

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-40-7_改4
提出年月日	2021年11月9日

補足-600-40-7 剛な設備の固有周期の算出について

1. はじめに

耐震設計においては、横軸ポンプについて、固有周期は十分に小さく計算は省略している。本資料では、横軸ポンプの代表設備に対して固有周期の算出を行い、固有周期は十分に小さく、剛であることの確認を行った。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-3-1 高圧代替注水系タービンポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-4-1 直流駆動低圧注水系ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-6-2-1 復水移送ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-1-2 原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-2-2 高圧炉心スプレー補機冷却水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-4-3-4-1 代替循環冷却ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」

2. 対象設備

1項に示す横軸ポンプは、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4601-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定義されている横形ポンプに該当するかもしくは類似するポンプであり、いずれも重心は低く、十分な剛性を有したケーシングや脚で構成されているため、ポンプ全体の剛性に大きな差はなく十分に剛であると判断している。そこで、本検討においては、新規制基準対応で新規設置した設備から原動機に風洞を有し高さ寸法が大きくなっている以下の設備を代表として固有周期の算出を行った。

- ・直流駆動低圧注水系ポンプ

3. 算出方針

J E A G 4 6 0 1 に準拠し固有周期の算出を行った。

4. 直流駆動低圧注水ポンプの固有周期の算出

4.1 固有周期の計算方法

直流駆動低圧注水系ポンプ（図 1-1）の固有周期は、ポンプケーシング、ロータの 2 質点にて算出を行う（図 1-2 及び図 1-3 参照）。

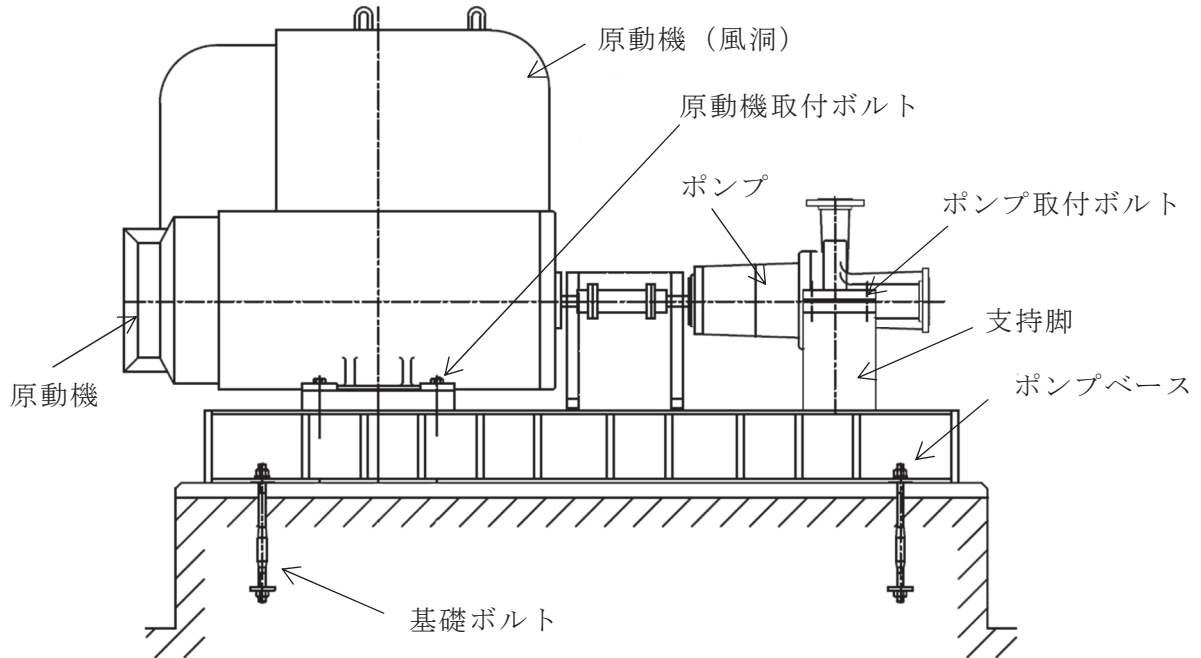
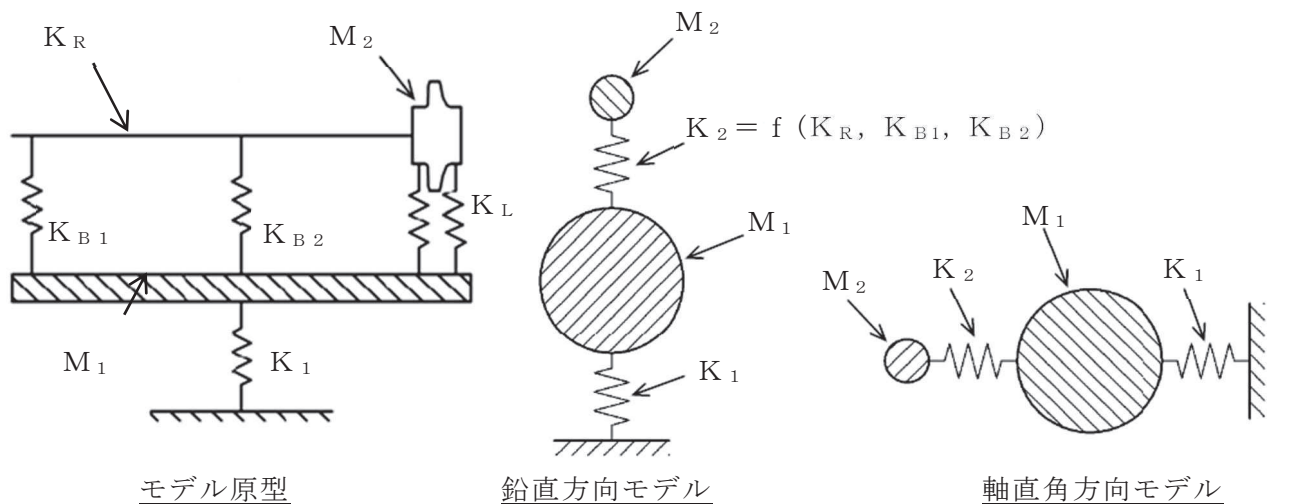
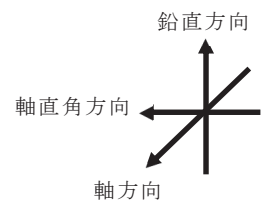


