

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-772 改4 |
| 提出年月日 | 平成30年9月13日 |

V-2-9-4-2 ベント管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 | 4 |
| 2.4 記号の説明 | 5 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 7 |
| 3. 評価部位 | 8 |
| 4. 地震応答解析及び構造強度評価 | 9 |
| 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 | 9 |
| 4.2 荷重の組合せ及び許容限界 | 9 |
| 4.3 解析モデル及び諸元 | 16 |
| 4.4 固有周期 | 18 |
| 4.5 設計用地震力 | 20 |
| 4.6 計算方法 | 22 |
| 4.7 計算条件 | 26 |
| 4.8 応力の評価 | 26 |
| 5. 評価結果 | 26 |
| 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 26 |
| 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 29 |

1. 概要

本説明書は、添付書類「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、ベント管が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説明するものである。

ベント管は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ベント管の構造計画を表 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 | |
| <p>ベント管上部をダイヤフラム・フロアに固定し、下部はブレイシングにて支持している。</p> | <p>ベント管は内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の管でできている。</p> <p>ベント管の上部には配管破断時の防護のためジェットデフレクタを取付けた構造である。</p> | <p>ダイヤフラム・フロア</p> <p>ジェットデフレクタ</p> <p>ダイヤフラム・フロア</p> <p>ベント管</p> <p>ブレイシング</p> <p>(単位: mm)</p> <p>ベント管詳細図</p> |

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は、添付書類「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み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すベント管の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

ベント管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

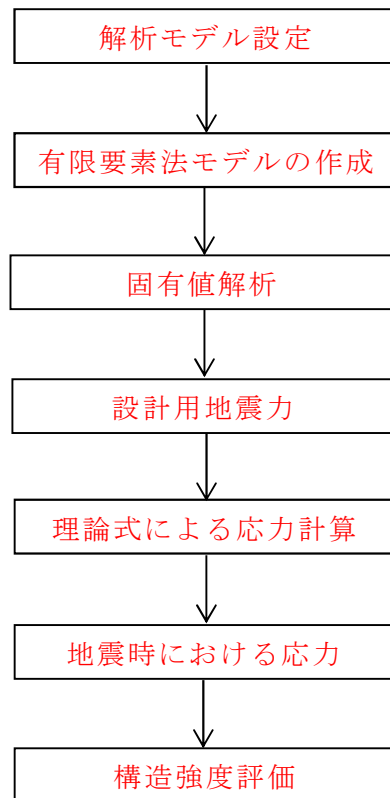


図 2-1 ベント管の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協
会)
- (4) 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) (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 | 断面積 | mm² |
| a | 構造物の厚さ | mm |
| C _D | ドラッグ係数 | — |
| D | 直径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F ₁ | 原子炉冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重 | N |
| g | 重力加速度 | m/s² |
| I | 断面二次モーメント | mm⁴ |
| K | ブレーシングばね定数 | kgf/cm |
| M | モーメント | N・mm |
| m ₀ | 質量 | kg |
| m ₁ | 水質量 | kg |
| P | 逃がし安全弁作動時荷重 | MPa |
| P _b | 一次曲げ応力 | MPa |
| P _{D i} | 最高使用圧力（内圧） | kPa |
| P _{D m a x} | 逃がし安全弁作動時気泡速度によるドラッグ力 | MPa |
| P _L | 一次局部膜応力 | MPa |
| P _m | 一次一般膜応力 | MPa |
| P _{S A L} | 圧力（S A後長期内圧） | kPa |
| P _{S A L L} | 圧力（S A後長々期内圧） | kPa |
| P _{0 m a x} | 逃がし安全弁作動時最大気泡圧力 | MPa |
| Q | 二次応力 | MPa |
| R ₀ | 逃がし安全弁作動時気泡半径 | m |
| r ₁ | 逃がし安全弁作動時気泡中心と構造物前面までの距離 | m |
| S _d * | 弾性設計用地震動S _d により定まる地震力又は静的地震力 | — |
| S _s | 基準地震動S _s により定まる地震力 | — |
| S _u | 材料の設計引張強さ | MPa |
| S _y | 材料の設計降伏点 | MPa |
| T | 温度 | ℃ |
| T _D | 最高使用温度 | ℃ |
| T _{S A L} | 温度（S A後長期温度） | ℃ |
| T _{S A L L} | 温度（S A後長々期温度） | ℃ |
| V _{0 m a x} | 逃がし安全弁作動時最大気泡表面速度 | m/s |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------------|--------------------|-------------------|
| W | 荷重 | N |
| Z | 断面係数 | mm ³ |
| γ | 比重量 | kg/m ³ |
| ΔP_{max} | 逃がし安全弁作動時気泡差圧による荷重 | MPa |
| ν | ポアソン比 | — |

