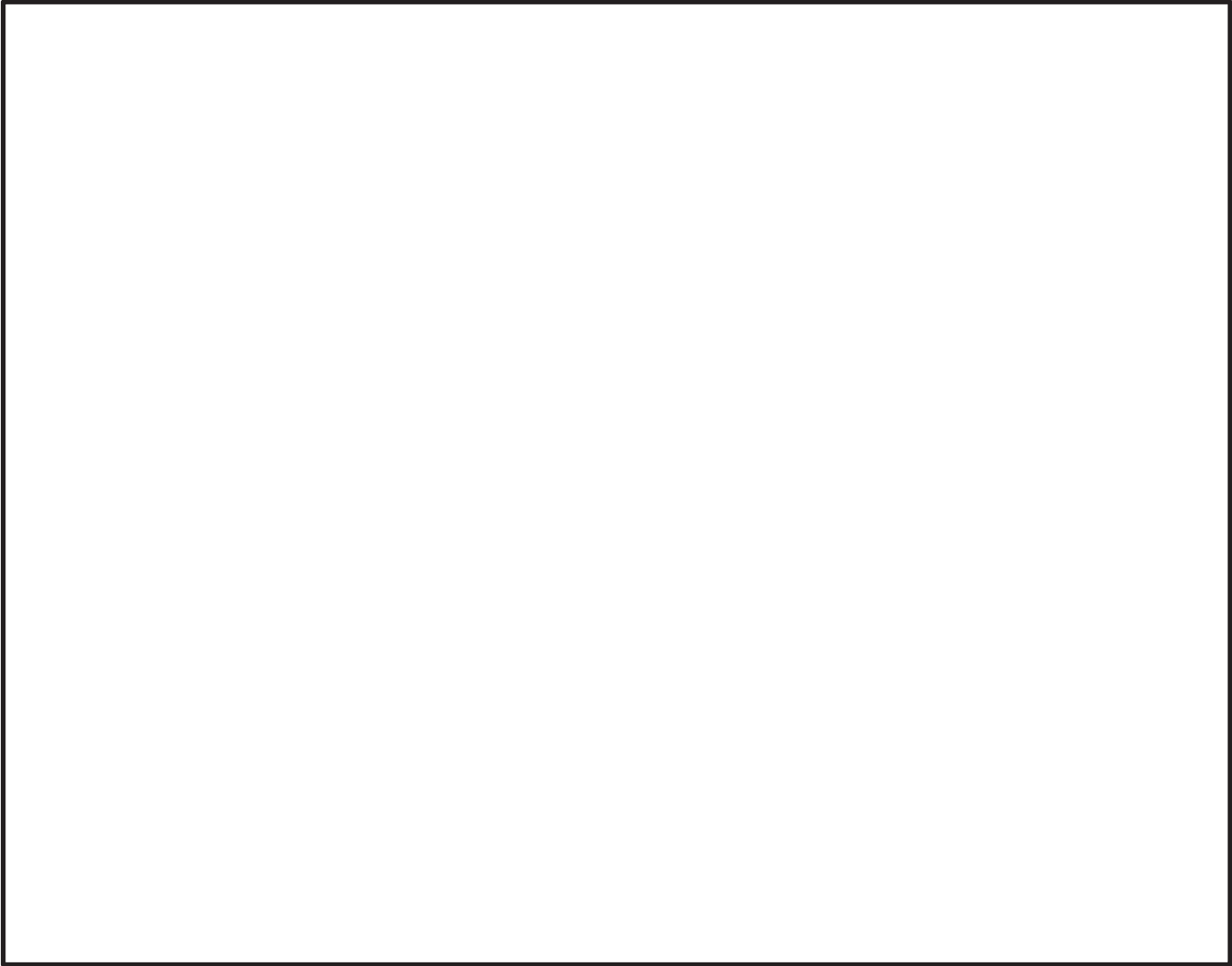


図 5.24.2-4 循環水ポンプの評価モデル図

【循環水ポンプの固有周期算出の計算式について】

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$T_i = 2 \pi \sqrt{\frac{m_i}{10^3} \left( \frac{h_i^3}{3E_i I_i} + \frac{h_i}{A_{si} G_i} \right)}$$

- $T_i$  : 固有周期 (s)
- $m_i$  : 機器の質量 (kg)
- $E_i$  : 縦弾性係数 (MPa)
- $I_i$  : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)
- $A_{si}$  : 最小有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $G_i$  : せん断弾性係数 (MPa)
- $h_i$  : 据付面から重心までの距離 (mm)

