

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 1
提出年月日	2021年8月6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 高圧炉心スプレイ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 高圧炉心スプレイ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. 代表設備

代表設備として以下の設備の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

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）。

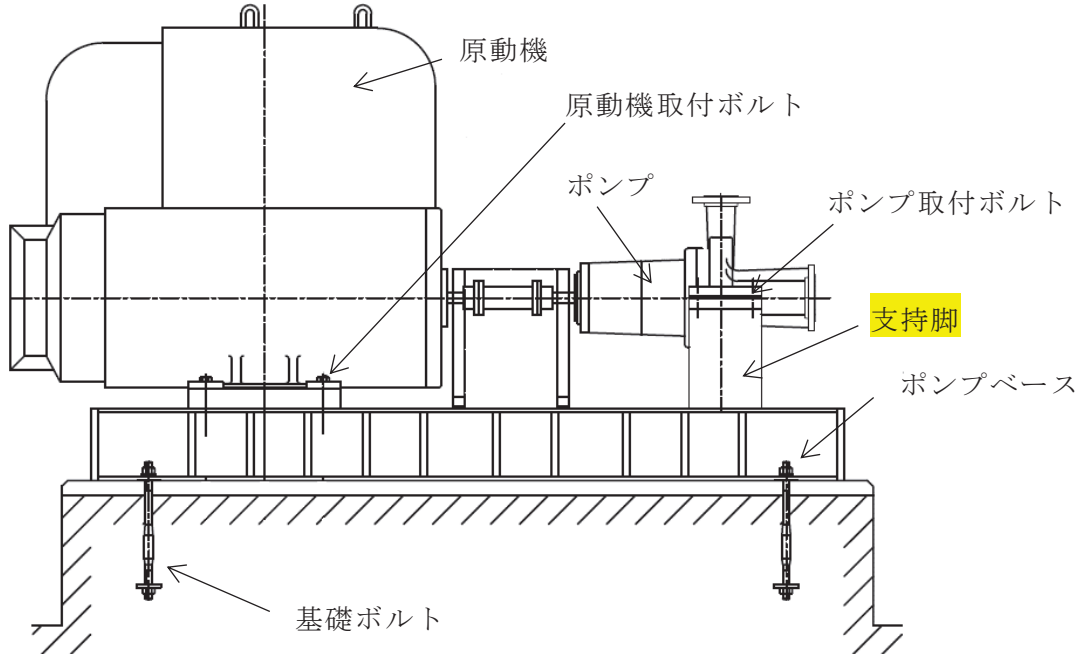
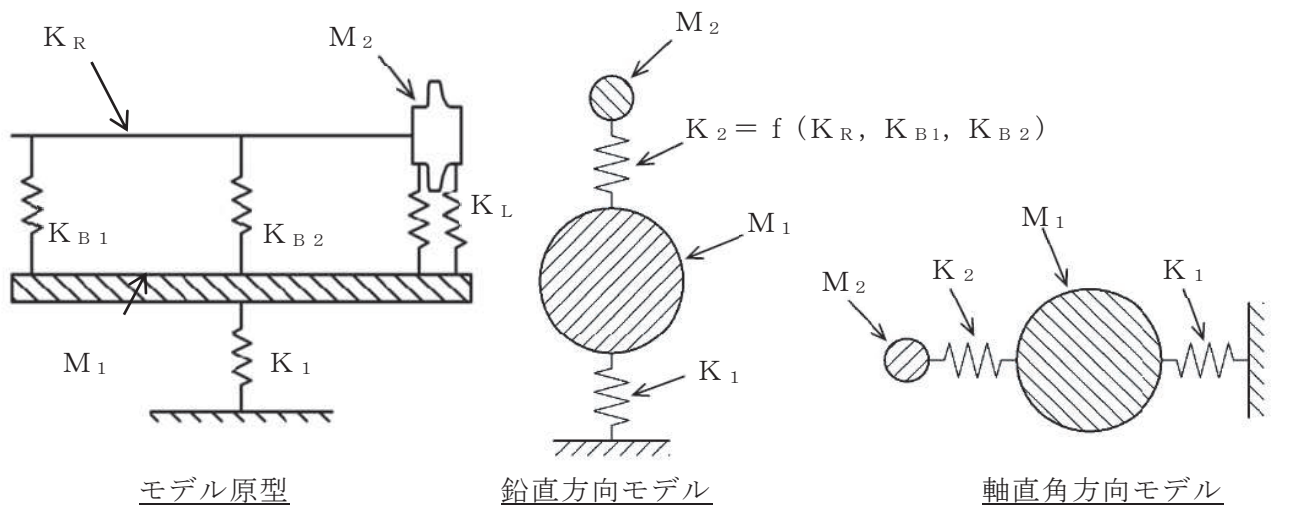
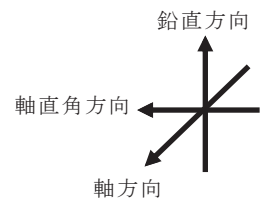