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に示すとおりとする。

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 |
| 面積 | mm ² | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*1} |
| 力 | N | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*1} |
| モーメント | N・mm | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*1} |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第1位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 ^{*2} | MPa | 小数点以下第1位 | 切捨て | 整数位 |

注記 *1：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*2：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

ベント管の取付け状況，形状及び主要寸法を図 3-1 に，使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

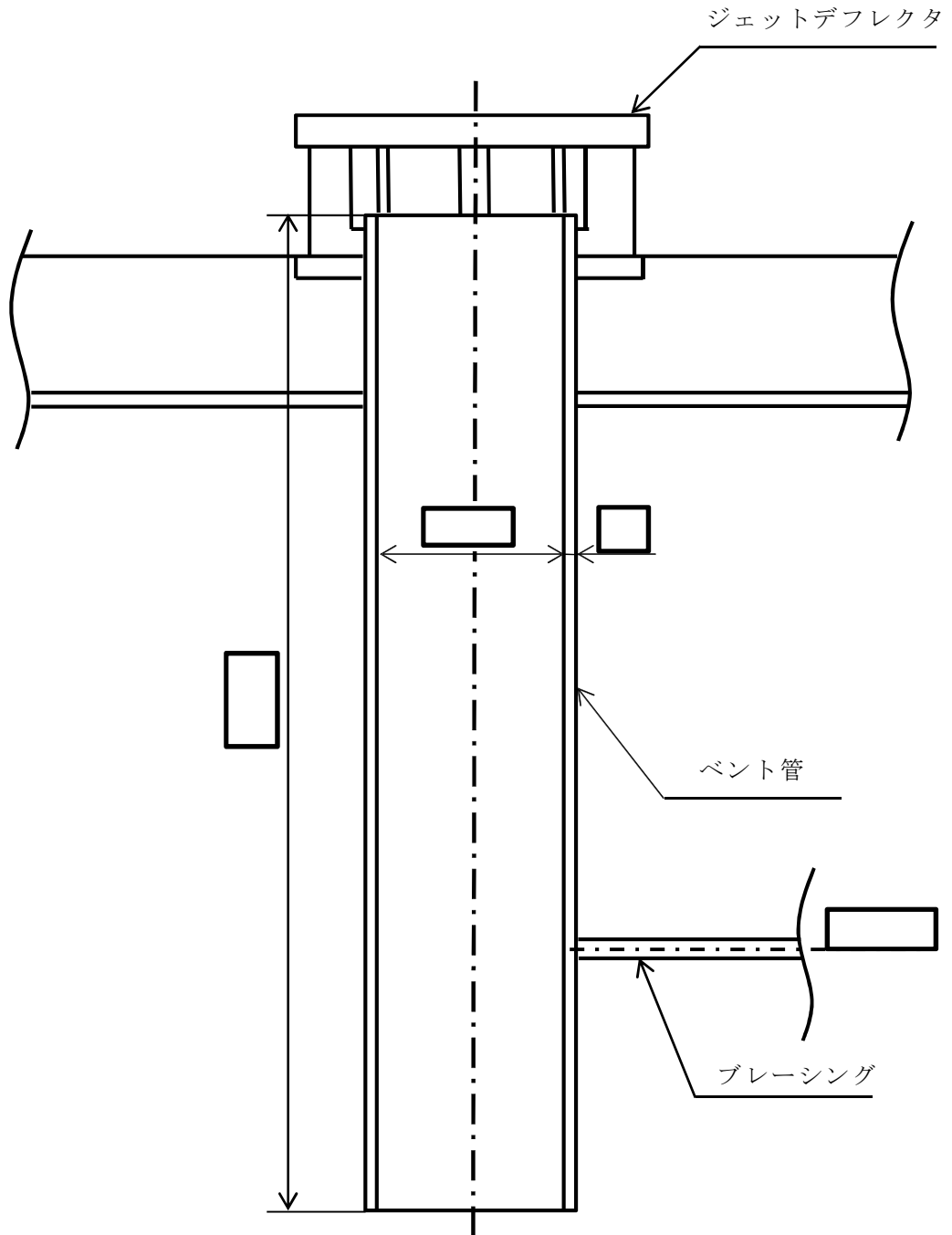


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

表 3-1 使用材料表

| 使用部位 | 使用材料 | 備考 |
|------|--|---------|
| ベント管 | SGV49 相当 | SGV480* |

注記 *：新 JIS を示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ベント管は、上部がダイヤフラム・フロアに固定され、下部はブレーシングにて支持される管状の構造物である。ベント管に作用する地震力は、水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ベント管の耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ベント管の荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表 4-1 及び表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

ベント管の許容限界を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

ベント管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 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-1 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 | 圧力低減設備その他の安全設備 | ベント管 | S | クラス2管 | $D + P_D + M_D + S_d^*$ | Ⅲ _A S |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | Ⅳ _A S |

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類* | 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 | 圧力低減設備その他の安全設備 | ベント管 | 常設耐震／防止 常設／緩和 | 重大事故等クラス2管 | $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ | V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。) |
| | | | | | $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^*$ | V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。) |

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表 4-3 許容限界 (クラス 2, 3 管及び重大事故等クラス 2 管)

| 許容応力状態 | 許容限界*1 | | | |
|--|--|--|---|-----------------|
| | 一次一般膜応力 | 一次応力 (曲げ応力を含む) | 一次+二次応力 | 一次+二次+ ピーク応力 |