添え字 i は以下を示す。

1: 据付面上部, 2: 据付面下部

e. 固有値解析

固有値解析及び固有周期評価の結果を表 5. 24. 2-5~8, 振動モード図を図 5. 24. 2-5~7 に示す。なお, 補足説明資料「補足-600-40-31 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」において, 2号原子炉補機冷却海水ポンプの鉛直方向解析モデルを作成し, 固有周期を算出した結果, 鉛直方向の固有周期が十分に小さく剛であることを確認している。本書に示すたて軸ポンプについても同等の構造であり, 鉛直方向の固有周期が十分に小さいと考えることから, 各々のたて軸ポンプの鉛直方向についての固有周期の計算は省略する。

表 5. 24. 2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0. 051	-0. 114	-0. 114	—
2 次	水平	0. 045	—	—	—

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

表 5. 24. 2-6 タービン補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0. 344	1. 915	1. 915	—
2 次	水平	0. 050	0. 829	0. 829	—
3 次	水平	0. 040	—	—	—

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

表 5. 24. 2-7 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0. 052	-0. 372	-0. 372	—
2 次	水平	0. 038	—	—	—

表 5. 24. 2-8 循環水ポンプの固有周期評価結果

機器名	固有周期 (s)
循環水ポンプ (ケーシング)	0. 014*

注記 \* : 固有周期は 0. 05s 以下であることから, 剛構造である。

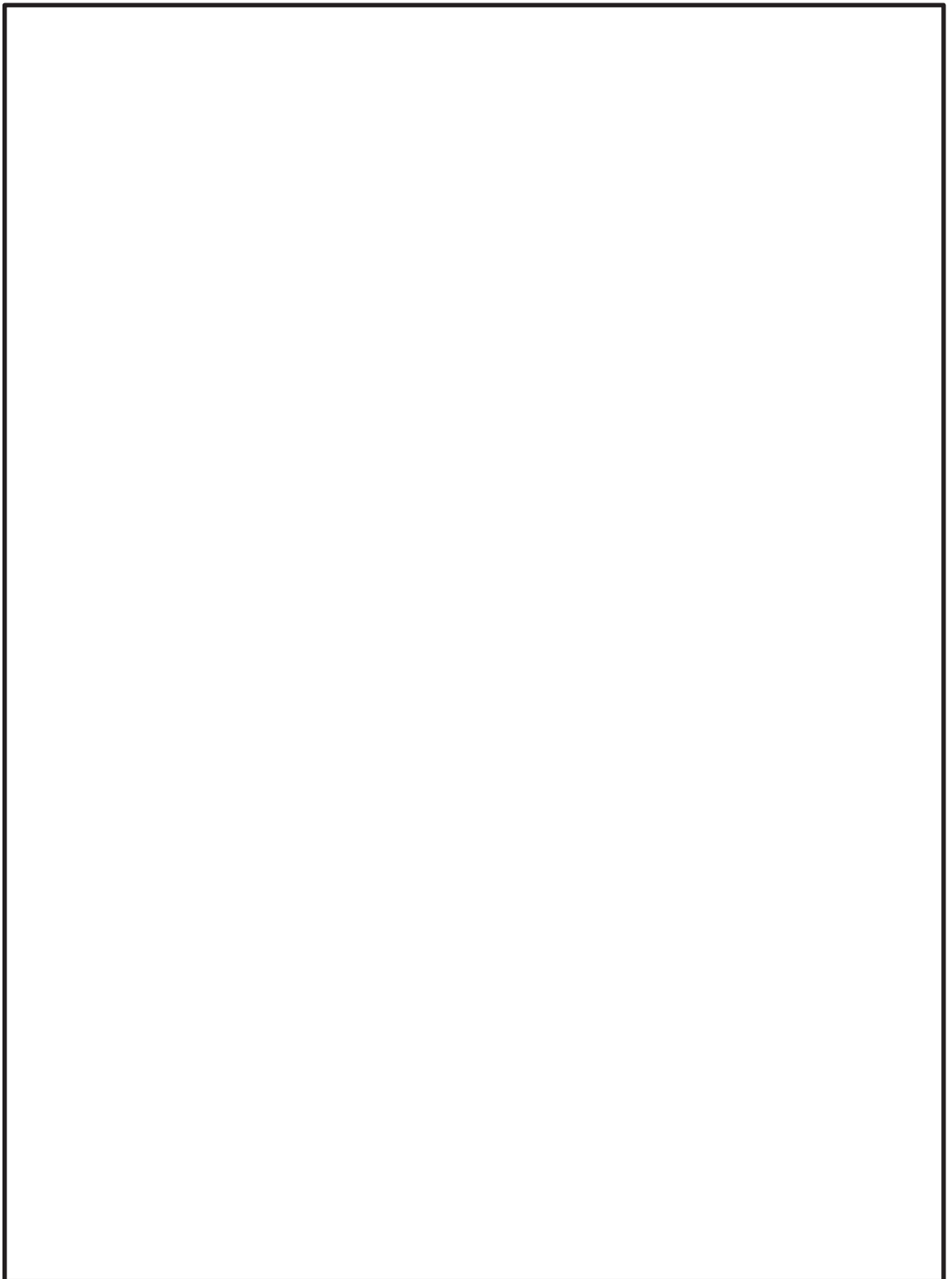


図 5.24.2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

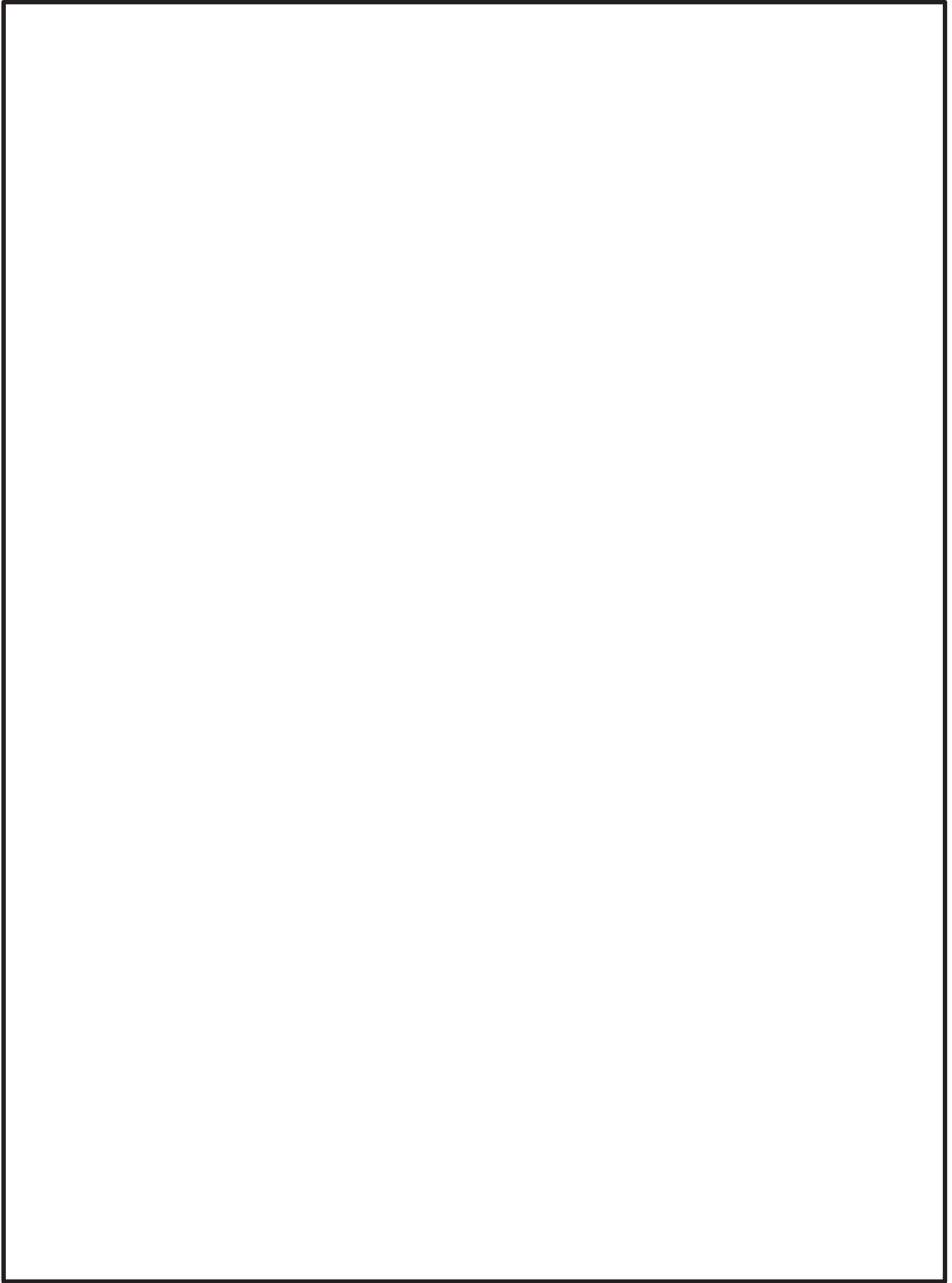


