

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-15
提出年月日	2022年1月17日

剛な設備の固有周期の算出について

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. はじめに	1
2. 代表設備	1
3. 算出方針	1
4. 固有周期の算出	2
4.1 燃料プール冷却ポンプ	2
4.1.1 固有周期の計算方法	2
4.1.2 固有周期の算出	4
4.2 中央制御室送風機	6
4.2.1 固有周期の計算方法	6
4.2.2 固有周期の算出	8
5. まとめ	9

1. はじめに

耐震設計においては、横形ポンプ及びファンについて、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、これら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、剛構造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 燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-3-1 高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-5-1 低圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン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 ほう酸水注入ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-8-3-1-2 中央制御室送風機の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-8-3-1-3 中央制御室非常用再循環送風機の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-4-4-4-1 残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-4-5-1-2 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-7-6 燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-7-9 格納容器空気置換排風機の耐震性についての計算書」

2. 代表設備

1項に示す横形ポンプは、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」(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若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。そのため、本検討においては、以下の横型ポンプを代表として固有周期の算出を行った。

- ・燃料プール冷却ポンプ (横形ポンプ)

また、1項に示すファンは、J E A G 4 6 0 1 に定義されているファンであり、いずれも十分な剛性を有しているが、本検討においては、1項に示すファンのうち最も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。

- ・中央制御室送風機 (ファン)