| Ⅲ _A S | S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス 鋼及高ニッケル合金については上記 値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方。 *2 | S_y ただし、オーステナイト系ステンレス 鋼及高ニッケル合金については上記 値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方。 | S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行 い、疲労累積係数が1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析不要。 *3 | |
| Ⅳ _A S | $0.6 \cdot S_u$ | 左欄の1.5倍の値 | S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累 積係数が1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析不要。 *3 | |
| V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用 いる。) | | | | |

注記 *1: 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。

*2: 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_ASの一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

*3: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替
える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 材料 | 温度条件 (°C) | | S (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|--------|--------------|-----|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| SGV480 | 周囲環境 温度 | 171 | — | 229 | 423 | — |

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 材料 | 温度条件 (°C) | | S (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|--------|--------------|-----|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| SGV480 | 周囲環境 温度 | 150 | — | 232 | 424 | — |
| | 周囲環境 温度 | 171 | — | 229 | 423 | — |

表 4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

| 材料 | 温度 (°C) | 許容応力 状態 | 許容応力 | | |
|--------|------------|------------------|-------|-------------|-----------------|
| | | | 一次応力 | | 一次+二次応力 |
| | | | P_m | $P_L + P_b$ | $P_L + P_b + Q$ |
| SGV480 | 171 | Ⅲ _A S | 229* | 229 | 458 |
| | | Ⅳ _A S | 253* | 380 | 458 |

注記 *：評価対象は、構造または形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分に小さいため、評価結果の記載については省略する。

表 4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

| 材料 | 温度 (°C) | 許容応力 状態 | 許容応力 | | |
|--------|------------|------------------|-------|-------------|-----------------|
| | | | 一次応力 | | 一次+二次応力 |
| | | | P_m | $P_L + P_b$ | $P_L + P_b + Q$ |
| SGV480 | 150 | V _A S | 254* | 381 | 464 |
| | 171 | V _A S | 253* | 380 | 458 |