図 5.24.2-6 タービン補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

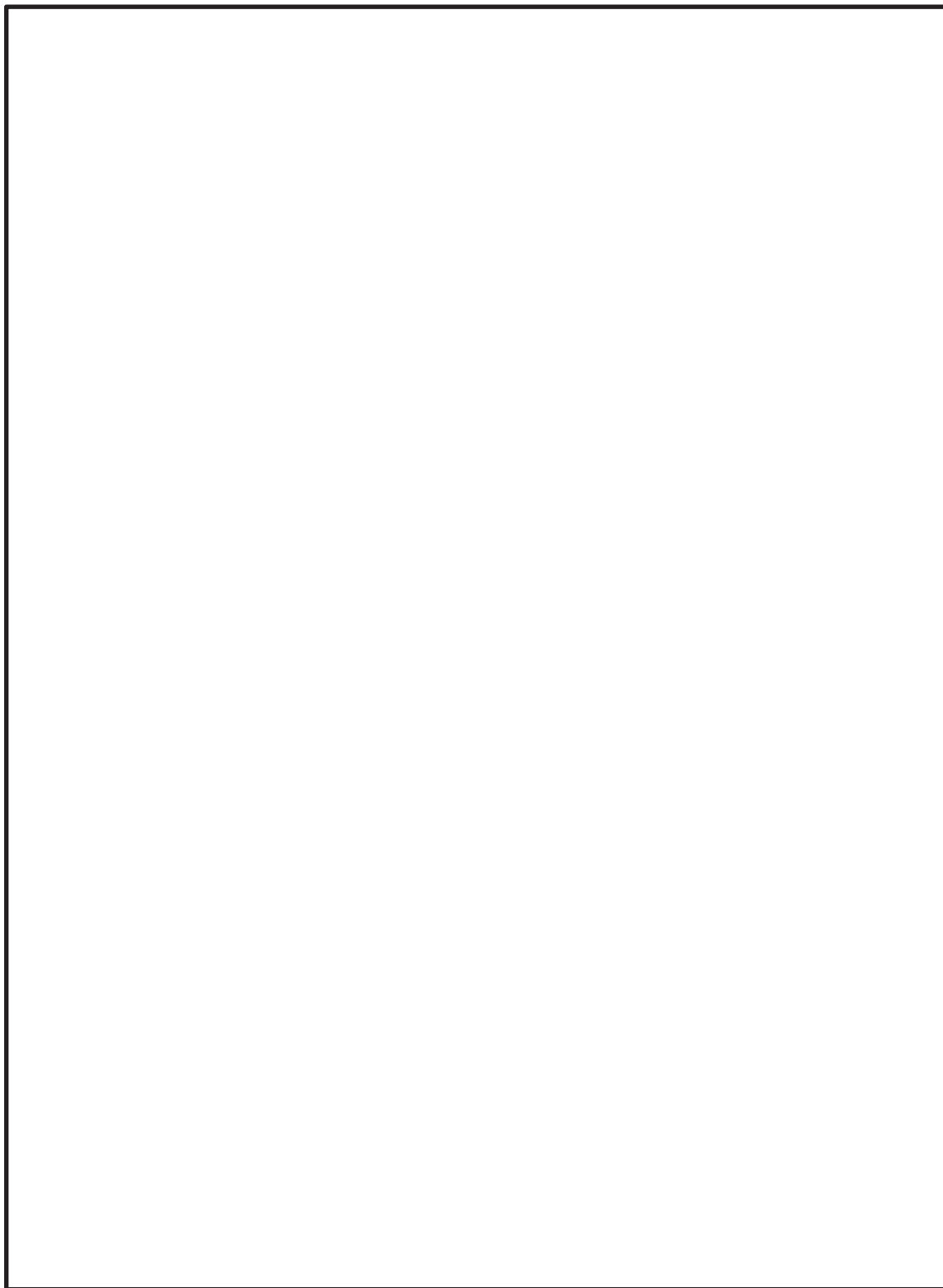


図 5.24.2-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 設計用地震力

本資料において考慮する設計用床応答曲線を表5.24.2-9及び図5.24.2-8～11に示す。設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」を参考に設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」を参考に設定する。

また、循環水ポンプの耐震評価に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」を参考に、設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮した値とし、表5.24.2-10に示す。

