

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-工-B-19-0429_改0
提出年月日	2021年8月17日

VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書

2021年8月
東北電力株式会社

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.2	固有周期の計算条件	11
4.3	固有周期の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2	許容応力	13
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	13
5.3	設計用地震力	17
5.4	計算方法	18
5.4.1	応力の計算方法	18
5.5	計算条件	20
5.5.1	ブレースの応力計算条件	20
5.5.2	ベース取付溶接部の応力計算条件	20
5.6	応力の評価	21
5.6.1	ブレースの応力評価	21
5.6.2	ベース取付溶接部の応力評価	21
6.	機能維持評価	22
6.1	基本方針	22
6.2	プロワの動的機能維持評価	23
6.2.1	評価対象部位	23
6.2.2	評価基準値	24
6.2.3	記号の説明	24

6.2.4	評価方法	26
6.3	原動機の動的機能維持評価	40
6.3.1	評価対象部位	40
6.3.2	評価基準値	40
6.3.3	記号の説明	41
6.3.4	評価方法	43
7.	評価結果	47
7.1	設計基準対象施設としての評価結果	47

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ（以下「ブロワ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

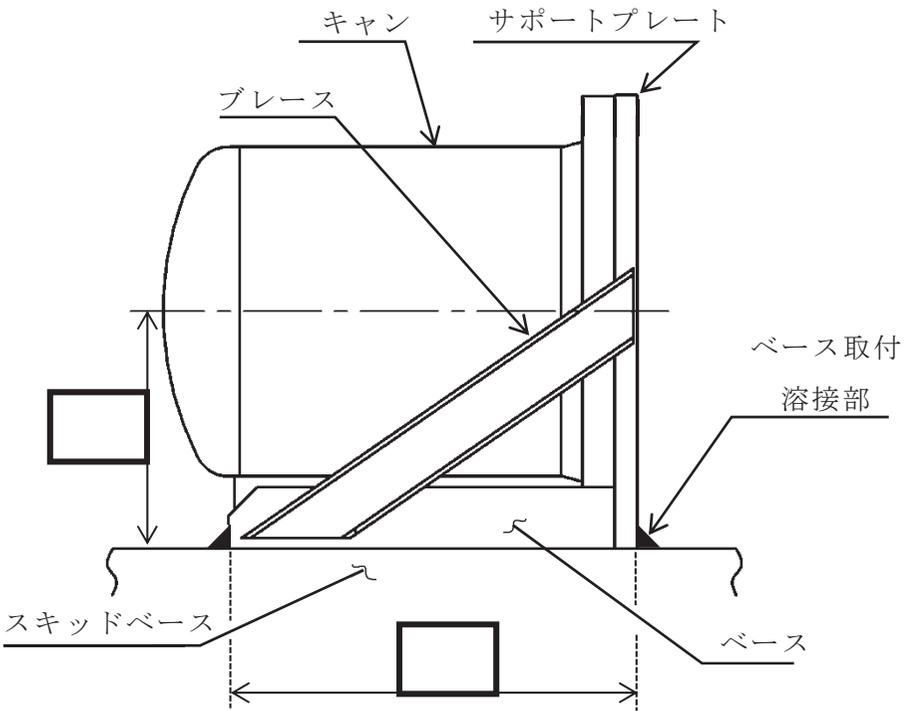
ブロワは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ブロワの構造計画を表 2-1, 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠心式ブロワと原動機は、これを収めるキャンと共にサポートプレートに固定される。サポートプレートはスキッドベース上にベース及びブレースにより支持される構造となっている。よって、キャン及びその内側の遠心式ブロワと原動機の荷重は、サポートプレート、ベース取付溶接部を経てスキッドベースに伝達する。また、サポートプレートからはブレース、ベースを経てもスキッドベースに荷重が伝達される。</p>	<p>キャン形遠心式（キャンに遠心式ブロワと原動機を収めた構造）</p>	 <p>(単位：mm)</p>

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>キャン内部の構造について、サポートプレートにボルトで取り付けられたブラケット上に原動機がボルトにより据付られ、出力軸にはインペラが直接取り付けられる。インペラを覆うブロウケーシングはボルトで原動機ケーシングに固定される。</p>	<p>キャンド形遠心式（キャンに遠心式ブロウと原動機を収めた構造）</p>	

2.2 評価方針

ブロワの**応力**評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すブロワの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界**内**に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、ブロワの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン及び横形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

ブロワの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

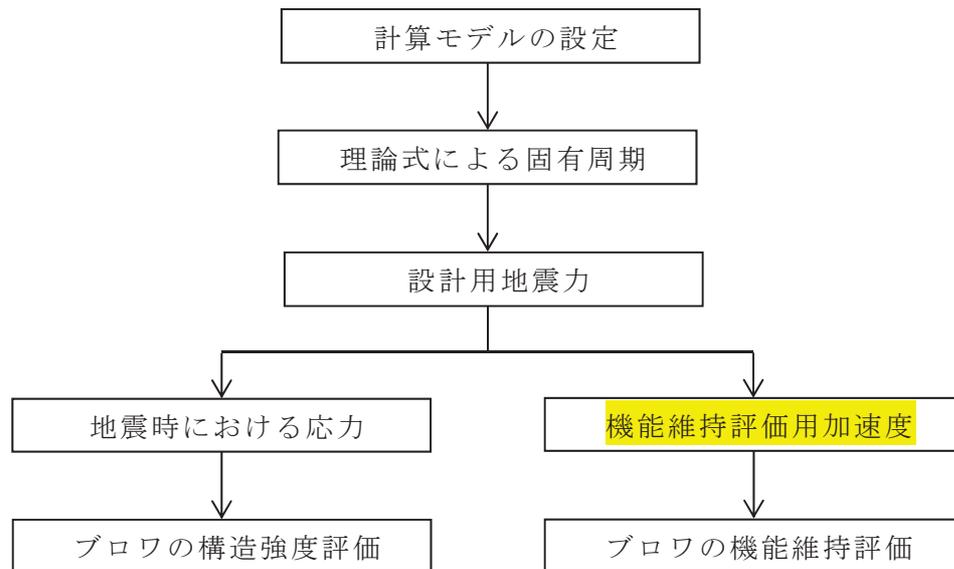


図 2-1 ブロワの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C I - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面積	mm ²
A _b	ブレースの断面積	mm ²
A _s	水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積	mm ²
A _{s b}	ブレースの有効せん断断面積	mm ²
A _{s s}	サポートプレートの有効せん断断面積	mm ²
A _{HW}	水平方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm ²
A _{VW}	鉛直方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _P	ブロワ振動による震度	—
E	支持構造物の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F _C	ブレースに作用する圧縮力	N
F _H	ブレースに作用する水平方向反力	N
F _{HW}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断荷重	N
F _V	ブレースに作用する鉛直方向反力	N
F _{VW}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断荷重	N
f _{bc}	ブレースの許容圧縮応力	MPa
f _{ws}	ベース取付溶接部の許容せん断応力	MPa
G	支持構造物のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
h	ブロワ水平方向重心位置	mm
I _H	水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm ⁴
I _b	ブレースの断面二次モーメント	mm ⁴
I _V	サポートプレート (鉛直方向荷重を受ける支持構造物)の断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	水平方向ばね定数	N/m
L	ブロワ中心高さおよび重心高さ	mm
ℓ	ブロワベース長さ	mm
ℓ _b	ブレース水平方向投影長さ	mm
ℓ _k	ブレース長さ	mm
m	ブロワ質量	kg