注記 *：評価対象は、構造または形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分に小さいため、評価結果の記載については省略する。

4.2.4 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

| | |
|-------------|---------|
| 内圧 P_{Di} | 173 kPa |
| 温度 T_D | 171 °C |

- (2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

| | | |
|---------------|---------|----------|
| 内圧 P_{SAL} | 173 kPa | (SA後長期) |
| 内圧 P_{SALL} | 173 kPa | (SA後長々期) |
| 温度 T_{SAL} | 171 °C | (SA後長期) |
| 温度 T_{SALL} | 150 °C | (SA後長々期) |

- (3) 死荷重

ベント管の自重

- (4) 水力学的動荷重 (逃がし安全弁作動時荷重及び冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重)

ベント管に加わる水力学的動荷重の作用方向を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

- ・ 逃がし安全弁作動時荷重

逃がし安全弁作動時空気泡圧力による荷重としては、気泡差圧による荷重と気泡速度によるドラッグ力が作用する。

$$P = \sqrt{(\Delta P_{\max})^2 + (P_{D\max})^2}$$

ここに、

$$\Delta P_{\max} = P_{0\max} \cdot R_0 \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + a} \right)$$

$$P_{D\max} = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot C_D \cdot V_{0\max}^2 \cdot \left(\frac{R_0}{r_1} \right)^4$$

- ・ 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重

ベント管に加わる水平方向荷重

$$F_1 = \square \cdot \sin(\pi \cdot t/3) \quad (\times 10^3 \text{ N}) \quad 0 \leq t \leq 3 \text{ ms}$$

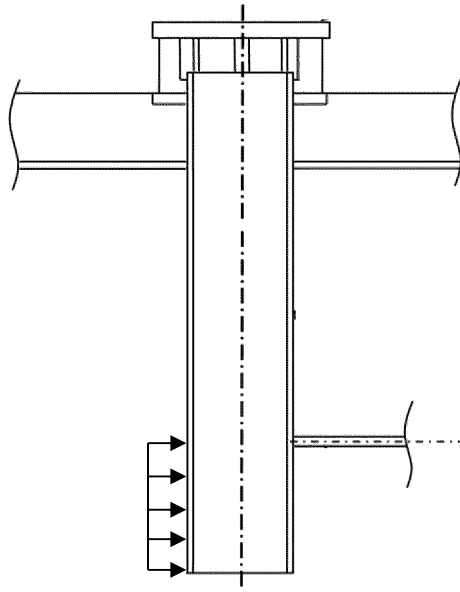


図 4-1 水力的動的荷重の作用方向
(逃がし安全弁作動時荷重)

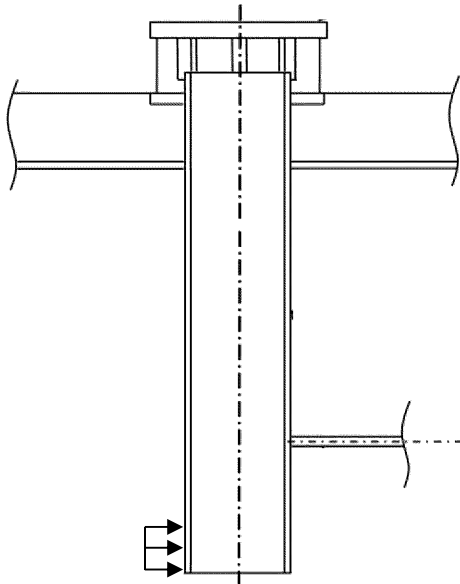


図 4-2 水力的動的荷重の作用方向
(冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重)

4.3 解析モデル及び諸元

ベント管の解析モデルを図 4-3 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-8 に示す。

- (1) 多質点はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) ベント管上部のダイヤフラム・フロアとの結合部からベント管下端部までをモデル化して解析を行い、固有値及び各部の反力を算出する。
解析モデルの境界条件を図 4-3 の図中に示す。
- (3) 本設備はサプレッション・プールに水没している部位を有する機器であるため、内包水及び排除水の影響を加味し、ベント管質量に含んでいる。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。
なお、評価に用いる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「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