図 1-1 直流駆動低圧注水系ポンプ外形図



K_R : ロータ曲げ剛性
 K_{B1} : ラジアル軸受CP*側ばね定数
 K_{B2} : ラジアル軸受反CP*側ばね定数
 K_L : ライナーリング剛性
 (保守的評価のため考慮しない)

K_1 : 支持部剛性
 K_2 : ロータ等価ばね定数
 M_1 : ポンプ質量
 (ベース, ケーシング, 水質量含む)
 M_2 : ロータ質量(水質量含む)



注記* : CPはカップリングの略称

図 1-2 計算モデル (軸直角方向, 鉛直方向)

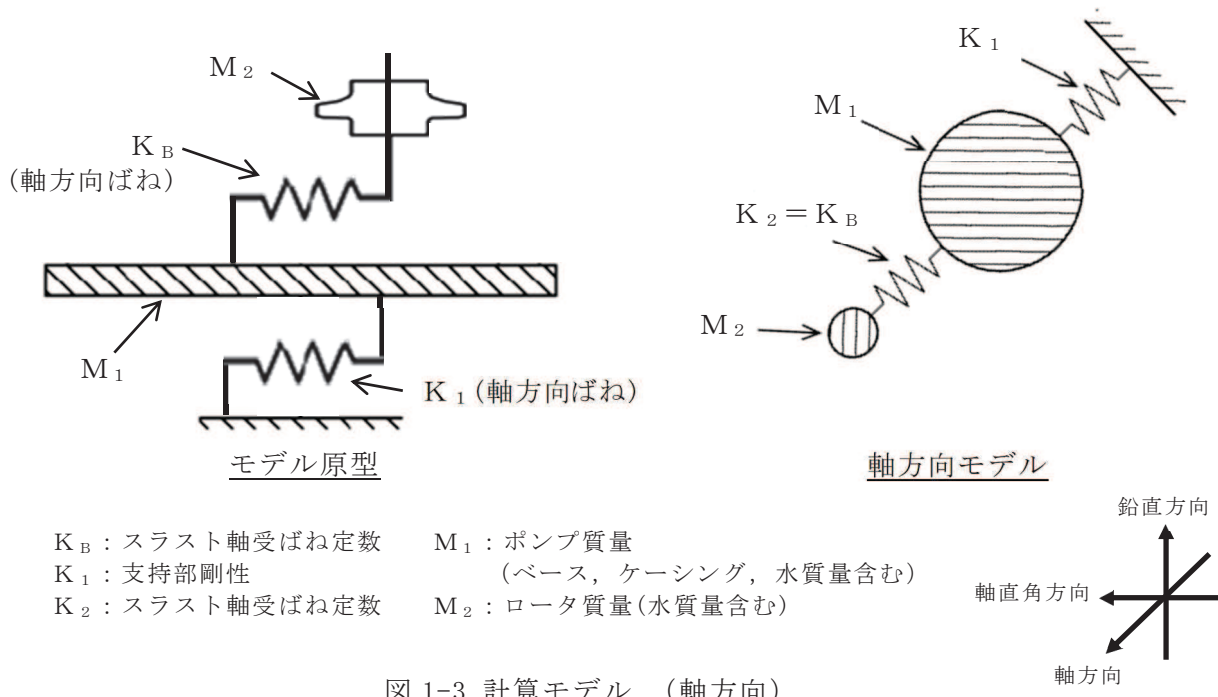


図 1-3 計算モデル (軸方向)

ポンプ全体系の固有値は下記式にて求める。

$$f_{1,2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a+e}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{a-e}{2}\right)^2 + b \times e}}$$

ここで

$$a = \frac{K_1 + K_2}{M_1}$$

$$b = \frac{K_2}{M_1}$$

$$e = \frac{K_2}{M_2}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_{B1} + K_{B2}}} + K_L \quad (\text{軸直角方向、鉛直方向})$$

$$K_2 = K_B \quad (\text{軸方向})$$

ただし、 K_L は図 1-2 に記載のとおり保守的な設定とするため $K_L=0$ とする。

よって、ポンプ全体系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T_{1,2P} = \frac{1}{f_{1,2}}$$

原動機全体系の固有値は下記式にて求める。

$$f_{1M} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{1M}}{M_{1M}}}$$

よって、原動機全体系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T_{1M} = \frac{1}{f_{1M}}$$

4.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表 1-1～3 に示す。

表 1-1 軸直角方向 機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M ₁	ポンプ質量（ベース，ケーシング，水質量含む）		kg
M _{1M}	原動機質量（ベース質量含む）		kg
M ₂	ポンプロータ質量		kg
K _R	ロータ曲げ剛性		N/m
K _{B1}	ラジアル軸受 C P 側ばね定数		N/m
K _{B2}	ラジアル軸受反 C P 側ばね定数		N/m
K ₂	ロータ等価ばね定数		N/m
K ₁	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K _{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f ₁	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f ₂	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f _{1M}	原動機全体系固有振動数		Hz
