

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-81
提出年月日	2022年10月25日

立形ポンプの耐震評価におけるノズル反力の影響について

2022年10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. 概要	1
2. ノズル反力の影響検討	1
2.1 ノズルの構造について	1
2.2 ノズルの健全性について	2
2.3 ポンプ全体系への影響について	2
2.3.1 ノズル反力の合成	2
2.3.2 基礎ボルトの応力の計算方法	3
2.3.3 基礎ボルトの応力の評価	5
3. 結論	6

1. 概要

立形ポンプのノズルには、比較的口径の大きい配管が接続されているため、ノズル反力による立形ポンプの耐震性への影響について検討した。

本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-5-4-1-2 残留熱除去ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-2-11 隔離弁、機器・配管の耐震性についての計算書」

2. ノズル反力の影響検討

残留熱除去ポンプを代表例とし、ノズル反力の影響を確認する。

2.1 ノズルの構造について

残留熱除去ポンプのノズル部の構造について図1に示す。図1に示すとおり、残留熱除去ポンプは号機によってノズル配置が異なるが、ノズル反力の影響検討においてはノズル反力の方向が一致する厳しい条件設定として、C号機のノズル配置に対して検討する。

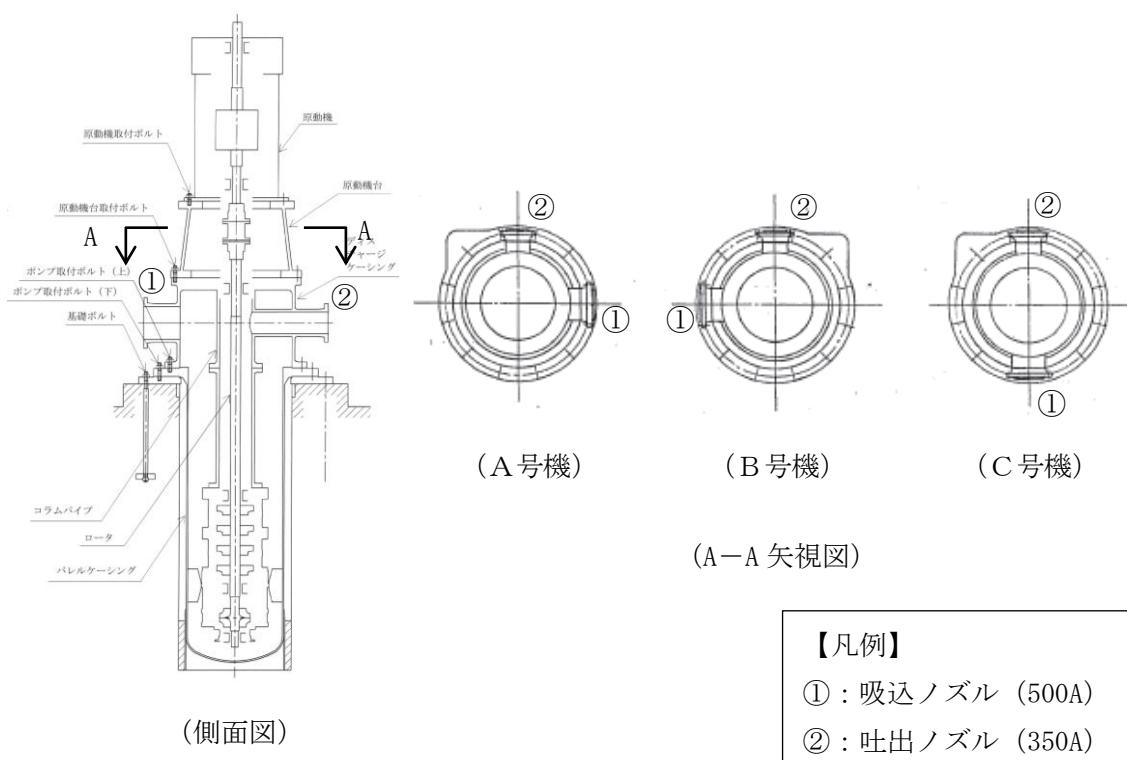


図1 残留熱除去ポンプのノズル部

2.2 ノズルの健全性について

機器の設計において、配管系と取り合うノズルにはノズルの健全性を確保するための許容荷重を設定している。残留熱除去ポンプのノズルの許容荷重を表 1 に示す。接続される配管からの荷重及びモーメントを表 1 の値以下とすることで、ノズルの健全性を確保する設計を行っている。

表 1 残留熱除去ポンプのノズルの許容荷重

対象ノズル	軸力 (N)	曲げモーメント (N・mm)
吸込ノズル (500A)		
吐出ノズル (350A)		