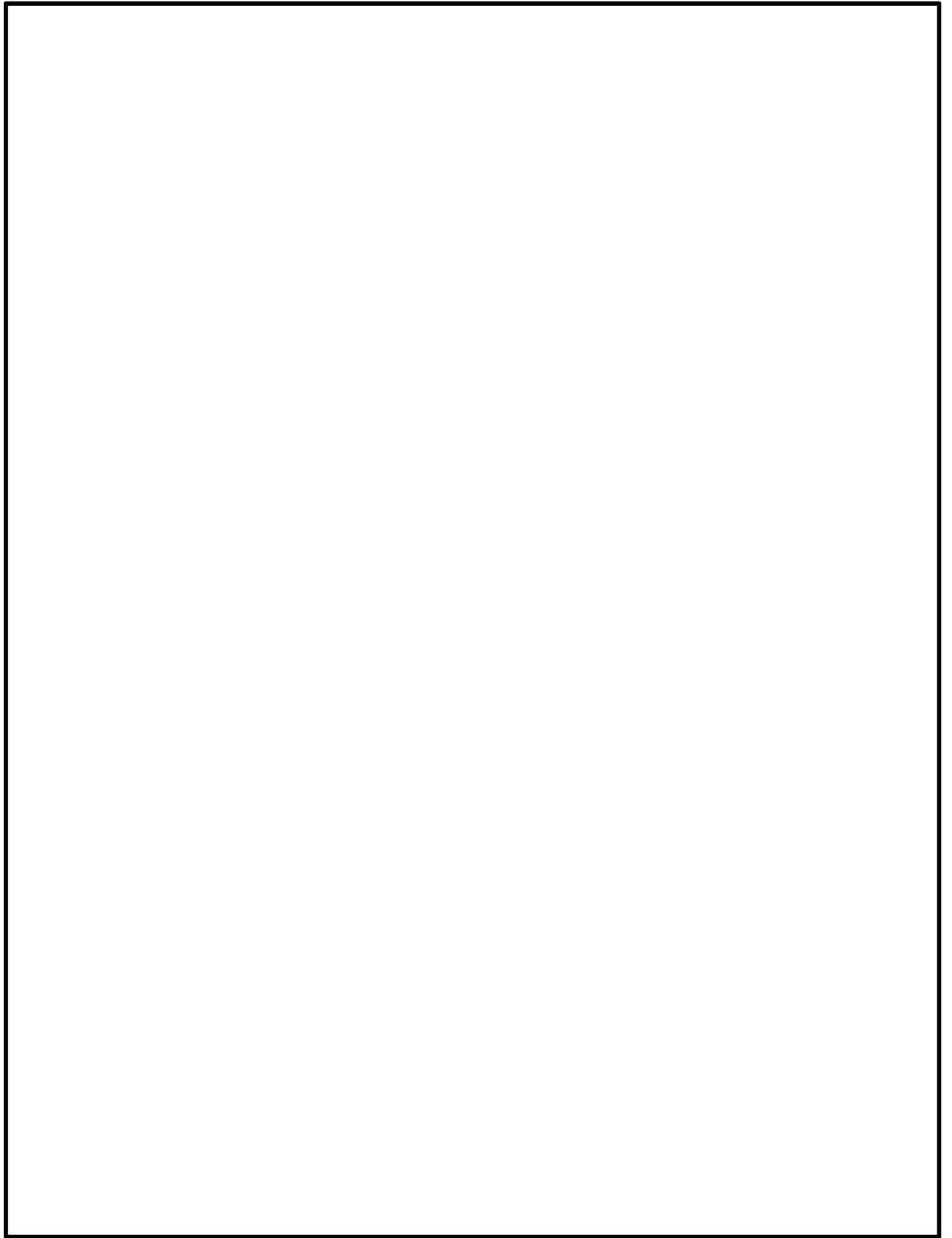


図 4-3 解析モデル

表 4-8 機器諸元

| 項目 | 記号 | 単位 | 入力値 |
|------------------|-------|---------------|--------|
| 材質 | — | — | SGV480 |
| 質量 | m_0 | kg | |
| 断面積 | A | mm^2 | |
| 断面二次モーメント | I | mm^4 | |
| ブレーシングばね定数 | K | kgf/cm | |
| 水質量 (内部水+排除水) | m_1 | kg | |
| 温度条件 | T | °C | 66 |
| 縦弾性係数 | E | MPa | 200000 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 要素数 | — | 個 | |
| 節点数 | — | 個 | |

4.4 固有周期

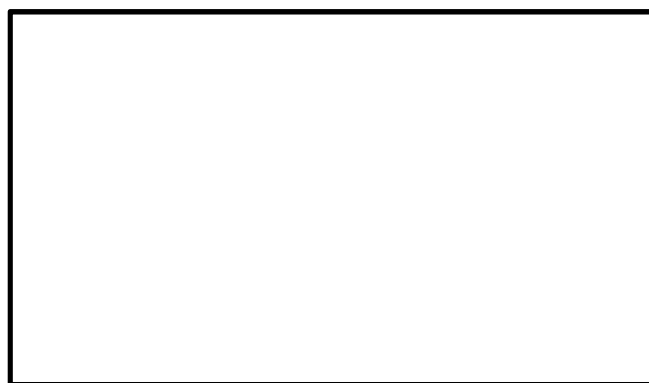
応答解析用モデルによる固有値解析の結果を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

設計基準対象施設（水位 (m)）において、1 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 秒、2 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は 3 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