T _{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T _{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T _{1M}	原動機全体系固有周期		s

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1-2 鉛直方向 機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M_1	ポンプ質量 (ベース, ケーシング, 水質量含む)		kg
M_{1M}	原動機質量 (ベース質量含む)		kg
M_2	ポンプロータ質量		kg
K_R	ロータ曲げ剛性		N/m
K_{B1}	ラジアル軸受 C P 側ばね定数		N/m
K_{B2}	ラジアル軸受反 C P 側ばね定数		N/m
K_2	ロータ等価ばね定数		N/m
K_1	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K_{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f_1	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f_2	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有振動数		Hz
T_{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{1M}	原動機全体系固有周期		s

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1-3 軸方向 機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M_1	ポンプ質量 (ベース, ケーシング, 水質量含む)		kg
M_{1M}	原動機質量 (ベース質量含む)		kg
M_2	ポンプロータ質量		kg
K_2	スラスト軸受ばね定数		N/m
K_1	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K_{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f_1	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f_2	ポンプ全体系固有振動数		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有振動数		Hz
T_{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{1M}	原動機全体系固有周期		s

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 試験による固有周期の確認結果

既往知見*において、本検討と同様に J E A G 4 6 0 1 に定義されている「横形ポンプ（単段遠心式）」を対象とした検討が実施されており、加振試験等によって固有周期を確認した結果、十分に剛であることが示されている。既往知見の調査結果を添付資料 1 に示す。

注記*：(独) 原子力安全基盤機構「平成 16 年度 原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その 1（横形ポンプ，電気品）（平成 17 年 7 月）」