図 1-1 直流駆動低圧注水系ポンプ外形図



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）

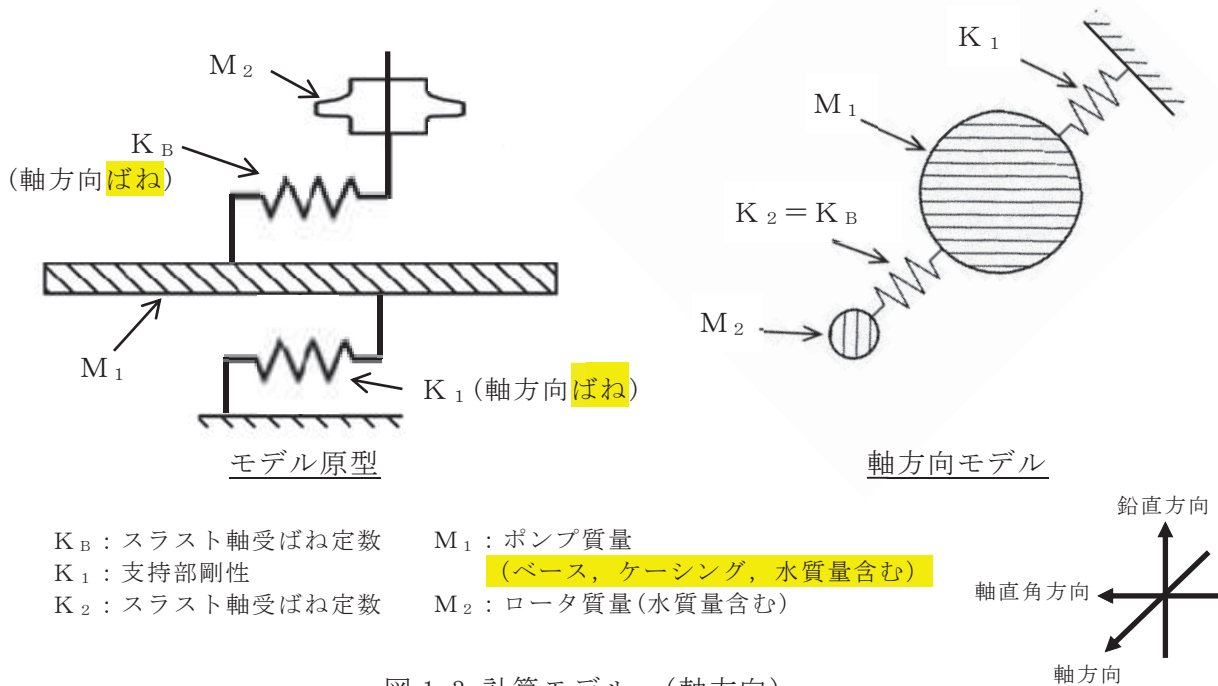


図 1-3 計算モデル (軸方向)

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	ポンプ全体系固有値		Hz
f ₂	ポンプ全体系固有値		Hz
f _{1M}	原動機全体系固有値		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	ポンプ全体系固有値		Hz
f_2	ポンプ全体系固有値		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有値		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	ポンプ全体系固有値		Hz
f_2	ポンプ全体系固有値		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有値		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. まとめ

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。直流駆動低圧注水系ポンプは 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)」に該当することから、J E A G 4 6 0 1 の型式に該当するその他の横軸ポンプについても同様に、固有周期は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。

なお、既往知見*において 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))を対象とした検討が行われており、打振試験によって軸系の固有周期が算出されている。本知見によると、ライナーリング部の軸直角方向の固有周期が 0.016 秒(62Hz)、軸端部の軸方向の固有周期が 0.023 秒(43Hz)となっており、十分に剛であることが実機大の試験体においても確認されていることから、横軸ポンプを剛と判断することは妥当である。

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)」