記号	記号の説明	単位
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
P	ブレースに作用する水平方向荷重	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
τ_w	ベース取付溶接部に作用する最大せん断応力	MPa
τ_{w1}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断応力	MPa
τ_{w2}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断応力	MPa
σ_c	ブレースに生じる圧縮応力	MPa
Λ	圧縮材の限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	—
π	円周率	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
縦弾性係数 ^{*1}	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
せん断弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
断面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*3}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*4}

注記*1：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における縦弾性係数は、比例法により補間した値の有効数字 4 桁目を四捨五入し、有効数字 3 桁までの値とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ブロワの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるブレース及びベース取付溶接部について実施する。ブロワの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

ブロワの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. ブロワの質量は、重心に集中するものとする。
- b. ブロワは溶接によりスキッドベースに固定されており、固定端とする。ここで、スキッドベースについて剛となるよう設計する。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

ブロワは、図 4-1 及び図 4-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

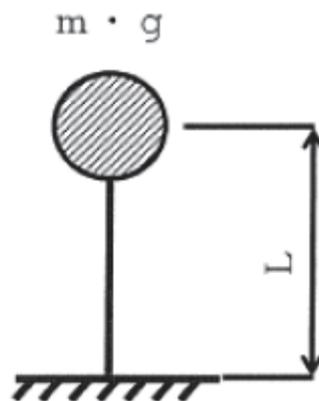


図 4-1 水平方向固有周期の計算モデル

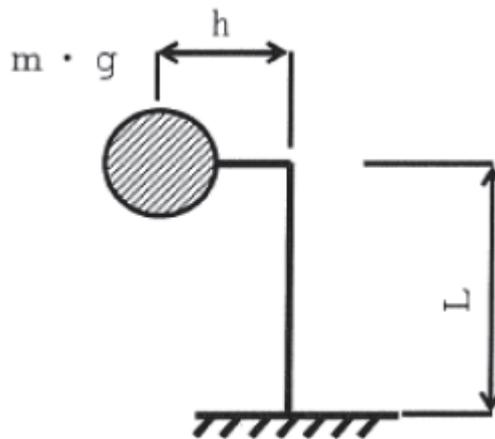


図 4-2 鉛直方向固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I_H} + \frac{L}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、水平方向固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ここで、水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメントは、

$$I_H = I_V + 2 \cdot I_b \dots\dots\dots (4.1.3)$$

水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積は、

$$A_S = A_{SS} + 2 \cdot A_{Sb} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{L \cdot h^2}{E \cdot I_V} + \frac{L}{E \cdot A}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

したがって、鉛直方向固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～ c. のほか、次の条件で評価する。

(1) 地震力はブローに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) ブレース

- a. ブローの質量は、2本のブレースに均等にかかるため、1本のブレースについて計算する。
- b. 荷重方向はブレースの応力が最も厳しい方向として図5-1の方向を計算する。

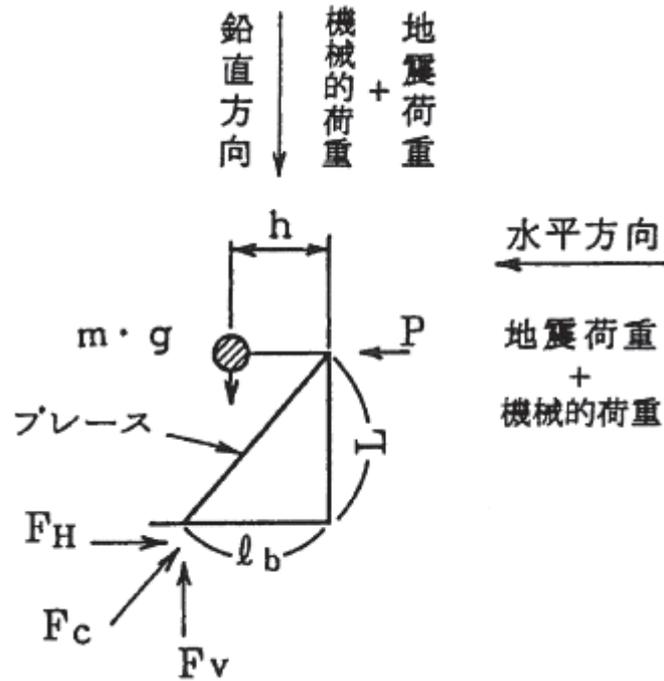


図 5-1 ブレースに作用する荷重

(3) ベース取付溶接部

- a. 荷重がベース取付溶接部に水平方向せん断荷重として作用する場合と、転倒モーメントによる鉛直方向せん断荷重として作用する場合について計算する。
- b. 転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図5-2の転倒支点を支点とする方向を計算する。

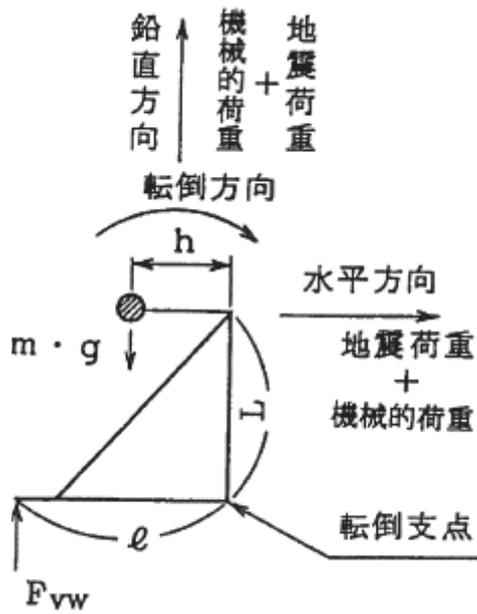


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ブロワの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

ブロワの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ブロワの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	$D + P_D + M_D + S_s$				Ⅳ _A S	

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	
	一次応力	
	圧縮	せん断
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	171			
ブレース		最高使用温度	171	201	373	—
ベース取付溶接部		最高使用温度	171	201	373	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 22.50*			$C_H = 1.13$	$C_V = 0.91$	$C_H = 2.12$	$C_V = 1.56$

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ブレースの応力

(1) 圧縮応力

ブレースに作用する水平方向反力は

$$F_H = P = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 C_P はブロワ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値である。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_V = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{l_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_C = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_C}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ベース取付溶接部の応力