6. まとめ

J E A G 4 6 0 1 に定義されている「横形ポンプ（単段遠心式）」に該当する直流駆動低圧注水系ポンプについて、固有周期の算出を行い、固有周期は十分に小さく（0.05s 以下）、剛であることを確認した。

以上の検討結果を踏まえて、女川 2 号機の横軸ポンプについては固有周期が十分に小さく剛であると判断し、固有周期の計算は省略する。

既往知見の調査結果

横形ポンプの固有周期について、試験等によって検討している既往知見として、「平成 16 年度 原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その 1（横形ポンプ、電気品）（平成 17 年 7 月）（独）原子力安全基盤機構」を確認したことから、以下にその概要を整理する。

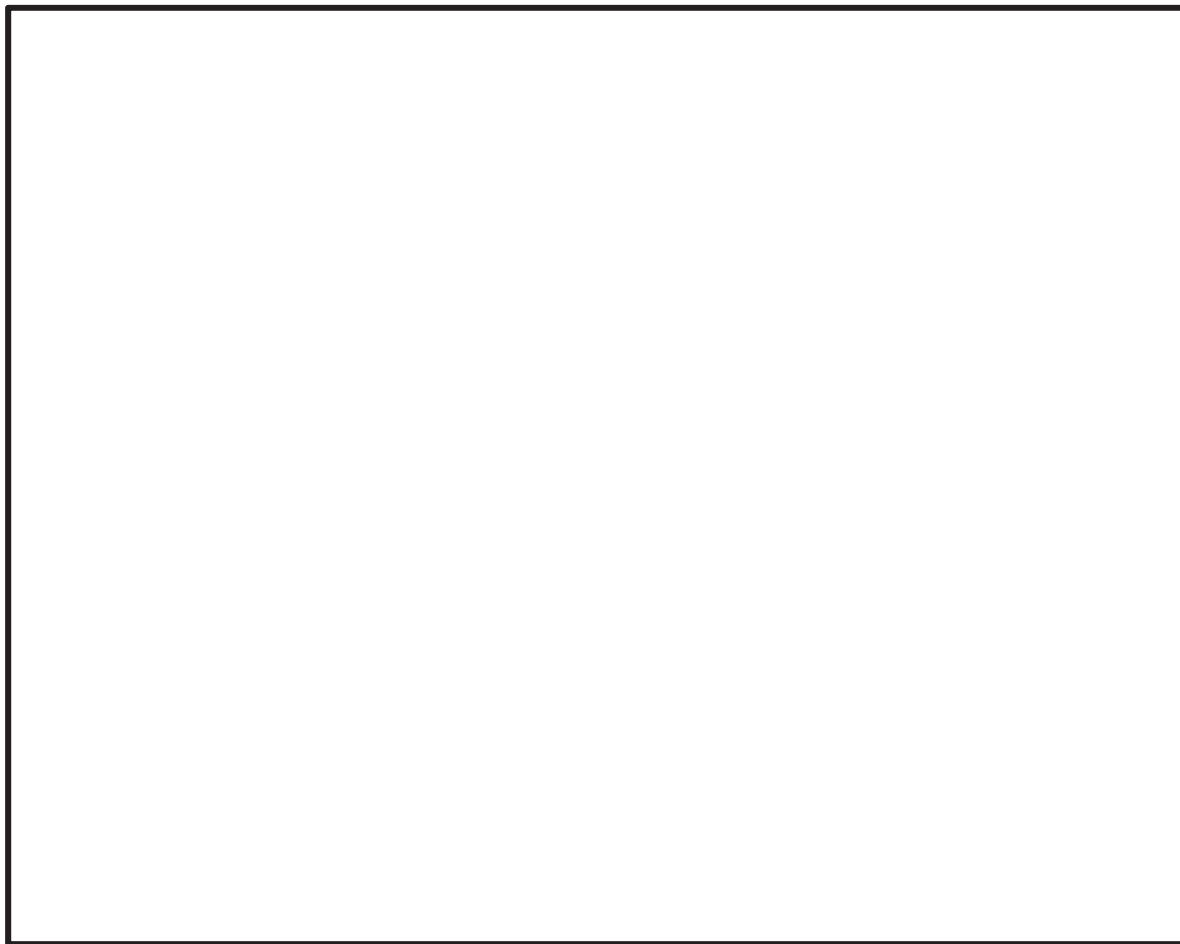
1. ポンプ全体系の固有周期の確認

BWR プラントの原子炉補機冷却水ポンプ（横形ポンプ（単段遠心式））を対象として、ポンプ全体系に対するランダム波による加振試験を実施している。ポンプ頂部の計測データよりポンプ全体系として、60Hz 以下の範囲で固有振動数は確認されておらず十分に剛であることが確認されている（添付 1 図参照）。

