

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

| | |
|------------------|------------|
| 東海第二発電所 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 工認-462 改1 |
| 提出年月日 | 平成30年7月31日 |

V-2-9-5-3-2 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

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 | 3 |
| 2.3 適用基準 | 3 |
| 2.4 記号の説明 | 5 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 5 |
| 3. 評価部位 | 6 |
| 4. 固有周期 | 6 |
| 5. 構造強度評価 | 6 |
| 5.1 構造強度評価方法 | 6 |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 6 |
| 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 6 |
| 5.2.2 許容応力 | 6 |
| 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 | 6 |
| 5.3 設計用地震力 | 9 |
| 5.4 計算方法 | 9 |
| 5.4.1 応力の計算方法 | 9 |
| 5.5 計算条件 | 11 |
| 5.5.1 ブレース及びベース取付溶接部の応力評価条件 | 11 |
| 5.6 応力の評価 | 12 |
| 5.6.1 ブレースの応力評価 | 12 |
| 5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価 | 13 |
| 6. 機能維持評価 | 14 |
| 6.1 機能維持評価方法 | 14 |
| 7. 評価結果 | 14 |
| 7.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 14 |

1. 概要

本計算書は、「V-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既設の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 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 | |
| 溶接でベースを架台に固定する。 | キャンド形遠心式ブロワ | <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p> |

2.2 評価方針

ブロワの構造強度評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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」にて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、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能維持確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

ブロワの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

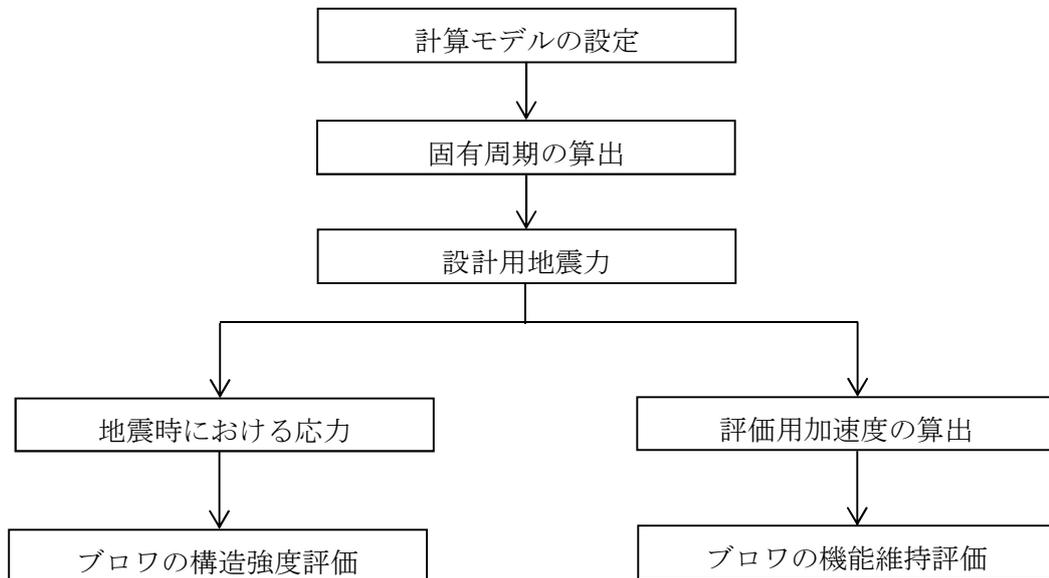


図 2-1 ブロワの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（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_b | ブレースの断面積 | 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 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_{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_V | ブレースに作用する鉛直方向反力 | N |
| f_c | ブレースの許容圧縮応力 | MPa |
| f_s | ベース取付溶接部の許容せん断応力 | MPa |
| g | 重力加速度 (=9.80665) | m/s^2 |
| H_P | 予想最大両振幅 | μm |
| h | ブロワ重心位置 | mm |
| i | 座屈軸についての断面二次半径 | mm |
| L | ブロワ重心高さ | 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 |
| N | 回転速度 (原動機の同期回転速度) | min^{-1} |
| 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 |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-------------|-----------------------------|-----|
| T | 固有周期 | s |
| 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 | — |
| 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 |