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. 固有周期の算出

4.1 燃料プール冷却ポンプ

4.1.1 固有周期の計算方法

燃料プール冷却ポンプ（図 4-1-1）の固有周期は、ポンプ本体及びロータの 2 質点にて算出を行う（図 4-1-2 及び図 4-1-3 参照）。

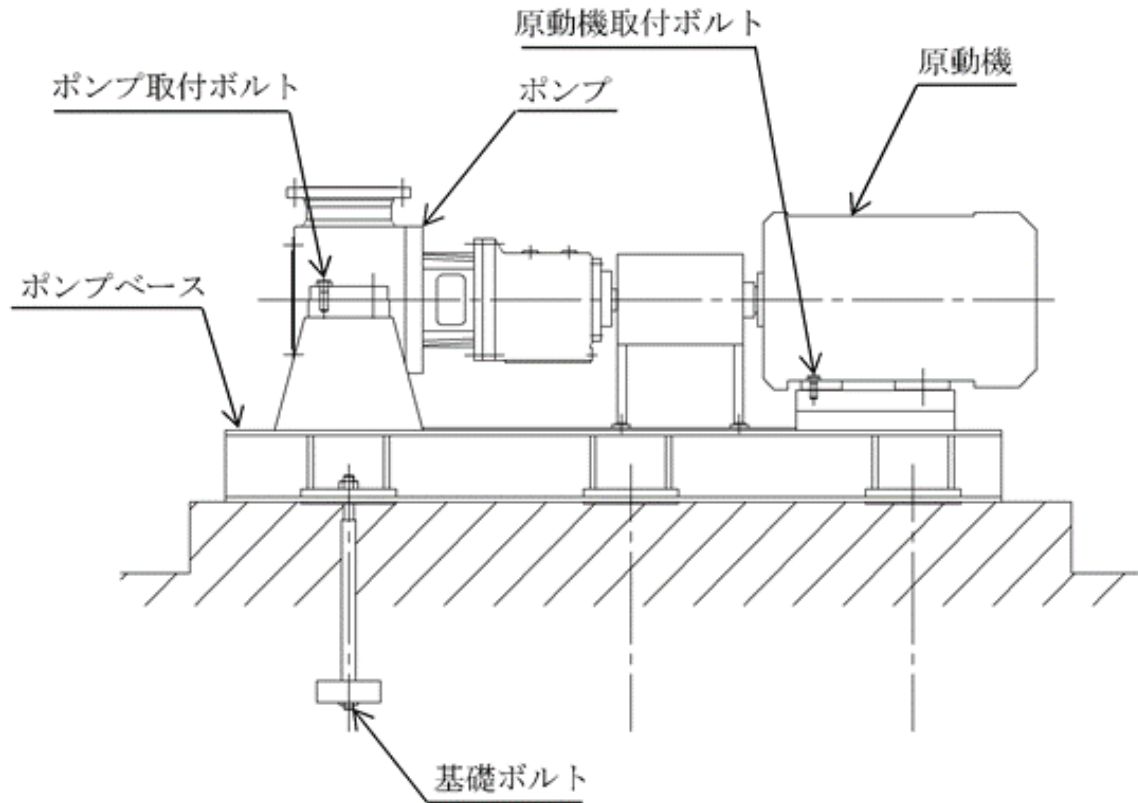


図 4-1-1 燃料プール冷却ポンプ外形図

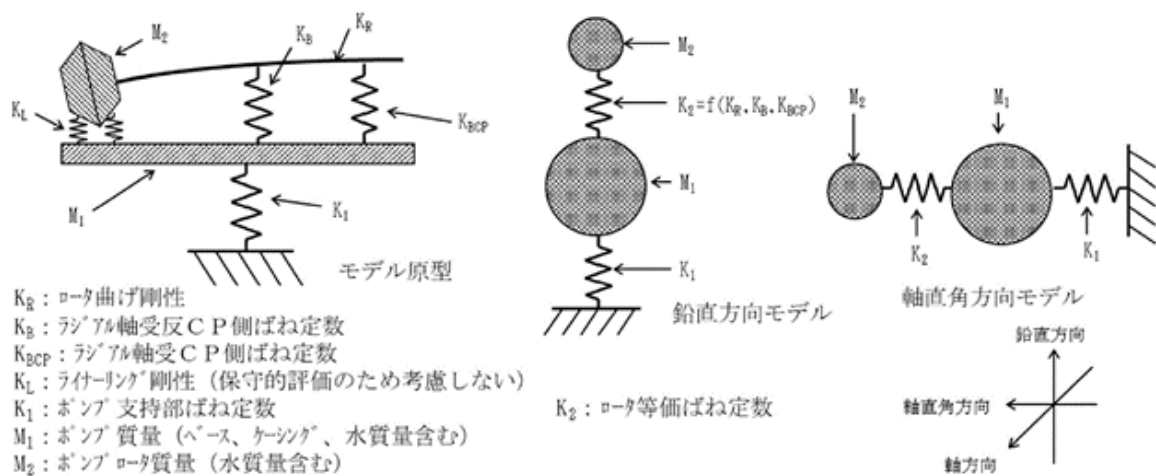
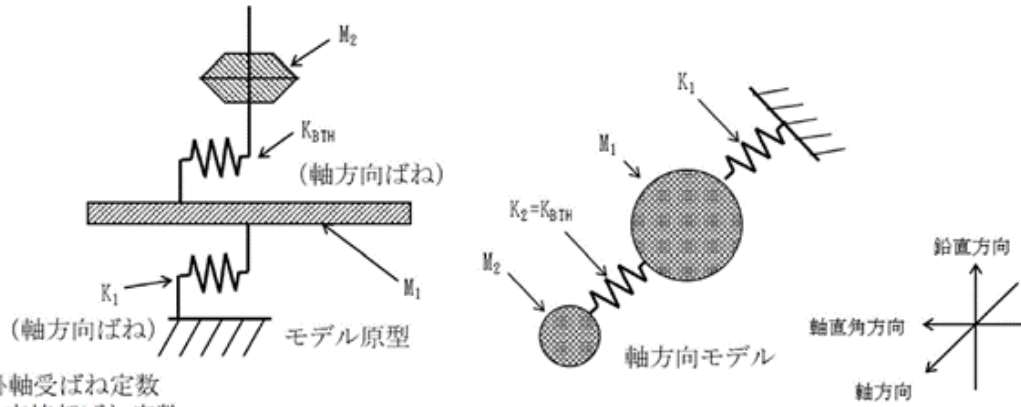


図 4-1-2 計算モデル（鉛直方向，軸直角方向）



K_{BTH} : スラスト軸受ばね定数
 K_1 : ポンプ支持部ばね定数
 M_1 : ポンプ質量 (ベース、ケーシング、水質量含む)
 M_2 : ポンプロータ質量 (水質量含む)

K_2 : スラスト軸受ばね定数

図 4-1-3 計算モデル (軸方向)

ポンプ全体系の固有振動数は以下の式により求める。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a+e}{2} - \sqrt{\left(\frac{a-e}{2}\right)^2 + b \cdot e}}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a+e}{2} + \sqrt{\left(\frac{a-e}{2}\right)^2 + b \cdot e}}$$

ここで、

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

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

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

$$K_2 = 1 / \left(\frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_B + K_{BCP}} \right) \quad (\text{鉛直方向, 軸直角方向})$$

$$K_2 = K_{BTH} \quad (\text{軸方向})$$

よって、ポンプ全体系の固有周期は以下のとおりとなる。

$$T_{1P} = \frac{1}{f_1}$$

$$T_{2P} = \frac{1}{f_2}$$

原動機全体系の固有振動数は以下の式により求める。

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

よって、原動機全体系の固有周期は以下のとおりとなる。

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

4.1.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表 4-1 に示す。

表 4-1(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, ケーシング及び水質量含む)		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 (水質量含む)		kg
K_R	ロータ曲げ剛性		N/m
K_{BCP}	ラジアル軸受C P側ばね定数		N/m
K_B	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