2. ポンプ軸系の固有周期の確認

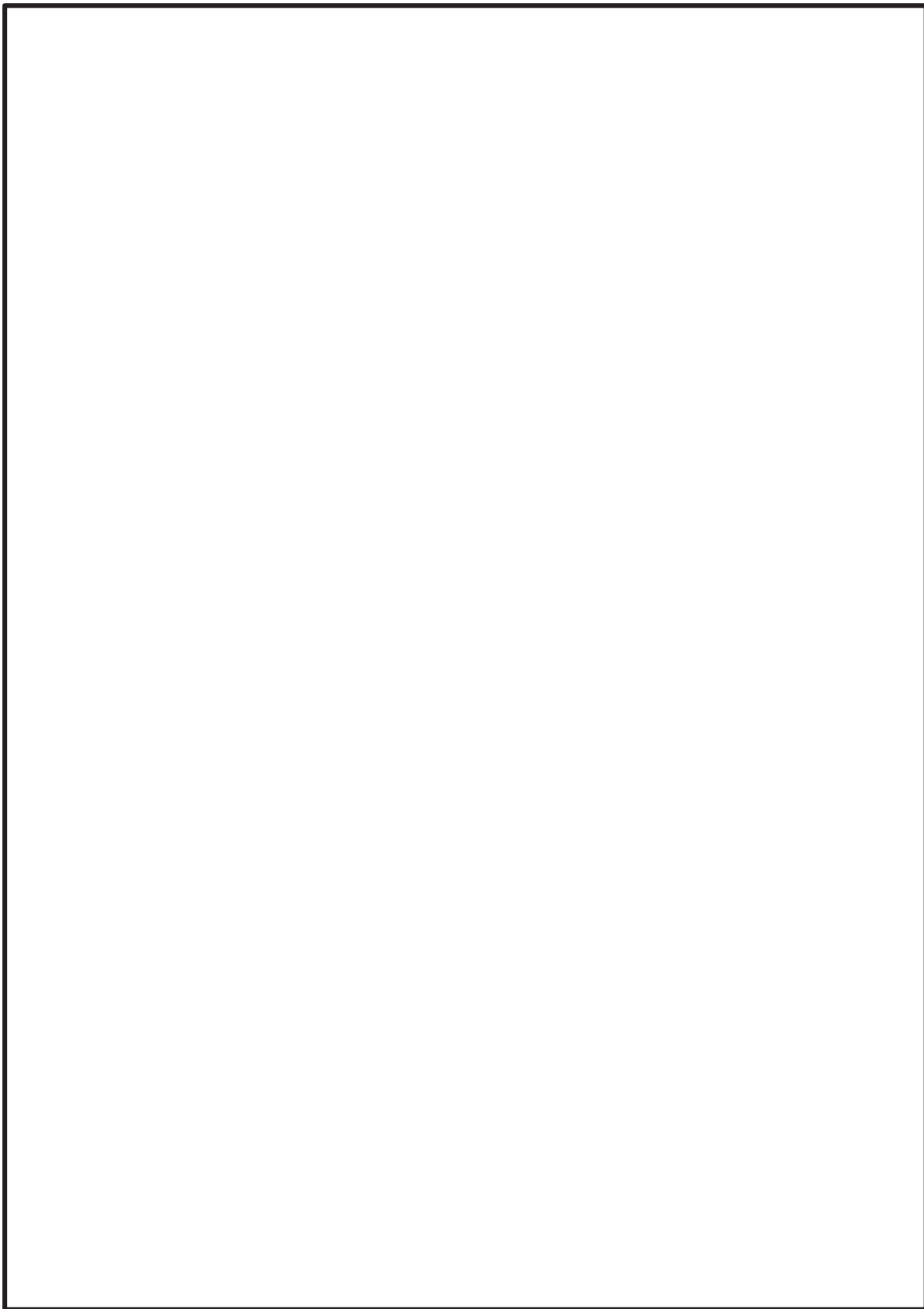
1 項の確認と同様に、BWR プラントの原子炉補機冷却水ポンプ（横形ポンプ（単段遠心式））を対象として、ポンプ軸系に対する打撃試験*が行われている。打撃試験によって算出された軸系の固有振動数は、ライナーリング部の軸直角方向の固有振動数が 62Hz（0.016 秒）、軸端部の軸方向の固有振動数が 43Hz（0.023 秒）となっており、十分に剛であることが確認されている（添付 2 図参照）。