(1) 水平方向せん断応力

水平方向せん断荷重はベース取付溶接部に作用するものとして計算する。

水平方向せん断荷重

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向せん断応力

転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として表 5-2 の転倒支点を支点とする方向を計算する。

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m \cdot g \cdot h + (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{W2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

(3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_W = \text{Max} [\text{水平方向せん断力} (\tau_{W1}), \text{鉛直方向せん断力} (\tau_{W2})] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ブレースの応力計算条件

ブレースの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 ベース取付溶接部の応力計算条件

ベース取付溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ブレースの応力評価

5.4.1.1 項で求めたブレースの圧縮応力 σ_c は許容圧縮応力 f_{bc} 以下であること。ただし、 f_{bc} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容圧縮 応力 f_{bc}	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

ここで、 λ は、圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

Λ は、圧縮材の限界細長比で、次の計算式による。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

注：基準地震動 S s 評価の場合は、F を F * に置き換える

ν は、次の計算式による。

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価

5.4.1.2 項で求めたベース取付溶接部に作用するせん断応力 τ_w は許容せん断応力 f_{ws} 以下であること。ただし、 f_{ws} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容せん断 応力 f_{ws}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 基本方針

ブロワは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン及び横形ころがり軸受電動機と同等の構造であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が表 6-1 に示す機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度(1.0ZPA)を設定する。

6.2 ブロワの動的機能維持評価

6.2.1 評価対象部位

ブロワは、横置型の原動機にインペラを直接取り付けた遠心式ブロワであり、J E A G 4 6 0 1 に示される遠心直動型ファンと同等の構造であるため、J E A G 4 6 0 1 に記載のファンの動的機能維持評価項目を基に、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. ファンケーシング
- e. 軸シール
- f. 軸系架台
- g. ファンケーシング固定ボルト
- h. 電動機固定ボルト
- i. 基礎ボルト

「a. 軸」および「b. 軸受」は、原動機の動的機能維持評価に含まれる。

「d. ファンケーシング」は、キャン、ブロワケーシングが該当するが、これらは十分な剛性を有しており、地震時にはこれらの固定ボルトに最も荷重が作用することから、キャン、ブロワケーシング自体は評価対象外とする。

「e. 軸シール」は、メカニカルシールに該当するが、遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

「f. 軸系架台」は、ブロワの構成部材にはない為、評価対象外とする。

「e. 基礎ボルト」は、基礎ボルトに相当するブレース及びベース取付溶接部が「7. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

また、原動機の端子箱はブロワのサポートプレートに取付けられているためファン側の評価対象部位だが、端子箱は箱状の構造物で十分な剛性を有しており、軽量であること、及び当該機器に掛かる荷重は原動機取付ボルトで代表されることから、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、電動機固定ボルトに相当する部材として原動機取付ボルトとブラケット取付ボルト、ファンケーシング固定ボルトに相当する部材としてキャン取付ボルトとブロワケーシング取付ボルト、インペラとファンケーシング間のクリアランスに相当する部位としてインペラとブロワケーシングとのクリアランスを評価対象部位とする。

6.2.2 評価基準値

原動機取付ボルト，ブラケット取付ボルト，キャン取付ボルト，ブロワケーシング取付ボルトの許容応力は，その他支持構造物の許容応力状態IV_{AS}に準拠し設定する。

インペラとブロワケーシング間のクリアランスは設計許容隙間を評価基準値として設定する。

6.2.3 記号の説明

ブロワの動的機能維持評価に使用する記号を表 6-1 に示す。

表6-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}^{*1}	ボルトの軸断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
D_{cb}	キャン取付ボルト位置直径	mm
D_{ci}	キャン内径	mm
D_{fb}	ブロワケーシング取付ボルト位置直径	mm
d_i^{*1}	ボルトの呼び径	mm
F_{bi}^{*1}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H_P	予想最大両振幅	μm
$h_{1i} \sim h_{3i}^{*1}$	ボルト位置を示す鉛直距離	mm
$l_{1i} \sim l_{5i}^{*1}$	ボルト位置を示す水平距離	mm
M_P	原動機回転により作用するモーメント	N・mm
m_{1i}, m_{2i}^{*1}	運転時質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
n_i	ボルト本数	—
n_{f1i}, n_{f2i}^{*1}	引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P_d	原動機出力	kW
P_0	最高使用圧力	MPa
Q_{bi}^{*1}	ボルトに作用するせん断力	N
σ_{bi}^{*1}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}^{*1}	ボルトに生じるせん断応力	MPa
π	円周率	—
Δ	インペラとブロワケーシングとの相対変位	mm

注記*1: A_{bi} , d_i , F_{bi} , $h_{1i} \sim h_{3i}$, $l_{1i} \sim l_{5i}$, m_{1i} , m_{2i} , n_i , n_{f1i} , n_{f2i} , Q_{bi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 原動機取付ボルト

$i = 2$: ブラケット取付ボルト

$i = 3$: キャン取付ボルト

$i = 4$: ブロワーシング取付ボルト

*2: $h_{1i} \sim h_{3i}$ 及び $l_{1i} \sim l_{5i}$ の寸法は図 6-1 から図 6-4 に詳細な位置を示す。

6.2.4 評価方法

6.2.4.1 計算条件

- (1) 評価対象機器の質量は各々の重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は機器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、応力計算において組み合わせる。
- (3) ブロワは運転状態とする。
- (4) 地震力を加える方向は、作用する引張力が厳しくなる方向とする。
- (5) 荷重の組合せは、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に従い、動的地震力は二乗和平方根（SRSS）、その他の荷重については代数和とする。
- (6) 原動機はブラケットを固定端としてボルトにより固定されている。ブラケット及びキャンはサポートプレートで固定端としてボルトにより固定されている。ブロワケーシングは原動機を固定端としてボルトにより固定されている。

6.2.4.2 引張応力

- (1) 矩形配置のボルトの場合、ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 6-1 及び図 6-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。
 円形配置のボルトの場合、ボルトに対する引張力は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支点から最も離れたボルトについて計算する。（図 6-3 及び図 6-4）