2.3 ポンプ全体系への影響について

ポンプノズルに接続される配管からの荷重及びモーメントが生じた場合において、ポンプ全体系の耐震性への影響を耐震評価上厳しい部位である基礎ボルトに注目して確認した。

2.3.1 ノズル反力の合成

簡易かつ保守的な設定として、図 2 に示すようにノズルに表 1 に示す許容荷重相当の荷重及びモーメントが生じた場合を想定し、合成した水平方向荷重をノズル高さに作用させる。ノズル反力の合成結果について表 2 に示す。

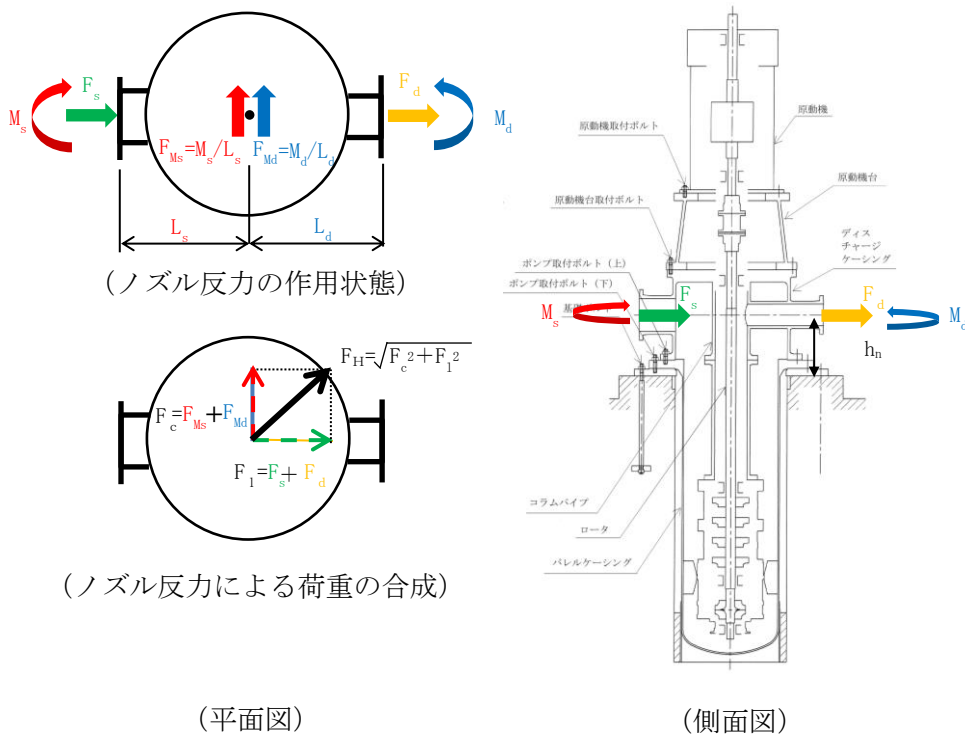


図 2 ノズル反力の合成

表2 ノズル反力の合成結果

記号	定義	値	単位
L_s	吸込ノズル端部とポンプ中心間の水平方向距離		(mm)
L_d	吐出ノズル端部とポンプ中心間の水平方向距離		(mm)
F_{Ms}	モーメント M_s により生じる荷重		(N)
F_{Md}	モーメント M_d により生じる荷重		(N)
F_c	ノズル反力による軸直角方向の荷重		(N)
F_l	ノズル反力による軸方向の荷重		(N)
F_H	ノズル反力による水平方向の合成荷重		(N)

2.3.2 基礎ボルトの応力の計算方法

基礎ボルトの応力は、2.3.1で合成したノズル反力をノズル高さに作用させた場合に生じるモーメント及びせん断力について計算する。基礎ボルトの応力の計算モデルを図3に示す。