表 5.24.2-9 設計用床応答曲線

建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
3号海水熱交換器建屋	7.00 -2.10	1.0

表 5.24.2-10 循環水ポンプの設計用地震力

地震動	床面高さ* <sup>1</sup> O.P. (m)	場所	設計震度* <sup>2</sup>	
基準地震動 S s	-1.55	3号機海水 ポンプ室	水平方向 C <sub>H</sub>	1.58
			鉛直方向 C <sub>V</sub>	3.17

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：「(3) e. 解析結果及び評価」より、循環水ポンプの固有周期が0.05s以下であることを確認したため、3号機海水ポンプ室の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。



図番 : 02\_3Hx\_Ss-AL\_C00\_1.0\_EWH\_8.000\_h\_Rev00\_a  
 構造物名 : 3号海水熱交換器建屋  
 標高 : 0.P. 8.000m  
 減衰定数 : 1.0  
 波形名 : Ss-AL  
 ——水平方向

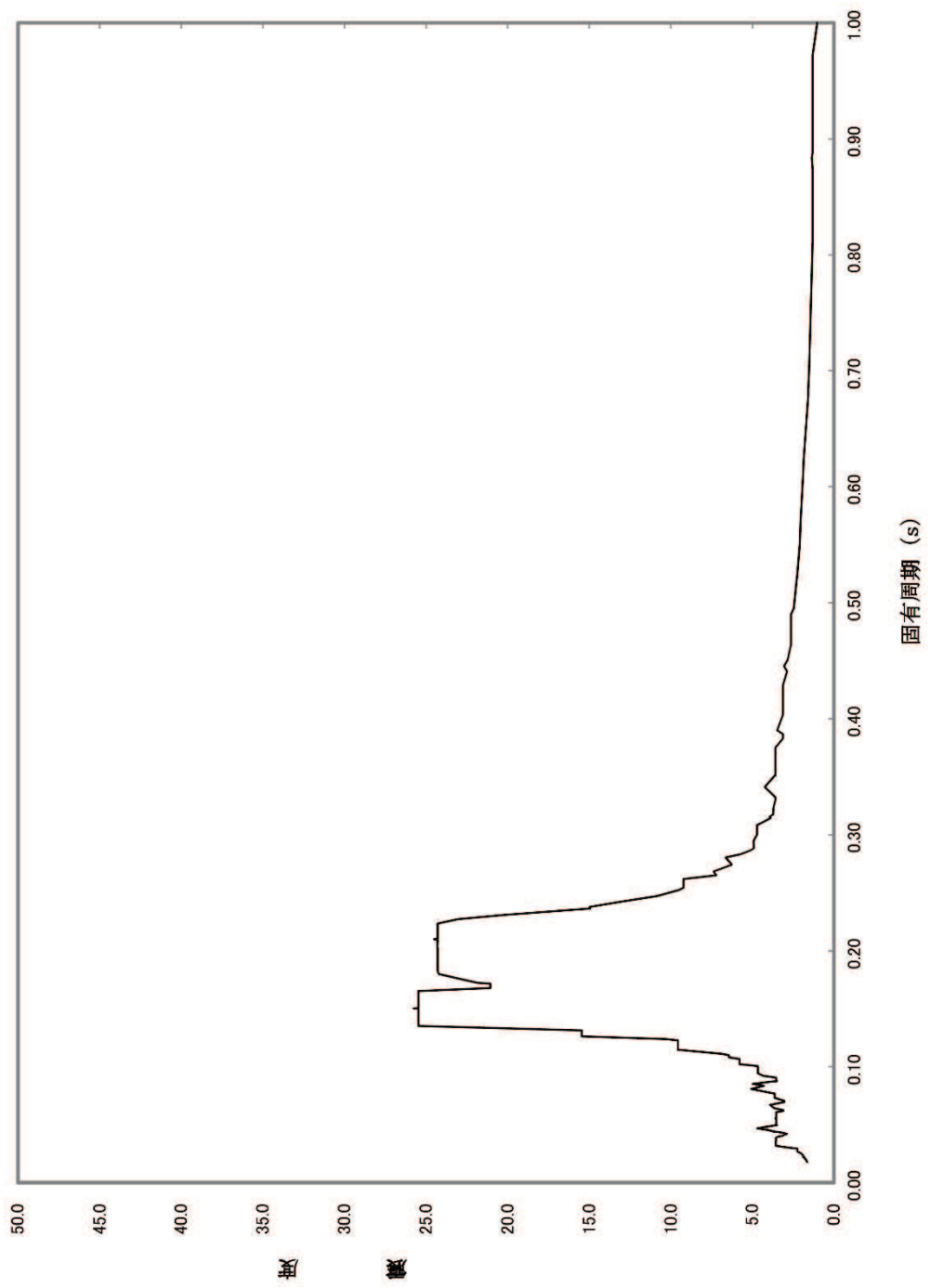


図 5.24-2-8 固有周期毎の水平方向の震度 (O.P. 7.00m)