6.2.4.3 せん断応力

- (1) ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

6.2.4.4 応力の計算方法

(1) 原動機取付ボルト（矩形配置）

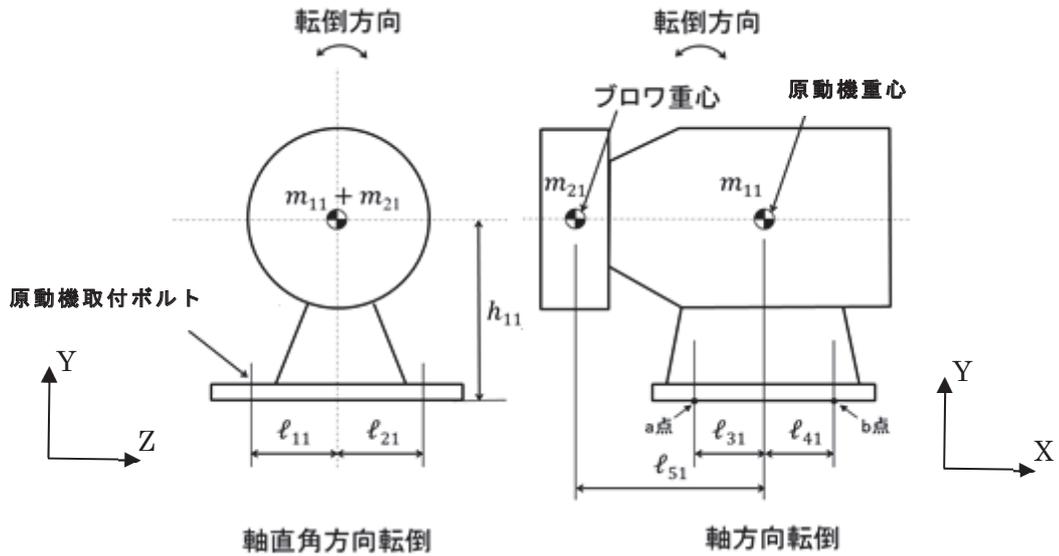


図 6-1 原動機取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に水平荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合

地震荷重

$$F_{b1-\alpha-Z} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_H \cdot h_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.1)$$

その他の荷重

$$F_{b1-\beta-Z} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_P \cdot h_{11} + M_P}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.2)$$

ロ. X 方向に水平荷重が作用し、a 点及び b 点を支点到軸方向に転倒する場合

地震荷重

$$F_{b1-\alpha-X} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_H \cdot h_{11}}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.3)$$

その他の荷重

$$F_{b1-\beta-X} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_P \cdot h_{11}}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.4)$$

ハ. Y 方向に鉛直荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合 ($\ell_{11} = \ell_{21}$)

地震荷重

$$F_{b1\alpha Y1} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.5)$$

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y1} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.6)$$

原動機取付ボルトに作用する荷重 F_{b1Y1} は、

$$F_{b1Y1} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y1}^2 + F_{b1\alpha Z}^2} + F_{b1\beta X} + F_{b1\beta Y1} + F_{b1\beta Z} \dots\dots\dots (6.2.4.3.7)$$

二. Y 方向に鉛直荷重が作用し、a 点を支点到軸方向に転倒する場合

鉛直上向きの場合

地震荷重

$$F_{b1\alpha Y2up} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{31} - m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.8)$$

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y2up} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{31} - m_{21} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.9)$$

原動機取付ボルトに作用する荷重 F_{b1Y2up} は、

$$F_{b1Y2up} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y2up}^2 + F_{b1\alpha Z}^2} + F_{b1\beta X} + F_{b1\beta Y2up} + F_{b1\beta Z} \dots\dots\dots (6.2.4.3.10)$$

鉛直下向きの場合
地震荷重

$$F_{b1_alpha_Y2_down} = \frac{-m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{31} + m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.3.11)

その他の荷重

$$F_{b1_beta_Y2_down} = \frac{-m_{11} \cdot g \cdot (C_P + 1) \cdot \ell_{31} + m_{21} \cdot g \cdot (C_P + 1) \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.3.12)

原動機取付ボルトに作用する荷重 $F_{b1_Y2_down}$ は,

$$F_{b1_Y2_down} = \sqrt{F_{b1_alpha_X}^2 + F_{b1_alpha_Y2_down}^2 + F_{b1_alpha_Z}^2 + F_{b1_beta_X} + F_{b1_beta_Y2_down} + F_{b1_beta_Z}}$$

..... (6.2.4.3.13)

ホ. Y方向に鉛直荷重が作用し, b点を支点に軸方向に転倒する場合
地震荷重

$$F_{b1_alpha_Y3} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{41} + m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{41} + \ell_{51})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.3.14)

その他の荷重

$$F_{b1_beta_Y3} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{41} + m_{21} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot (\ell_{41} + \ell_{51})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.3.15)

原動機取付ボルトに作用する荷重 F_{b1_Y3} は,

$$F_{b1_Y3} = \sqrt{F_{b1_alpha_X}^2 + F_{b1_alpha_Y3}^2 + F_{b1_alpha_Z}^2 + F_{b1_beta_X} + F_{b1_beta_Y3} + F_{b1_beta_Z}}$$

..... (6.2.4.3.16)

X, Y, Z 方向に荷重が作用した場合にボルトが受ける荷重を求め、各々の場合において組合せ荷重を計算し、一番大きくなった組合せ荷重を評価に用いる。

$$F_{b1} = \text{Max} \left(F_{b1Y1}, F_{b1Y2_up}, F_{b1Y2_down}, F_{b1Y3} \right) \dots\dots\dots (6.2.4.3.17)$$

ここで、 C_p はブロー振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値であり、 M_p は原動機回転により作用するモーメントで軸直角方向のみ考慮する。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (6.2.4.3.18)$$

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P_d \dots\dots\dots (6.2.4.3.19)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.20)$$

ここで、ボルトの軸断面 A_{bi} は

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (6.2.4.3.21)$$

b. せん断力

原動機取付ボルトに作用する荷重 Q_{b1} は、

$$Q_{b1} = (m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + C_H^2} + \sqrt{C_P^2 + C_P^2} \right) \dots\dots\dots (6.2.4.3.22)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.23)$$

(2) ブラケット取付ボルト (矩形配置)