注記 * : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005 / 2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は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 |
| 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* ¹ | mm | — | — | 整数位 |
| 面積 | mm ² | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁* ² |
| 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* ³ | MPa | 小数点以下第1位 | 切捨て | 整数位 |

注記 *¹ : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*² : 絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*³ : 設計・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

ブロワについては、十分な剛性を有しており全体的に剛体とみなせるため、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ブロワの質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はブロワ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。
- (3) ブロワは溶接により架台に固定された固定端とする。
- (4) ブレース
 - a. ブロワの質量は、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. 転倒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。
- (5) 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. 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。
 - c. 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。

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

ブロワの許容応力を表 5-2 に示す。

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 | 耐震設計上の 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 | 可燃性ガス濃 度制御設備 | 可燃性ガス濃度 制御系再結合装置 ブロワ | S | —*1 | $D + P_D + M_D + S_d^* \text{ *2}$ | III _A S |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | IV _A S |

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 5-2 許容応力 (その他支持構造物)

| | | |
|------------------|--------------------------------|-------------------|
| 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 _A S | $1.5 \cdot f_c$ | $1.5 \cdot f_s$ |
| Ⅳ _A S | $1.5 \cdot f_c^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ |

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, 規格基準等で省略可能とされている場合及びその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 (RT) (MPa) |
|----------|----|--------------|--|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| ブレース | | 最高使用温度 | | 201 | 373 | - |
| ベース取付溶接部 | | | | | | |

注記 *1: 新 J I S における SS400 相当

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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-4 設計用地震力 (設計基準対象施設)

| 耐震設計上の 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 | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| | | 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 |
| S | 原子炉建屋 EL. 20.30* ¹ | —* ² | —* ² | —* ³ | —* ³ | C _H =1.34 | C _V =1.01 |

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。

*3: III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

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

$$F_H = P = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_p) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

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、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_V = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_p) \cdot m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_p) \cdot m \cdot g \cdot L}{\ell_b} \quad \dots\dots (5.4.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_C = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

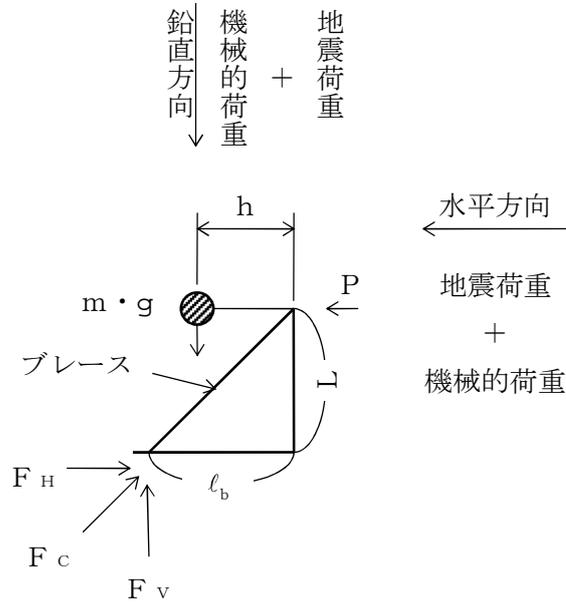


図 5-1 ブレースに作用する荷重

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

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{w1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

(2) 鉛直方向せん断応力

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m \cdot g \cdot h + (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{\ell} \dots\dots (5.4.1.8)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{w2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

(3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_w = \text{Max} \{ \text{水平方向せん断応力} (\tau_{w1}), \text{鉛直方向せん断応力} (\tau_{w2}) \}$$

(5.4.1.10)