重大事故等対処設備（水位 (m)）において、1 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 秒、2 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 秒、3 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は 4 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-9 固有周期（設計基準対象施設）（水位 (m)）

| モード | 固有周期 (s) | 卓越方向 | 刺激係数 | |
|-----|----------------------|------|----------------------|---|
| | | | X | Z |
| 1次 | <input type="text"/> | 水平方向 | <input type="text"/> | |
| 2次 | | 水平方向 | | |



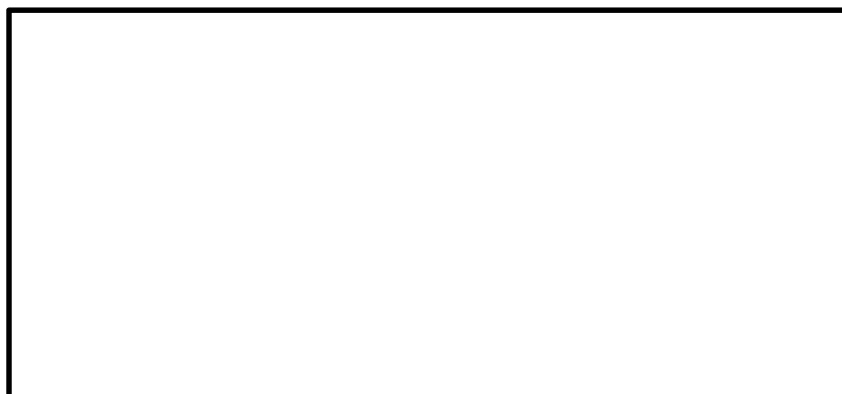
1次モード

2次モード

図 4-4 振動モード（設計基準対象施設）

表 4-10 固有周期（重大事故等対処設備）（水位 (m)）

| モード | 固有周期 (s) | 卓越方向 | 刺激係数 | |
|-----|----------------------|------|----------------------|---|
| | | | X | Z |
| 1次 | <input type="text"/> | 水平方向 | <input type="text"/> | |
| 2次 | | 水平方向 | | |
| 3次 | | 水平方向 | | |