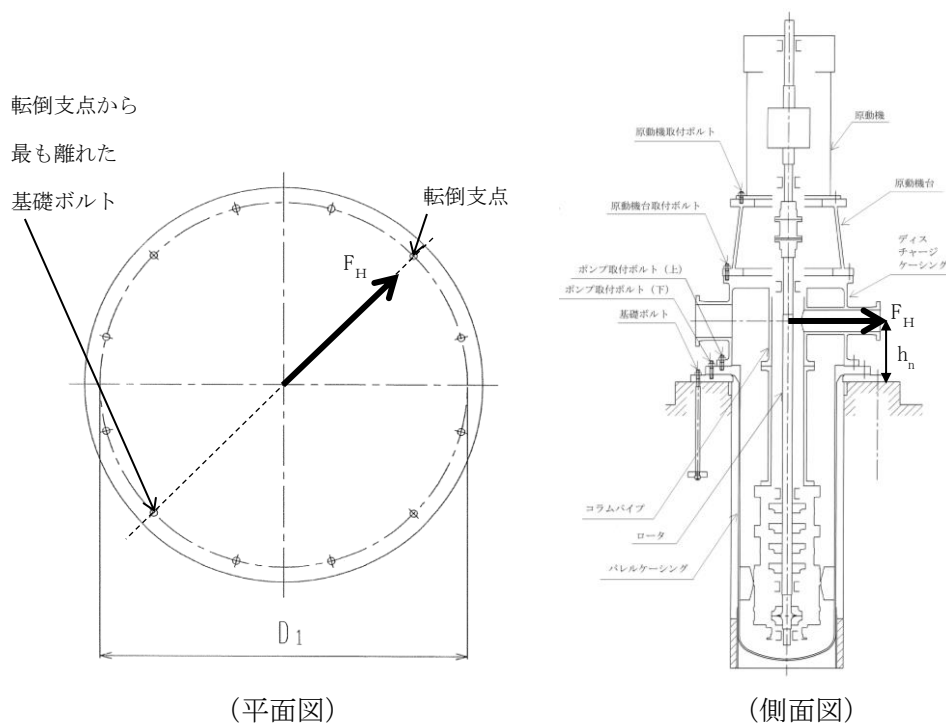


図3 基礎ボルトの応力の計算モデル

(1) 引張応力

基礎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基礎ボルトについて計算する。

ノズル反力による引張力

$$F_{b1n} = \frac{F_H \cdot h_n}{\frac{3}{8} \cdot n_{f1} \cdot D_1}$$

ノズル反力による引張応力

$$\sigma_{b1n} = \frac{F_{b1n}}{A_{b1}}$$

地震による引張応力 σ_{b1} と、ノズル反力による引張応力 σ_{b1n} を組み合わせた応力として σ_{b1c} を以下の式により求める。なお、地震による引張応力とノズル反力による引張応力の組合せにはSRSS法を適用する。

$$\sigma_{b1c} = \sqrt{\sigma_{b1}^2 + \sigma_{b1n}^2}$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

ノズル反力によるせん断力

$$Q_{b1n} = \frac{F_H}{n_1}$$

ノズル反力によるせん断応力

$$\tau_{b1n} = \frac{Q_{b1n}}{A_{b1}}$$

地震によるせん断応力 τ_{b1} と、ノズル反力によるせん断応力 τ_{b1n} を組み合わせた応力として τ_{b1c} を以下の式により求める。なお、地震によるせん断応力とノズル反力によるせん断応力の組合せにはSRSS法を適用する。

$$\tau_{b1c} = \sqrt{\tau_{b1}^2 + \tau_{b1n}^2}$$

2.3.3 基礎ボルトの応力の評価

2.3.2に基づいて算出した基礎ボルトの荷重及び応力の算出結果を表3に、算出応力と許容応力との比較結果を表4に示す。

表4に示すとおり、ノズル許容荷重相当の荷重が吸込及び吐出ノズルから同時に作用するという保守的な条件設定においても、基礎ボルトに生じる応力は許容応力を下回っており、十分な裕度を有していることを確認した。

表3 基礎ボルトの応力算出過程及び算出結果

記号	定義	値	単位	備考
h_n	ノズル高さ		(mm)	
n_1	基礎ボルトの本数	12	(-)	
n_{f1}	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	12	(-)	
D_1	基礎ボルトのピッチ円直径		(mm)	
F_{b1n}	ノズル反力により基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)		(N)	
Q_{b1n}	ノズル反力により基礎ボルトに作用するせん断力 (1 本当たり)		(N)	
A_{b1}	基礎ボルトの軸断面積		(mm ²)	
σ_{b1n}	ノズル反力により基礎ボルトに生じる引張応力	9	(MPa)	
τ_{b1n}	ノズル反力により基礎ボルトに生じるせん断応力	10	(MPa)	
σ_{b1}	地震により基礎ボルトに生じる引張応力	39	(MPa)	耐震計算書にて算出
τ_{b1}	地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	25	(MPa)	耐震計算書にて算出
σ_{b1c}	ノズル反力と地震の組合せにより基礎ボルトに生じる引張応力	40	(MPa)	
τ_{b1c}	ノズル反力と地震の組合せにより基礎ボルトに生じるせん断応力	27	(MPa)	

表 4 基礎ボルトの応力評価結果

	応力	基準地震動 S_s	
		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ノズル反力	引張	$\sigma_{b1n}=9$	444
	せん断	$\tau_{b1n}=10$	342
地震	引張	$\sigma_{b1}=39$	444
	せん断	$\tau_{b1}=25$	342
ノズル反力+ 地震	引張	$\sigma_{b1c}=40$	444
	せん断	$\tau_{b1c}=27$	342

3. 結論

ノズル反力による立形ポンプの耐震性への影響について確認した。ノズルについては、配管反力に許容荷重を設ける設計により健全性を確保している。また、ノズル反力によるポンプ全体系への影響については、2箇所のノズルからノズル許容荷重相当の荷重が同時に作用する保守的な条件設定においても、ノズル反力による立形ポンプの耐震性への影響は軽微であることを確認した。