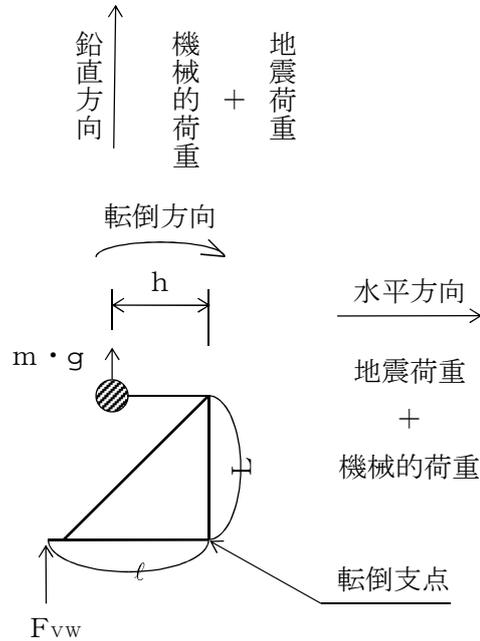


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

5.5 計算条件

5.5.1 ブレース及びベース取付溶接部の応力計算条件

ブレース及び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【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_c 以下であること。ただし、 f_c 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_c | $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$ | $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$ |

ここで、 λ は圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

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

Λ は、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。

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

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のせん断応力 τ_w は許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし, f_s 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 |
|------------------|---|--|
| 許容せん断応力 f_s | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

6. 機能維持評価

6.1 機能維持評価方法

ブロワの地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

ブロワは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

| 評価部位 | 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$) |
|------|-----------------|----|--|
| ブロワ | 遠心直動型ファン | 水平 | 2.6 |
| | | 鉛直 | 1.0 |
| 原動機 | 横形ころがり 軸受電動機 | 水平 | 4.7 |
| | | 鉛直 | 1.0 |

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。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価結果を次頁以降の表に示す。

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

| 機器名称 | 耐震設計上の重要度分類 | 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 | | ブロウ震動による震度 | 最高使用温度 (°C) | 周囲環境温度 (°C) |
|--------------------|-------------|----------------------|----------|-----------------------|----------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | | | 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 | S | 原子炉建屋 EL. 20.30*1 | —*2 | —*3 | —*3 | $C_H=1.34$ | $C_V=1.01$ | | | — |

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。

*3: IIIA Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

| 機器名称 | m (kg) | L (mm) | h (mm) | ℓ (mm) | ℓ_b (mm) | ℓ_k (mm) | E^{*1} (MPa) | A_b (mm ²) | A_{HW} (mm ²) | A_{VW} (mm ²) | i (mm) |
|--------------------|--------|--------|--------|-------------|---------------|---------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ | | | | | | | | | | | |

| 機器名称 | S_y^{*} (MPa) | S_u^{*} (MPa) | F (MPa) | | F* (MPa) | | 転倒方向 | |
|--------------------|-----------------|-----------------|---------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------|
| | | | ブレース | ベース取付溶接部 | ブレース | ベース取付溶接部 | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s |
| 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ | 201 | 373 | 201 | 90 | 241 | 108 | — | ブロウ軸方向 |

注記 *: ブレース及びベース取付溶接部とも材質はSS41

| 予想最大両振幅 (μ m) | 回転速度 (min ⁻¹) |
|--------------------|---------------------------|
| | |

1.3 計算数値

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 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s |
| ブレース | - | <input type="text"/> | - | <input type="text"/> | - | <input type="text"/> |

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 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | 基準地震動 S_s |
| ベース取付溶接部 | - | <input type="text"/> | - | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

| 部 材 | 材 料 | 応 力 | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | | 基準地震動 S_s | |
|----------|----------------------|-----|-----------------------|-----------|---------------|-----------|
| | | | 算出応力* | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| ブレース | <input type="text"/> | 圧縮 | $\sigma_c=11$ | $f_c=162$ | $\sigma_c=11$ | $f_c=187$ |
| ベース取付溶接部 | <input type="text"/> | せん断 | $\tau_v=32$ | $f_s=52$ | $\tau_v=32$ | $f_s=62$ |

すべて許容応力以下である。

注記 *：基準地震動 S_s による算出値

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

| | | 評価用加速度 | 機能確認済加速度 |
|-----|------|----------------------|----------|
| ブロワ | 水平方向 | <input type="text"/> | 2.6 |
| | 鉛直方向 | <input type="text"/> | 1.0 |
| 原動機 | 水平方向 | <input type="text"/> | 4.7 |
| | 鉛直方向 | <input type="text"/> | 1.0 |

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