建造物名： 3号海水熱交換器建屋  
減衰定数： 1.0

標高： 0.P. 8.000m  
波形名： Ss-AL

図番： 02\_3Hx\_Ss-AL\_C00\_1.0\_UIDH\_8.000\_h\_Rev00\_a  
——鉛直方向

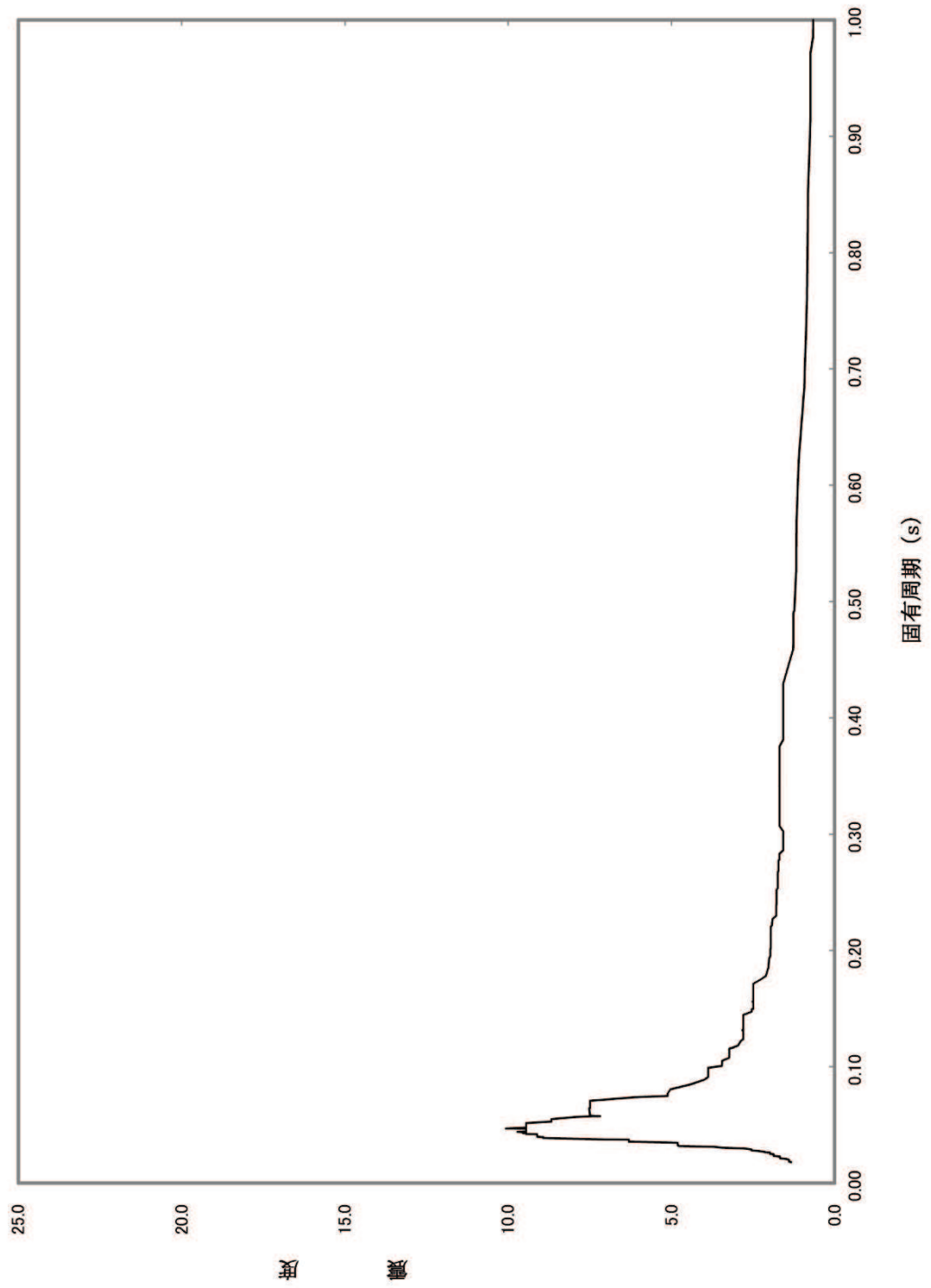


図 5.24-2-9 固有周期毎の鉛直方向の震度 (0.P. 7.00m)