表 4-1(2) 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, ケーシング及び水質量含む)		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 (水質量含む)		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

表 4-1(3) 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, ケーシング及び水質量含む)		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 (水質量含む)		kg
K_R	ロータ曲げ剛性		N/m
K_{BCP}	ラジアル軸受C P側ばね定数		N/m
K_B	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

4.2 中央制御室送風機

4.2.1 固有周期の計算方法

中央制御室送風機（図 4-2-1）の固有周期は、ケーシング系及び軸系のそれぞれについて算出を行う。

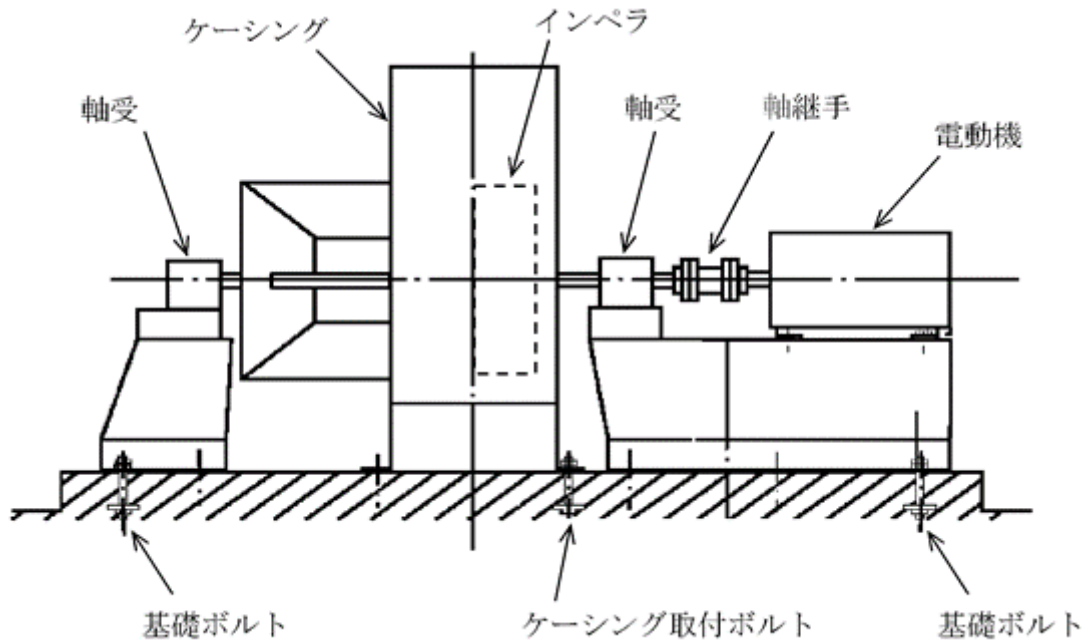


図 4-2-1 中央制御室送風機外形図

(1) ケーシング系

ケーシング系の固有周期は、ケーシング全体を剛体として1質点でモデル化し、算出を行う（図 4-2-2 参照）。

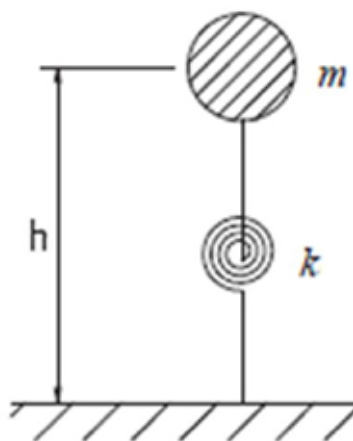


図 4-2-2 ケーシング系モデル

ケーシング系の固有振動数は以下の式により求める。

$$\text{軸・軸直角方向} \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k\theta \cdot 1000}{m \cdot h^2}}$$

$$\text{鉛直方向} \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_v \cdot 1000}{m}}$$

ケーシング系の固有振動数は以下のとおりとなる。

$$T = \frac{1}{f}$$

なお、固定部回転剛性は、以下に示す各部剛性の直列ばねとして算出する。

- ・ケーシングフランジの剛性
- ・ケーシング取付ボルトの剛性

(2) 軸系

軸系は、ファン軸、電動機、共通ベース及びラジアル軸受ベースをそれぞれビーム要素として解析モデルを作成し、固有周期の算出を行う（図 4-2-3 参照）。なお、軸受のばね剛性はラジアル荷重と変位量から、共通ベース固定部、ラジアル軸受ベース固定部及び電動機固定部の剛性はケーシング系と同様の考え方により算出する。