注記*：打撃試験はポンプ完成品に対して、試験用の計器を取り付けるために設けた穴を利用して軸径を打撃しデータを計測している。なお、打撃位置は記載のとおりとし、ライナーリング部と軸端部を打撃することで固有振動数を計測している。



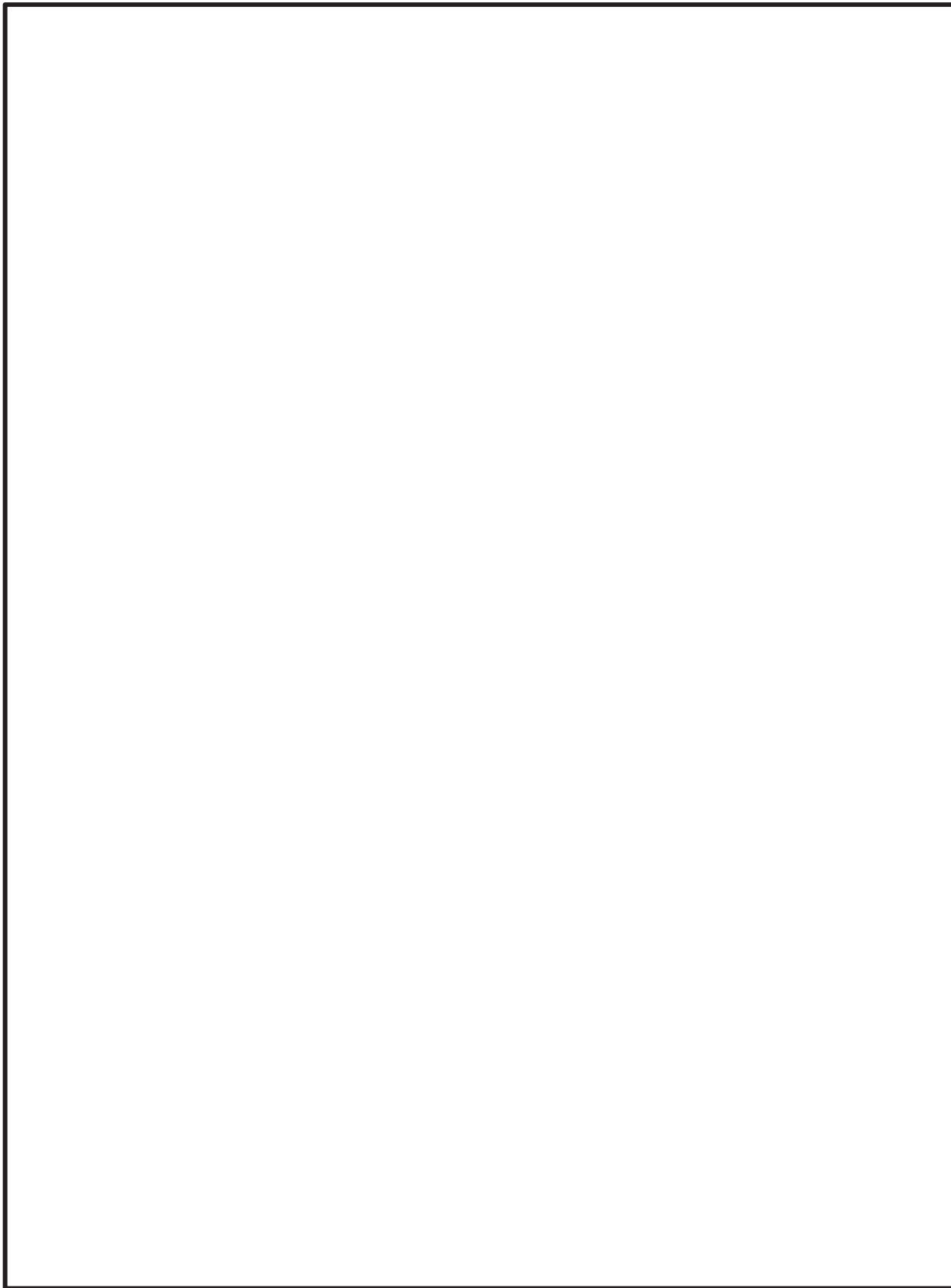
添付 1-1 図 既往知見における加振試験実施状況