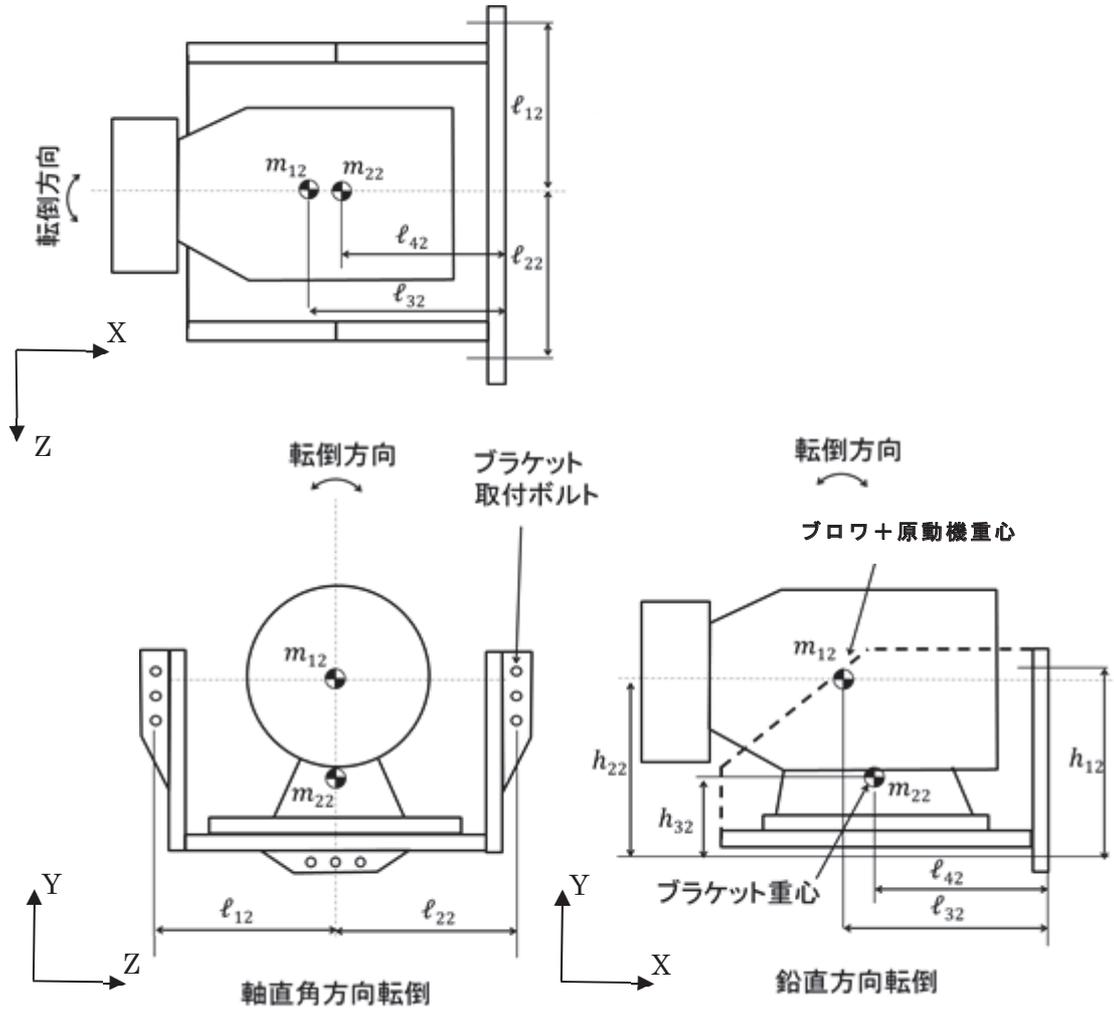


図 6-2 ブラケット取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に水平荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合
地震荷重

$$F_{b2_α_Z} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_{42}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.24)$$

その他の荷重

$$F_{b2_β_Z} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_P \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_P \cdot \ell_{42}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (6.2.4.3.25)$$

ロ. X 方向に水平荷重が作用し、鉛直方向に転倒する場合
地震荷重

$$F_{b2_α_X} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{22} + m_{22} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.26)$$

その他の荷重

$$F_{b2_β_X} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{22} + m_{22} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.27)$$

ハ. Y 方向に鉛直荷重が作用し、鉛直方向に転倒する場合
地震荷重

$$F_{b2_α_Y} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{42}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.28)$$

その他の荷重

$$F_{b2\beta Y} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot \ell_{42}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.29)$$

ブラケット取付ボルトに作用する荷重 F_{b2} は

$$F_{b2} = \sqrt{F_{b2\alpha X}^2 + F_{b2\alpha Y}^2 + F_{b2\alpha Z}^2 + F_{b2\beta X}^2 + F_{b2\beta Y}^2 + F_{b2\beta Z}^2} \dots\dots\dots (6.2.4.3.30)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.31)$$

ここで、ボルトの軸断面 A_{b2} は

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (6.2.4.3.32)$$

b. せん断力

ブラケット取付ボルトに作用する荷重 Q_{b2} は、

$$Q_{b2} = (m_{12} + m_{22}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + C_V^2} + \sqrt{C_P^2 + (1 + C_P)^2} \right) + \frac{M_P}{h_{22}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.33)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.34)$$

(3) キャン取付ボルト (円形配置)

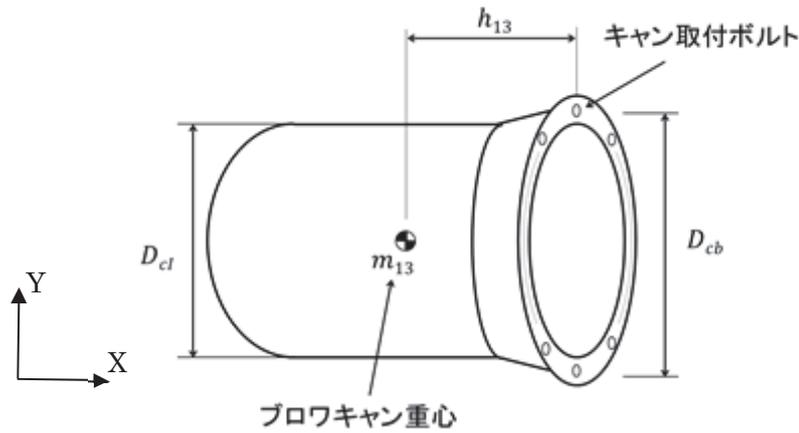


図 6-3 キャン取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z方向に荷重が作用する場合 (Y軸回り)

地震荷重

$$F_{b3_y_c_h_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.35)$$

ロ. Y方向に荷重が作用する場合 (Z軸回り)

地震荷重

$$F_{b3_z_c_v} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot C_V \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.36)$$

その他の荷重

$$F_{b3_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.37)$$

ハ. X方向に荷重が作用する場合 (YZ平面上は常に一定)

地震荷重

$$F_{b3_y_z_c_h_x} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot \left(m_{13} \cdot g \cdot C_H \cdot \frac{D_{cb}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.38)$$

その他の荷重

$$F_{b3_y_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_{cl}^2 \cdot P_0 \cdot \frac{D_{cb}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.39)$$

キャン取付ボルトに作用する荷重 F_{b3} は、

$$F_{b3} = \sqrt{F_{b3_y_c_h_z}^2 + F_{b3_z_c_v}^2 + F_{b3_y_z_c_h_x}^2} + F_{b3_z} + F_{b3_y_z} \dots\dots\dots (6.2.4.3.40)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{n_{f13} \cdot A_{b3}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.41)$$

ここで、ボルトの軸断面 A_{b3} は

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots\dots\dots (6.2.4.3.42)$$

b. せん断力

キャン取付ボルトに作用する荷重 Q_{b3} は、

$$Q_{b3} = m_{13} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + C_V^2} + 1 \right) \dots\dots\dots (6.2.4.3.43)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.44)$$