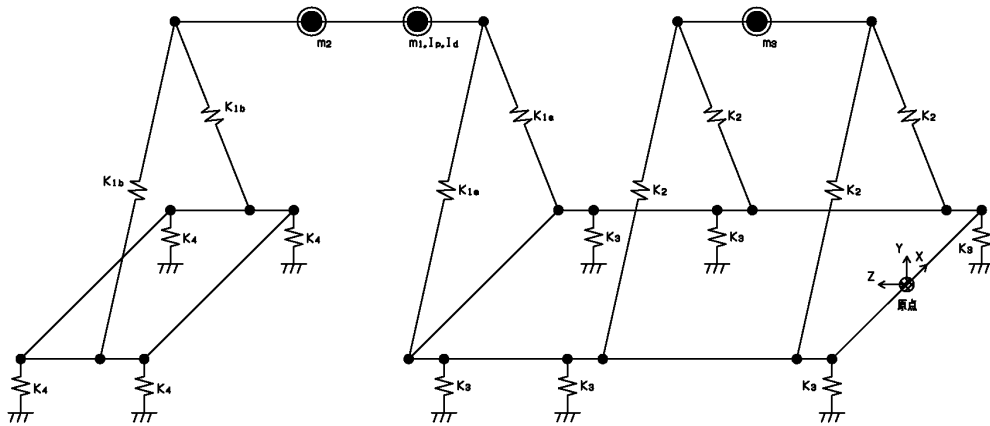


図 4-2-3 軸系モデル

4.2.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表 4-2, 表 4-3 及び図 4-2-4 に示す。

表 4-2(1) ケーシング系 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	ケーシング質量		kg
h	ケーシング重心高さ		mm
k_{θ}	固定部回転剛性		N・mm/rad
f	ケーシング系固有振動数		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

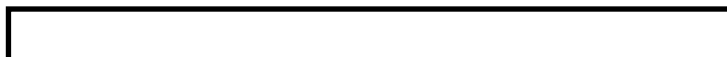
表 4-2(2) ケーシング系 軸方向 機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m	ケーシング質量		kg
h	ケーシング重心高さ		mm
k_{θ}	固定部回転剛性		N・mm/rad
f	ケーシング系固有振動数		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

表 4-2(3) ケーシング系 鉛直方向 機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m	ケーシング質量		kg
k_v	固定部剛性		N/mm
f	ケーシング系固有振動数		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

表 4-3 軸系 機器要目及び計算結果



記号	記号説明	値	単位
f	軸系固有振動数		Hz
T	軸系固有周期		s

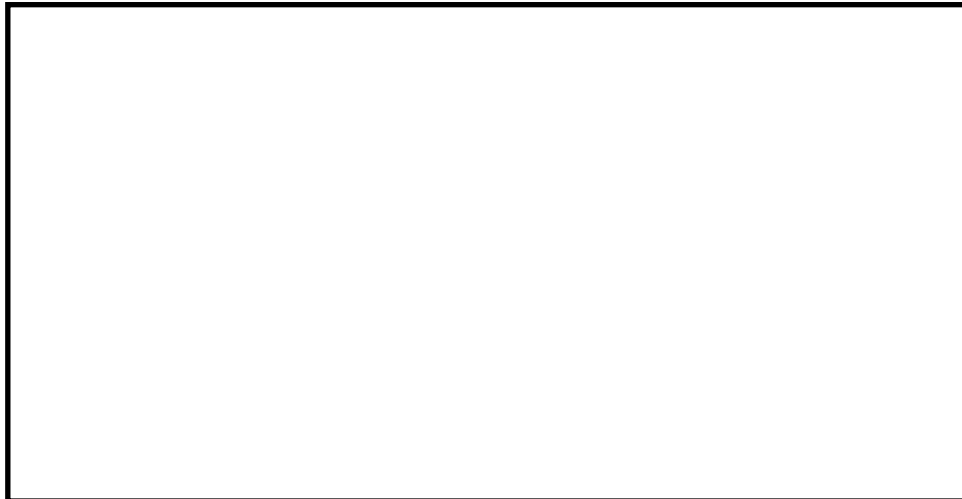


図 4-2-4 軸系 計算結果 (振動モード図)

5. まとめ

燃料プール冷却ポンプ及び中央制御室送風機について、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)、剛構造であることを確認した。燃料プール冷却ポンプは 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、中央制御室送風機は「ファン (遠心直結型)」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形ポンプ及びファンについても同様に、固有周期は十分に小さく剛構造であると判断し、固有周期の計算は省略する。

なお、既往知見*1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)) を対象として、ポンプ全体系に対するランダム波による振動試験と軸系に対する打撃試験が行われている。ランダム波による振動試験では、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な剛性を有していることが確認されている。一方、打撃試験*2によって軸系の固有振動数が算出されており、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実機大の試験体においても確認されている。

注記*1：(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)

*2：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系を打撃し、データを計測している。また、打撃位置は記載のとおり、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。