図番 : 02\_3Hx\_Ss-AL\_C00\_1.0\_EWH\_-1.100\_h\_Rev00\_a

標高 : 0.P. -1.100m

波形名 : Ss-AL

構造物名 : 3号海水熱交換器建屋

減衰定数 : 1.0

—— 水平方向

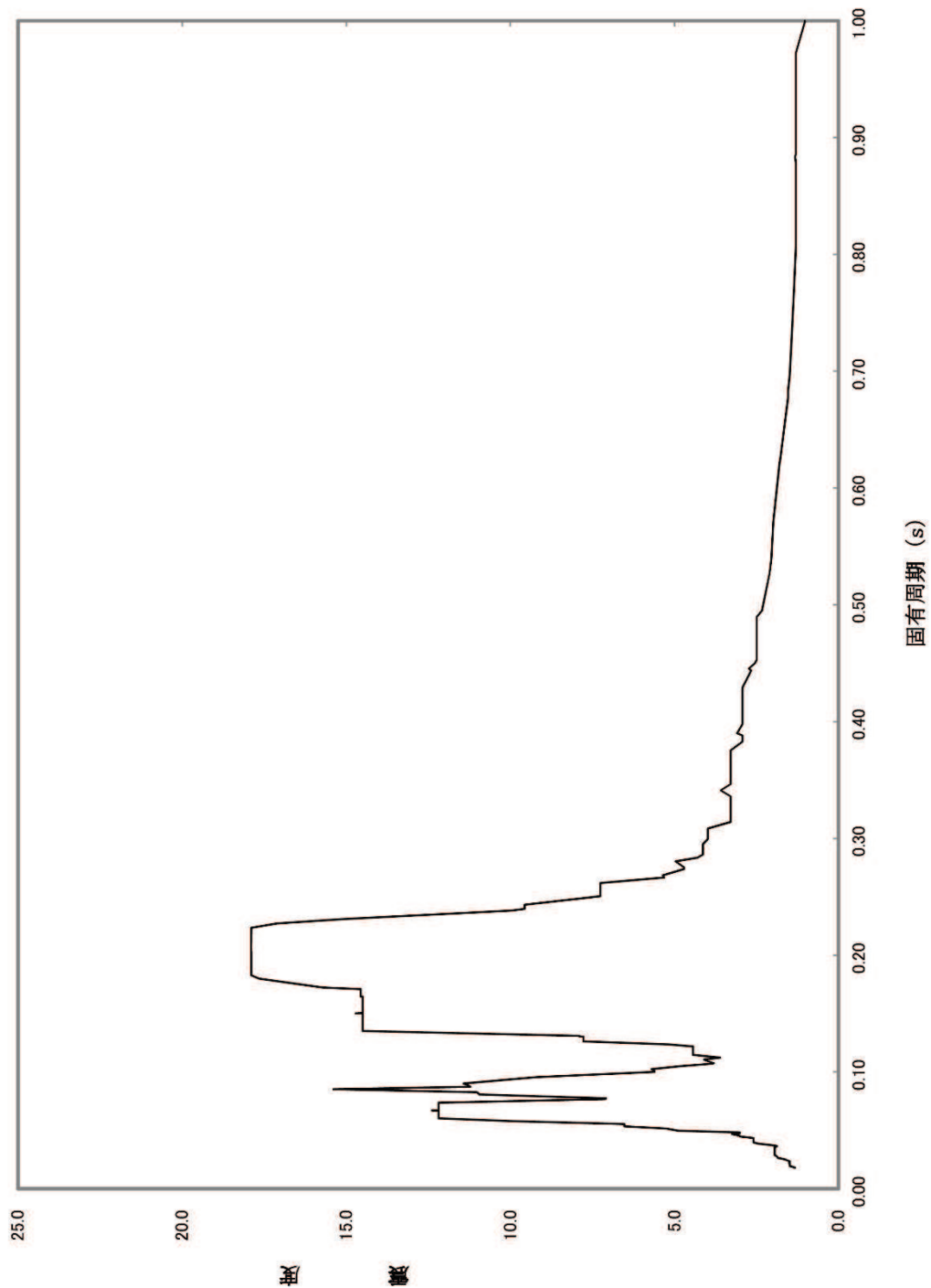


図 5.24-2-10 固有周期毎の水平方向の震度 (0.P.-2.10m)