1次モード

2次モード

3次モード

図 4-5 振動モード（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-11 及び表 4-12 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「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）

| 据付場所 及び 設置高さ | 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 | | 減衰定数 (%) | |
|--------------------|-------------|--------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------|----------|
| | 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 | 水平 方向 | 鉛直 方向 |
| 原子炉格納容器 | | 0.05 以下*3 | C_H =0.69 又は *4 | C_V =0.39 | C_H =0.82 又は *5 | C_V =0.75 | 0.5*6 | — |
| 原子炉本体基礎 | | | | | | | | |

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

*4：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*5：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*6：ベント管は配管に区分されるため、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所 及び 設置高さ | 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 | | 減衰定数 (%) | |
|--------------------|-------------|--------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------|----------|
| | 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 | 水平 方向 | 鉛直 方向 |
| 原子炉格納容器 | | 0.05 以下*3 | C_H =0.69 又は *4 | C_V =0.39 | C_H =0.82 又は *5 | C_V =0.75 | 0.5*6 | — |
| 原子炉本体基礎 | | | | | | | | |

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

*4：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*5：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*6：ベント管は配管に区分されるため，添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ベント管の応力評価点は、ベント管を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-13 及び図 4-6 に示す。

表 4-13 応力評価点

| 応力評価点番号 | 応力評価点 |
|---------|---------|
| P 1 | 上部 |
| P 2 | ブレーシング部 |

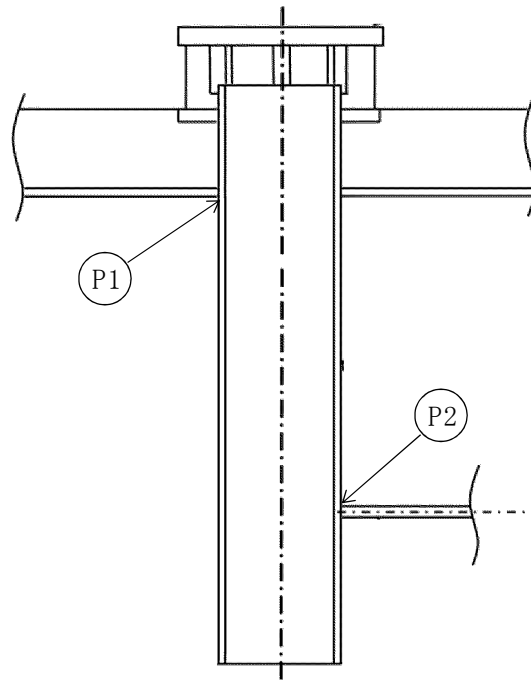


図 4-6 応力評価点

4.6.2 応力計算方法

応力計算方法について、以下に示す。

(1) ベント管に作用する荷重による応力

荷重によりベント管に生じる応力のうち、地震荷重以外の応力については、4.2.4 項に示す設計荷重に基づき算出されたベント管に生じる各荷重について、ベント管の形状及び主要寸法に基づく理論式により計算する。

ベント管に作用する地震荷重による応力は、図 4-3 に示すベント管の解析モデル、表 4-8 に示す機器諸元を用いて算出されたベント管に生じる地震荷重について、ベント管の形状及び主要寸法に基づく理論式により計算する。ベント管に生じる地震荷重は、表 4-11、表 4-12 に示す設計用地震力によりベント管に加わる設計震度を入力して算出する。

4.6.2.1 ベント管の断面性状

(1) 断面積

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \left\{ (D + 2 \cdot t)^2 - D^2 \right\} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(2) 断面係数

$$Z = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{\left\{ (D + 2 \cdot t)^4 - D^4 \right\}}{(D + 2 \cdot t) / 2} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

4.6.2.2 上部（応力評価点 P 1）

(1) 評価圧力による応力

評価圧力による軸方向応力

$$\sigma_l = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

(2) 死荷重による応力

死荷重による軸方向応力

$$\sigma_l = \frac{W}{A}$$

(3) 逃がし安全弁作動時荷重による応力

逃がし安全弁作動時荷重による曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

M : 逃がし安全弁作動時荷重によるモーメント = N・mm

(4) 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重による応力

冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重による曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