(4)ブロウケーシング取付ボルト（円形配置）

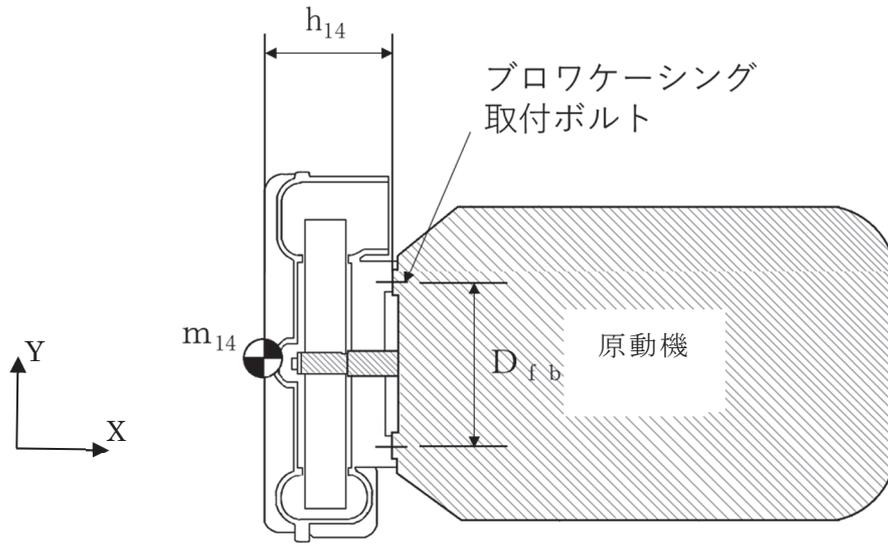


図 6-4 ブロウケーシング取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に荷重が作用する場合（Y 軸回り）

地震荷重

$$F_{b4_y_c h z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.45)$$

その他の荷重

$$F_{b4_y} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.46)$$

ロ. Y 方向に荷重が作用する場合（Z 軸回り）

地震荷重

$$F_{b4_z_c v} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_V \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.47)$$

その他の荷重

$$F_{b4_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3.48)$$

ハ. X方向に荷重が作用する場合 (YZ平面上は常に一定)

地震荷重

$$F_{b4_y_z_c_h_x} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_H \cdot \frac{D_{fb}}{2} \dots\dots\dots (6.2.4.3.49)$$

その他の荷重

$$F_{b4_y_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_P \cdot \frac{D_{fb}}{2} \dots\dots\dots (6.2.4.3.50)$$

ブロッキング取付ボルトに作用する荷重 F_{b4} は,

$$\begin{aligned}
 F_{b4} = & \sqrt{F_{b4_y_c_h_z}^2 + F_{b4_z_c_v}^2 + F_{b4_y_z_c_h_x}^2} \\
 & + \sqrt{F_{b4_y}^2 + F_{b4_z}^2} + F_{b4_y_z} \dots\dots\dots (6.2.4.3.51)
 \end{aligned}$$

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{n_{f14} \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.52)$$

ここで, ボルトの軸断面 A_{b4} は

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots\dots\dots (6.2.4.3.53)$$

b. せん断力

ブロッキング取付ボルトに作用する荷重 Q_{b4} は,

$$\begin{aligned}
 Q_{b4} = & m_{14} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + C_V^2} + \sqrt{C_P^2 + (1 + C_P)^2} \right) \\
 & \dots\dots\dots (6.2.4.3.54)
 \end{aligned}$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (6.2.4.3.55)$$

(5) インペラとブロワケーシングとのクリアランス

FEM解析により、地震による震度及び自重により生じるインペラとブロワケーシングとのクリアランスが設計許容隙間を下回ることを確認する。

ブロワの解析モデル（2次元はりモデル）を図 6-5 に、解析モデルの概要を以下に示す。機器の諸元を 6-3 表に示す。

- a. 解析モデルは、各部材をはり要素でモデル化する。各要素の荷重は要素荷重として各々の要素で考慮し、インペラ、原動機回転子、キャン、キャンフランジおよび内装品等は集中重量として考慮する。
- b. 図 6-5 中の \blacksquare ははり要素、 \surd はばね要素を示す。
- c. 拘束条件として、サポートプレートとスキッドベース、およびブレースとスキッドベース溶接接合部の並進方向、X軸回転方向を拘束し、原動機取付ボルト、ブロワケーシング取付ボルトを完全拘束する。溶接部及び取付ボルトは剛体として評価する。
- d. 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- e. 解析に用いる寸法は公称値を使用する。



図 6-5 ブロワ解析モデル

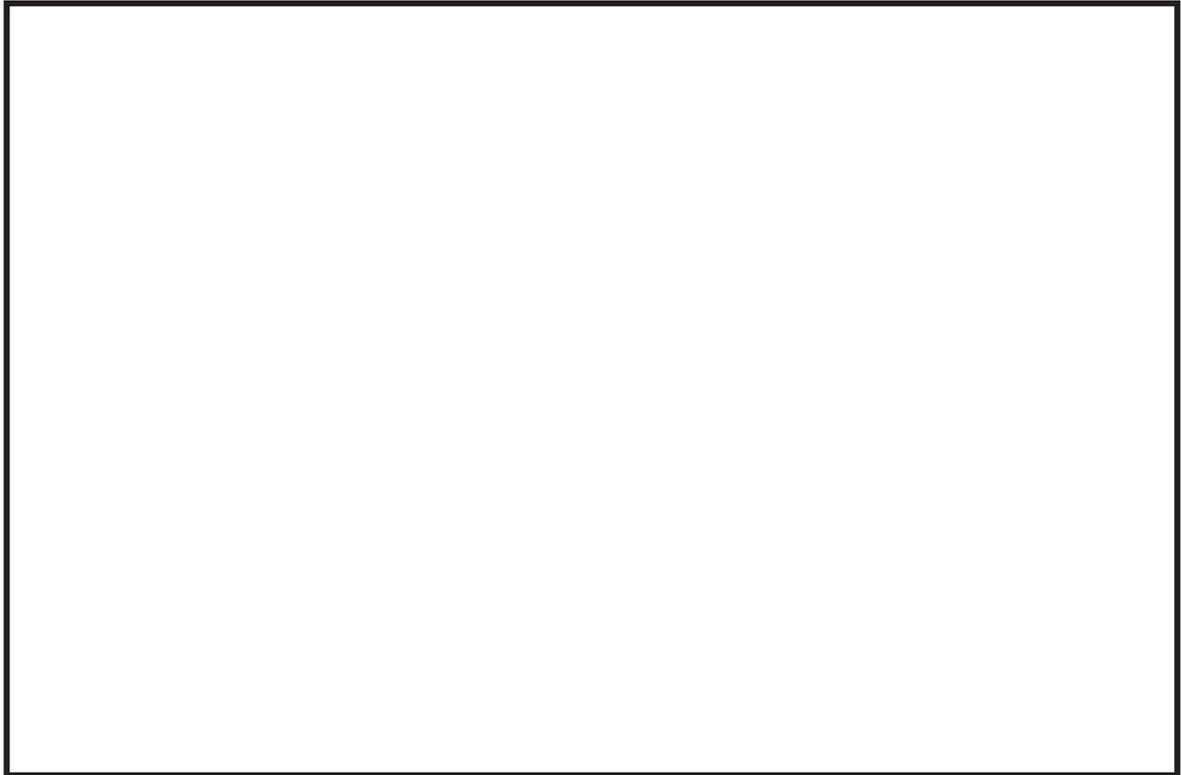


図 6-6 ブロワ構造図

表 6-3 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	171
縦弾性係数	E	MPa	1.93×10 ⁵ (キャン, ブラケット, サポートプレート)
			1.92×10 ⁵ (電動機軸, ブロワケーシング)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6.3 原動機の動的機能維持評価