図番 : 02\_3Hx\_Ss-AL\_C00\_1.0\_UDH\_-1.100\_h\_Rev00\_a

標高 : 0.P. -1.100m  
波形名 : Ss-AL

構造物名 : 3号海水熱交換器建屋  
減衰定数 : 1.0

——鉛直方向

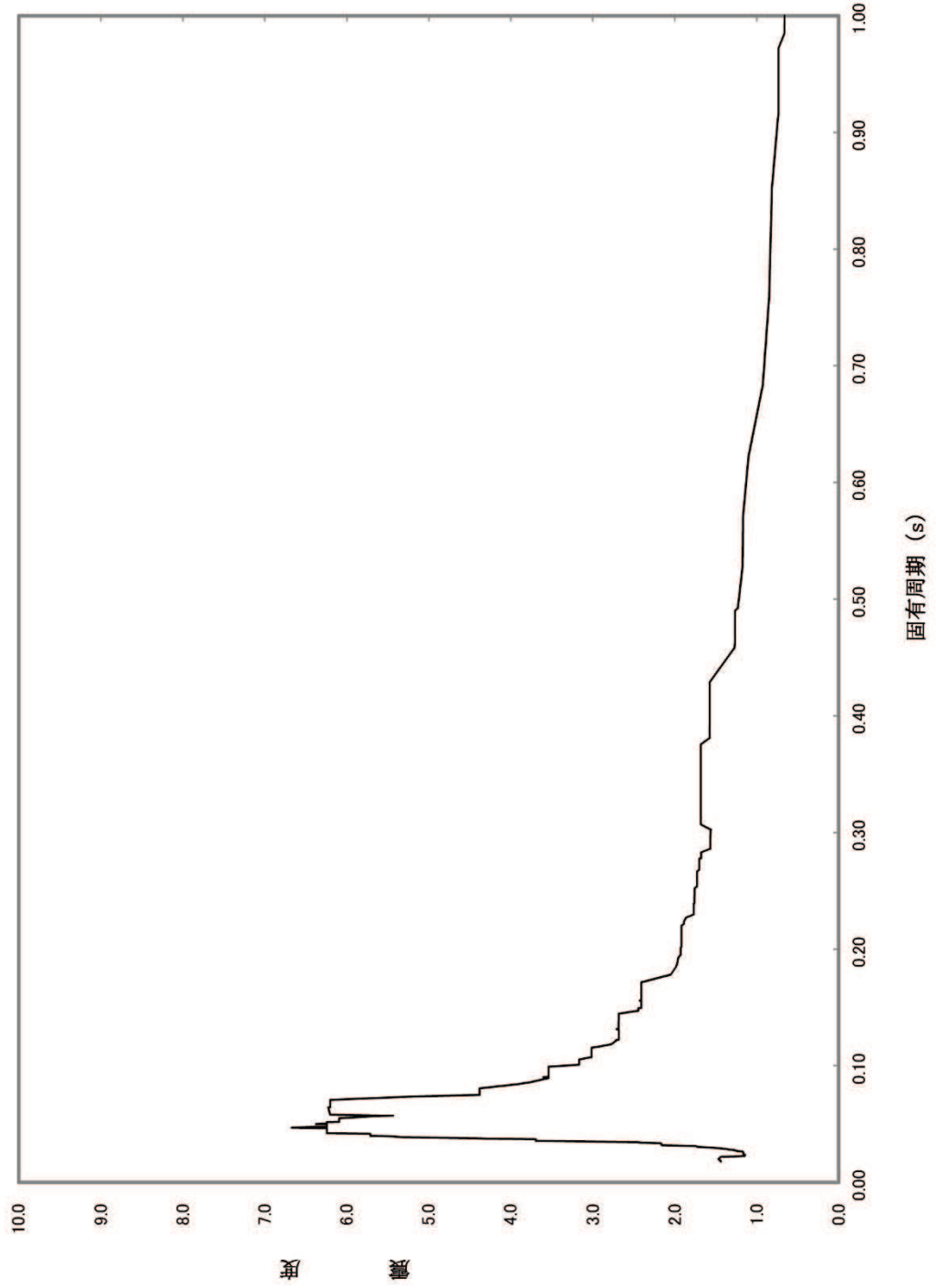


図 5.24-2-11 固有周期毎の鉛直方向の震度 (0.P.-2.10m)

(5) 評価結果

表 5. 24. 2-11 に示すとおり，算出応力はそれぞれの許容応力以下である。

表 5. 24. 2-11 ポンプ基礎ボルト評価結果

評価対象設備	評価対象部位	算出応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	引張	41	475
タービン補機冷却海水ポンプ		引張	143	184
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ		引張	35	184
循環水ポンプ		引張	30	190

評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。