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



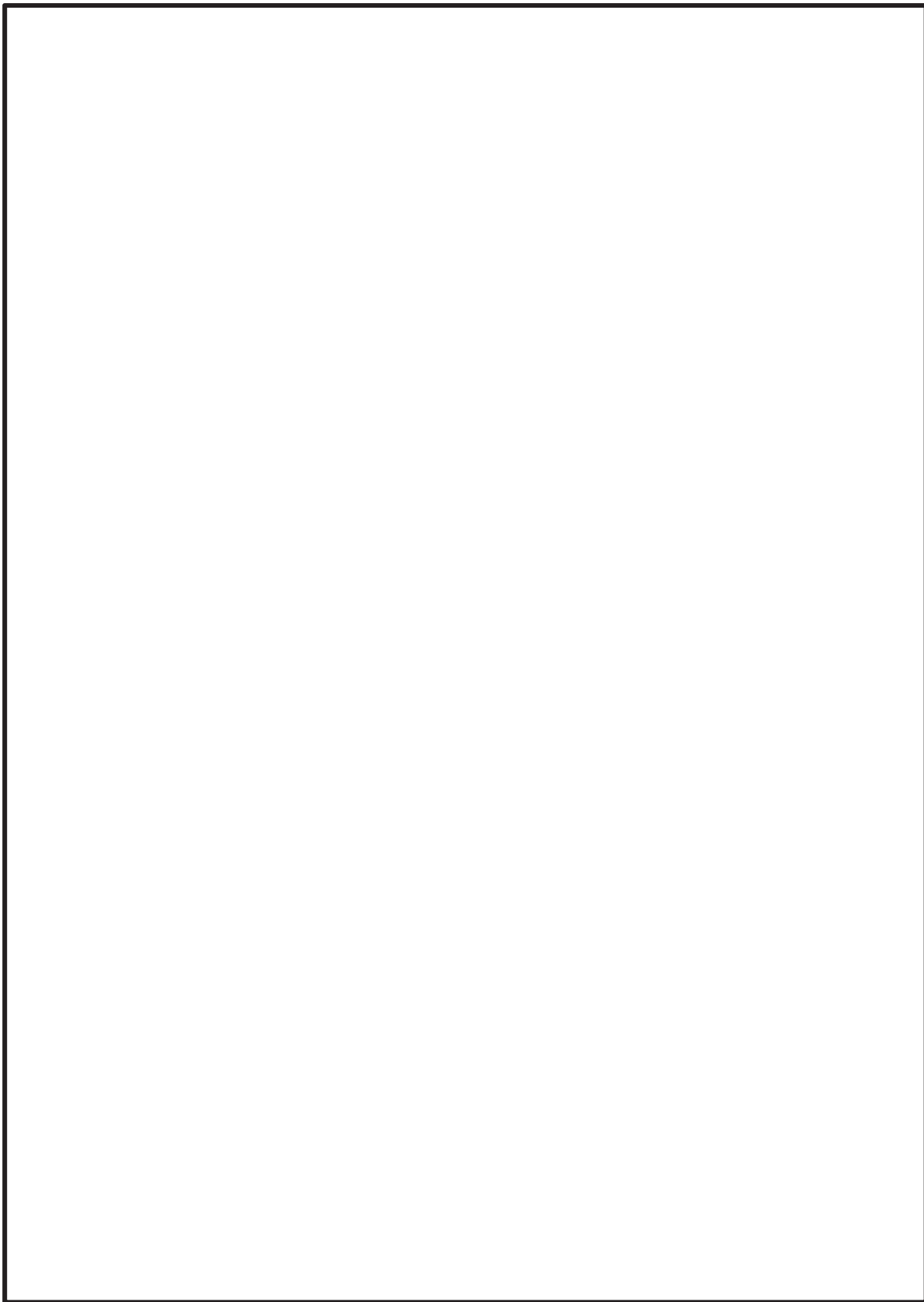
添付 1-2 図 既往知見におけるポンプ全体系のランダム波加振試験による
固有周期の確認結果 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