6.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレームを評価対象部位とする。なお、取付ボルトおよび端子箱においては、ブロワの動的機能維持評価に含まれている。また、軸継手は遠心直動型ファンのため、評価対象外とする。

6.3.2 評価基準値

モータフレーム及び端子箱の許容応力はクラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅳ_AS に準拠し設定する。軸（回転子）の許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。固定子の許容応力はクラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。また軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

6.3.3 記号の説明

可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 6-4 に示す。

表6-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_p	ピンの断面積	mm^2
A_s	脚部の断面積	mm^2
C_P	ブロワ振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_f	フレームの内径	mm
d_s	軸の直径	mm
E	軸の縦弾性係数	MPa
F	ピンにはたらく合成荷重	N
F_1	原動機の回転によりピンにはたらく荷重	N
F_2	水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重	N
F_a	アキシアル荷重	N
F_{R1}	地震力により軸に作用する荷重	N
F_{R2}	ラジアル荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_c	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
h_f	原動機取付面から脚取付部までの高さ	mm
I	軸の断面二次モーメント	mm^4
l	原動機脚部中心間距離	mm
l_c	脚中心から原動機重心までの水平方向距離	mm
$l_{b, L}$	反負荷側・負荷側軸受間距離	mm
l_f	ラジアル荷重の作用位置	mm
$l_{r, C}$	軸（回転子）の重心位置	mm
M_1	反負荷側軸受から軸（回転子）の重心位置の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	反負荷側軸受から負荷側軸受の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{11}	水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{max}	軸に生じる最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	軸の回転によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_3	脚部重量を除いた原動機重量	kg
m_r	軸・回転子の重量	kg
m_s	固定子重量	kg
m_{s1}	脚部の重量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
n_p	ピンの本数	—
P_d	原動機出力	kW

記号	記号の説明	単位
P_1	静等価ラジアル荷重	N
P_2	静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 1}$	反負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 2}$	負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
P_1	水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重	N
R_1	脚部が受ける荷重	N
R_L	負荷側軸受が受ける荷重	N
R_O	反負荷側軸受が受ける荷重	N
T_M	原動機最大トルク	N・m
T_S	原動機最大トルク	%
X_O	軸受ラジアル荷重に対する係数	—
Y_O	軸受アキシアル荷重に対する係数	—
y_{max}	軸の最大たわみ	mm
Z_S	軸の断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚部の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
σ_b	軸にはたらく最大曲げ応力	MPa
σ_s	軸にはたらく組合せ応力	MPa
σ_s	鉛直方向と水平方向（横方向）地震力が作用する組合せ応力	MPa
σ_{s1}	原動機重量による応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震力（横方向）による曲げ応力および圧縮応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震力による応力	MPa
τ_p	ピンにはたらくせん断応力	MPa
τ_t	軸に生じるねじり応力	MPa
τ_{s2}	水平方向地震力（横方向）によるせん断応力	MPa

6.3.4 評価方法

(1) 固定子

a. 原動機の回転による荷重

原動機の最大トルクは

$$T_M = \frac{P_d \cdot 1000000}{2\pi \cdot N / 60} \cdot \frac{T_s}{100} \dots \dots \dots (6.3.4.1)$$

原動機の回転によりピンにはたらく荷重は

$$F_1 = \frac{T_M}{1/2 \cdot D_f} \dots \dots \dots (6.3.4.2)$$

b. 水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重

$$F_2 = m_s \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots \dots \dots (6.3.4.3)$$

c. ピンにはたらくせん断応力

a. , b. の合成荷重は

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \dots \dots \dots (6.3.4.4)$$

ピンにはたらくせん断応力は

$$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p} \dots \dots \dots (6.3.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

a. 各部にはたらく荷重

地震力により軸に作用する荷重は

$$F_{R1} = \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \cdot m_r \cdot g \dots \dots (6.3.4.6)$$

負荷側軸受が受ける荷重および反負荷側軸受が受ける荷重は

$$R_L = \frac{F_{R1} \cdot l_{r,C} + F_{R2} \cdot l_f}{l_{b,L}} \dots \dots \dots (6.3.4.7)$$

$$R_O = \frac{(l_{b,L} - l_{r,C}) \cdot F_{R1} + (l_f - l_{b,L}) \cdot F_{R2}}{l_{b,L}} \dots \dots \dots (6.3.4.8)$$

b. 曲げ応力

軸に生じる最大曲げモーメントは

$$M_1 = \frac{(l_{b,L} - l_{r,C}) \cdot l_{r,C} \cdot F_{R1} + (l_f - l_{b,L}) \cdot l_{r,C} \cdot F_{R2}}{l_{b,L}} \dots \dots \dots (6.3.4.9)$$

$$M_2 = F_{R2} \cdot (l_{b,L} - l_f) \dots \dots \dots (6.3.4.10)$$

$$M_{max} = \text{Max} \left[|M_1|, |M_2| \right] \dots \dots \dots (6.3.4.11)$$

軸にはたらく最大曲げ応力は

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_s} \dots \dots \dots (6.3.4.12)$$

c. ねじり応力

軸の回転によるモーメントは

$$M_P = \frac{60}{2\pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P_d \dots \dots \dots (6.3.4.13)$$

軸に生じるねじり応力は

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_P}{\pi \cdot d_s^3} \dots \dots \dots (6.3.4.14)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \dots \dots \dots (6.3.4.15)$$

(3) 軸受

a. 反負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_O + Y_O \cdot F_a \quad \dots \dots \dots (6.3.4.16)$$

$$P_2 = R_O \quad \dots \dots \dots (6.3.4.17)$$

$$P_{or, 1} = \text{Max} [P_1, P_2] \quad \dots \dots \dots (6.3.4.18)$$

b. 負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_L + Y_O \cdot F_a \quad \dots \dots \dots (6.3.4.19)$$

$$P_2 = R_L \quad \dots \dots \dots (6.3.4.20)$$

$$P_{or, 2} = \text{Max} [P_1, P_2] \quad \dots \dots \dots (6.3.4.21)$$

(4) 固定子と回転子間のクリアランス

a. 軸の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.22)$$

b. 軸の最大たわみ

$$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot l_{r, C} \cdot (l_{b, L}^2 - l_{r, C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot l_{b, L}} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.23)$$

(5) モータフレーム

a. 原動機重量による応力

脚部が受ける荷重は

$$R_1 = m_3 \cdot g \cdot \frac{l - l_c}{l} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.24)$$

原動機重量による応力は

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.25)$$

b. 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot (C_V + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.26)$$

c. 水平方向地震力（横方向）による応力

水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメントは

$$M_{11} = (C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_f \quad \dots \dots \dots (6.3.4.27)$$

水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重は

$$P_1 = (C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot \frac{h_c}{l} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.28)$$