M : 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重によるモーメント

= N・mm

(5) 地震荷重による応力

鉛直地震荷重による軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{W}{A}$$

水平地震荷重による曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

W : 鉛直地震による荷重

= N (設計基準対象施設: S_d*)

= N (設計基準対象施設: S_s)

= N (重大事故等対処設備: S_d)

= N (重大事故等対処設備: S_s)

M : 水平地震によるモーメント

= N・mm (設計基準対象施設: S_d*)

= N・mm (設計基準対象施設: S_s)

= N・mm (重大事故等対処設備: S_d)

= N・mm (重大事故等対処設備: S_s)

4.6.2.3 ブレーシング部 (応力評価点 P 2)

(1) 評価圧力による応力

評価圧力による軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

(2) 死荷重による応力

死荷重による軸方向応力

$$\sigma \ell = \frac{W}{A}$$

(3) 逃がし安全弁作動時荷重による応力

逃がし安全弁作動時荷重による曲げ応力

$$\sigma b = \frac{M}{Z}$$

ここに、

M : 逃がし安全弁作動時荷重によるモーメント = N・mm

(4) 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重による応力

冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重による曲げ応力

$$\sigma b = \frac{M}{Z}$$

ここに、

M : 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重によるモーメント

= N・mm

(5) 地震荷重による応力

鉛直地震荷重による軸方向応力

$$\sigma \ell = \frac{W}{A}$$

水平地震荷重による曲げ応力

$$\sigma b = \frac{M}{Z}$$

ここに、

W : 鉛直地震による荷重

= N (設計基準対象施設: S_d*)

= N (設計基準対象施設: S_s)

= N (重大事故等対処設備: S_d)

= N (重大事故等対処設備: S_s)

M : 水平地震によるモーメント

= N・mm (設計基準対象施設: S_d*)

= N・mm (設計基準対象施設: S_s)

= N・mm (重大事故等対処設備: S_d)

= N・mm (重大事故等対処設備: S_s)

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の 4.2 項 荷重の組合せ及び許容限界及び 4.5 項 設計用地震力に示す。

4.8 応力の評価

4.6 項 計算方法で求めた応力は表 4-6 及び表 4-7 に記載される値以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ベント管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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅲ_AS に対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ の評価について記載している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | Ⅲ _A S | | 判定 | 備考 |
|--------|------|---------|---------|------------------|-----|----|----|
| | | | | 発生値 | 許容値 | | |
| | | | | MPa | MPa | | |
| ベント管 | P 1 | 上部 | 一次応力 | 101 | 229 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 120 | 458 | ○ | |
| | P 2 | ブレーシング部 | 一次応力 | 209 | 229 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 258 | 458 | ○ | |

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | IV _A S | | 判定 | 備考 |
|--------|------|---------|---------|-------------------|-----|----|----|
| | | | | 発生値 | 許容値 | | |
| | | | | MPa | MPa | | |
| ベント管 | P 1 | 上部 | 一次応力 | 139 | 380 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 196 | 458 | ○ | |
| | P 2 | ブレーシング部 | 一次応力 | 291 | 380 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 422 | 458 | ○ | |

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ の評価について記載している。

表 5-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | V_{AS} | | 判定 | 備考 |
|--------|------|---------|---------|----------|-----|----|----|
| | | | | 発生値 | 許容値 | | |
| | | | | MPa | MPa | | |
| ベント管 | P 1 | 上部 | 一次応力 | 150 | 380 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 190 | 458 | ○ | |
| | P 2 | ブレーシング部 | 一次応力 | 135 | 380 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 162 | 458 | ○ | |

表 5-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | V_{AS} | | 判定 | 備考 |
|--------|------|---------|---------|----------|-----|----|----|
| | | | | 発生値 | 許容値 | | |
| | | | | MPa | MPa | | |
| ベント管 | P 1 | 上部 | 一次応力 | 159 | 381 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 306 | 464 | ○ | |
| | P 2 | ブレーシング部 | 一次応力 | 138 | 381 | ○ | |
| | | | 一次+二次応力 | 264 | 464 | ○ | |