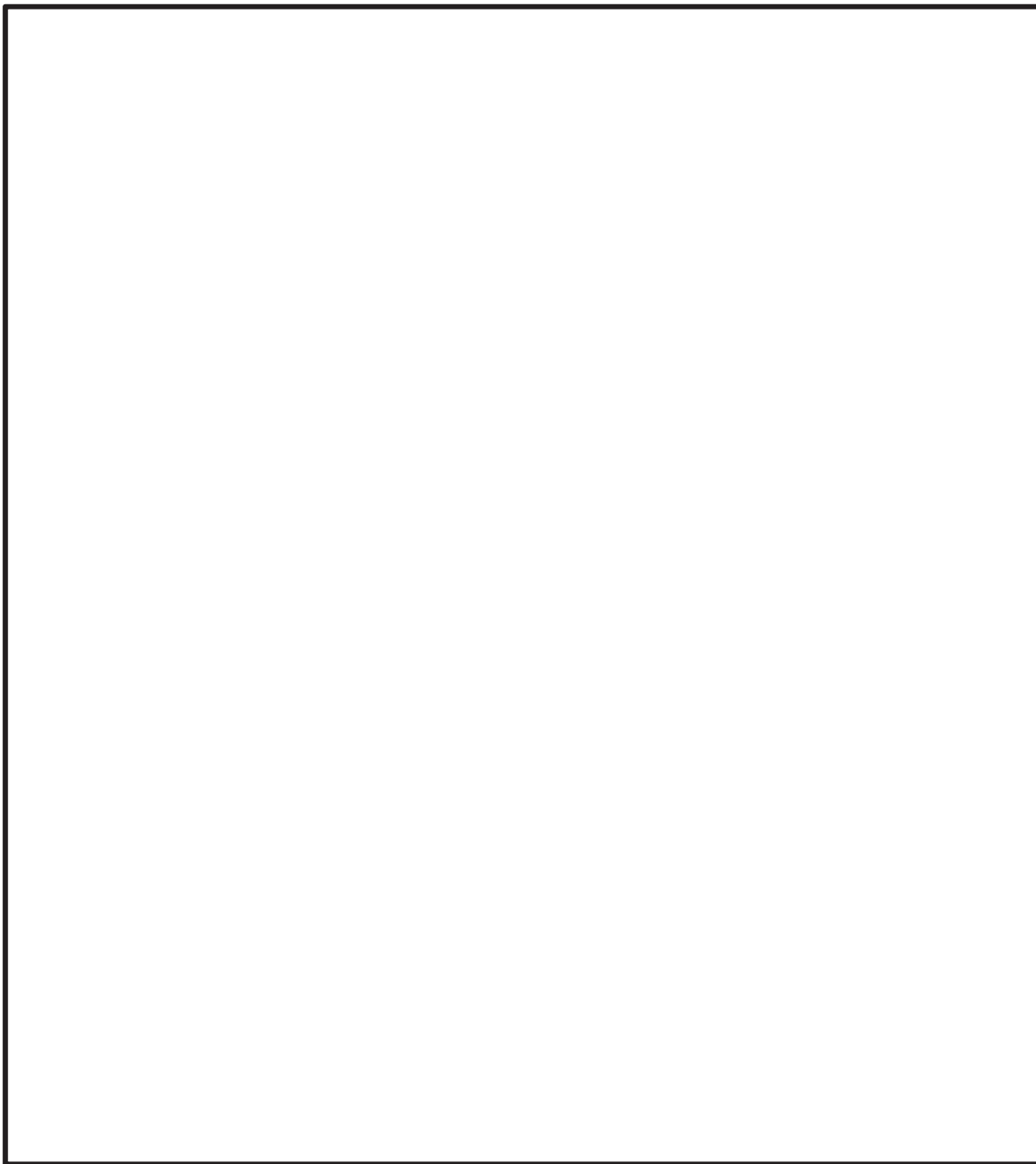
添付 1-2 図 既往知見におけるポンプ全体系のランダム波加振試験による
固有周期の確認結果 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



添付 2 図 既往知見におけるポンプ軸系の打撃試験による
固有周期の確認結果 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



添付 2 図 既往知見におけるポンプ軸系の打撃試験による
固有周期の確認結果 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。