曲げ応力および圧縮応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.29)$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g}{A_s} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.30)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.31)$$

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

ブロワの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ブローの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ブロー振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロー	S	原子炉建屋 0.P. 22.50*			C _H =1.13	C _V =0.91	C _H =2.12	C _V =1.56		171	—

注記*：基準床レベルを示す。

1.1.2 機器要目

部材	m (kg)	L (mm)	h (mm)	ℓ (mm)	ℓ _b (mm)	ℓ _k (mm)	A _b (mm ²)	A _{s s} (mm ²)	A _{s b} (mm ²)
ブレース及び ベース取付溶接部									

部材	A _{HW} (mm ²)	A _{VW} (mm ²)	A (mm ²)	i (mm)	E (MPa)	G (MPa)	I _b (mm ⁴)	I _V (mm ⁴)
ブレース及び ベース取付溶接部								

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ブレース及び ベース取付溶接部	201*1	373*1	201	241	軸	軸

注記*1：最高使用温度で算出。

H _P (μm)	N (rpm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1. 1.3 計算数値

1. 1.3.1 ブレースに作用する力

(単位：N)

部材	F_H		F_V		F_C	
	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	基準地震動 Ss	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	基準地震動 Ss	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	基準地震動 Ss
ブレース						

1. 1.3.2 ベース取付溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	F_{HW}		F_{VW}	
	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	基準地震動 Ss	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	基準地震動 Ss
ベース取付溶接部				

1. 1.4 結論

1. 1.4.1 固有周期

(単位：s)

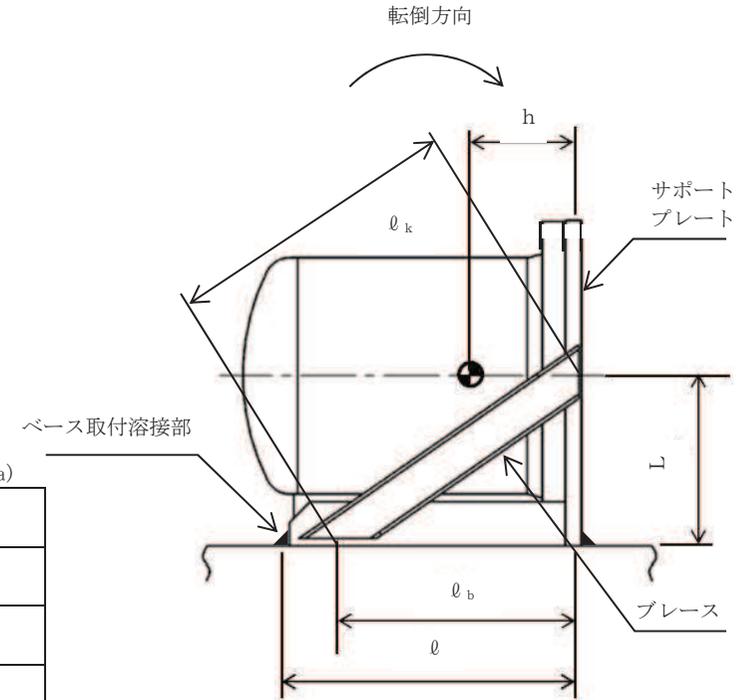
方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1. 1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度		基準地震動 Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ブレース		圧縮	$\sigma_c = 6$	$f_{bc} = 179$	$\sigma_c = 10$	$f_{bc} = 210$
ベース取付溶接部		せん断	$\tau_w = 20$	$f_{ws} = 116$	$\tau_w = 40$	$f_{ws} = 139$

すべて許容応力以下である。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (Nm ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _d		基準地震動 S _s		ブロウ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ	遠心直動型 ファン		原子炉建屋 O.P. 22.50*1			—	—	C _H =1.77	C _V =1.30		171	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：構造強度評価にて算出した結果を記載。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _d		基準地震動 S _s		ブロウ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置 ブロウ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	11	原子炉建屋 O.P. 22.50*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.77	C _V =1.30	C _P =0.21	171	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

50

1.2.2 機器要目

(1) ブロウ共通

H _p (μm)	N (rpm)	P _d (kW)	P ₀ (MPa)
		11	0.427

(2) 原動機取付ボルト, ブラケット取付ボルト, キャン取付ボルト, プロワーキング取付ボルト

部材	m_{1i} (kg)	m_{2i} (kg)	h_{1i} (mm)	h_{2i} (mm)	h_{3i} (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	ℓ_{4i} (mm)	ℓ_{5i} (mm)	D_{cb} (mm)	D_{cI} (mm)	D_{fb} (mm)	A_{bi} (mm ²)	d_i (mm)	n_i	n_{f1i}	n_{f2i}
原動機 取付ボルト ($i=1$)																		
ブラケット 取付ボルト ($i=2$)																		
キャン 取付ボルト ($i=3$)																		
プロワーキング 取付ボルト ($i=4$)																		

51 (3) 固定子

部材	A_p (mm ²)	D_f (mm)	m_s (kg)	N (rpm)	n_p	P_d (kW)	T_s (%)
固定子	121.7	350	121	3000	2	11	200

(4) 軸 (回転子)

部材	d_s (mm)	F_{R2} (N)	$l_{b,L}$ (mm)	l_f (mm)	$l_{r,c}$ (mm)	m_r (kg)	N (rpm)	P_d (kW)	Z_s (mm ³)
軸 (回転子)	30	213.8	475.8	631.1	234.3	66	3000	11	2651

(5) 軸受

部材	F_a (N)	X_o	Y_o
軸受	0	0.6	0.5

(6) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	d_s (mm)	E (MPa)	$l_{b, L}$ (mm)	$l_{r, c}$ (mm)
固定子と回転子間の クリアランス	30	206000	475.8	234.3

(7) モータフレーム

部材	A_s (mm ²)	h_c (mm)	h_f (mm)	l (mm)	l_c (mm)	m_3 (kg)	m_{s1} (kg)	$Z_{s,y}$ (mm ³)
モータフレーム	5490	225	74	256	128	310	10	13730

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ブロワ	水平方向	1.77	2.6
	鉛直方向	1.30	1.0
原動機	水平方向	1.77	4.7
	鉛直方向	1.30	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

ブロワは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 ブロワの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

ブレース、ベース取付溶接部については、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 取付ボルトの評価

(単位：MPa)

評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力
原動機取付ボルト		引張	20	158
		せん断	14	122
ブラケット取付ボルト		引張	45	158
		せん断	7	122
キャン取付ボルト		引張	18	275
		せん断	1	211
ブロワケーシング取付ボルト		引張	11	152
		せん断	5	117

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 インペラとブロワケーシングとのクリアランスの評価

(単位：mm)

変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、ブロワの動的機能維持評価にて確認しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	110

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	100	412

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
負荷側	1302	
反負荷側	1120	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.4 固定子と回転子間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.57	1.00

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.5 モータフレームの評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	36	40

すべて許容応力以下である。