

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-991 改3
提出年月日	平成30年9月13日

V-3-9-2-1 ベント管の強度計算書

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	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 強度評価	7
4.1 強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	7
4.3 計算方法	12
4.4 計算条件	15
4.5 応力の評価	15
5. 評価結果	15

1. 概要

本計算書は、ベント管の強度計算書である。

ベント管は、設計基準対象施設のベント管を重大事故等クラス2管として兼用する機器である。

以下、重大事故等クラス2管として添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ベント管の強度評価について示す。

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。 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が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-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」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、供用状態Eにおける温度、圧力の条件により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを「4. 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。

ベント管の強度評価フローを図2-1に示す。

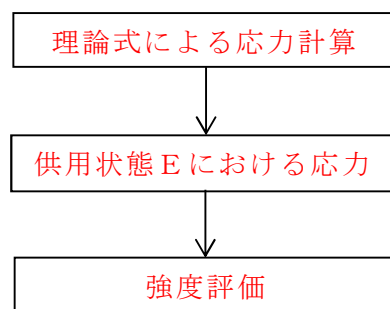


図2-1 ベント管の強度評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	構造物の厚さ	mm
C _D	ドラッグ係数	—
D	直径	mm
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/s ²
M	モーメント	N・mm
P	逃がし安全弁作動時荷重	MPa
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _{Dmax}	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 _{SA}	内圧	kPa
P _{0max}	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
T _{SA}	温度	°C
t	板厚	mm
V _{0max}	逃がし安全弁作動時最大気泡表面速度	m/s
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
σ _l	軸方向応力	MPa

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
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*1}
断面係数	mm ³	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。

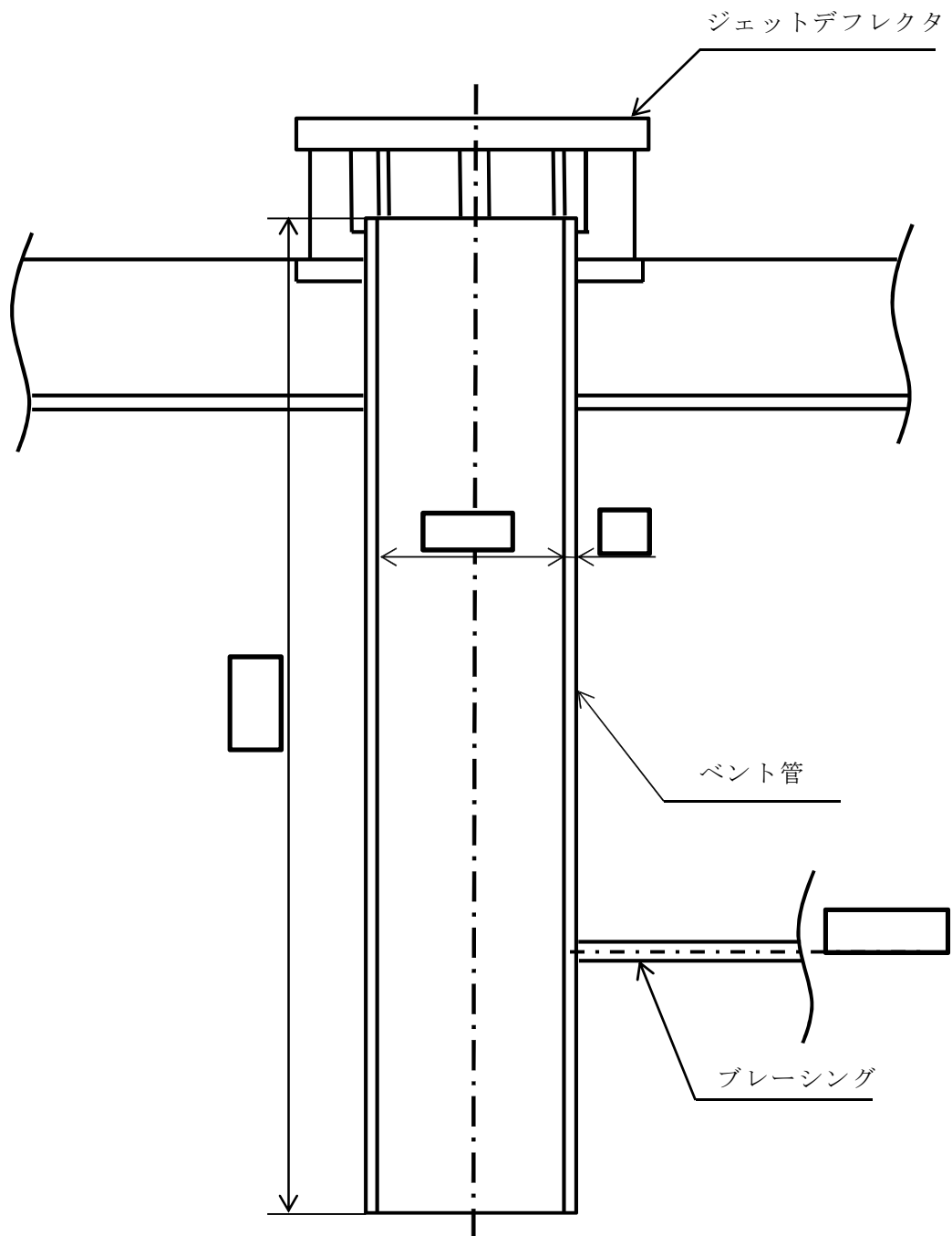


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法（単位：mm）

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. 強度評価

4.1 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自重、機械的荷重及び圧力荷重を用いて、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 荷重の組合せ及び供用状態

ベント管の荷重の組合せ及び供用状態の評価に用いるものを表 4-1 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 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ベント管の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。また、使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び供用状態

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
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	重大事故等クラス2管	$D + P_{SA} + M_{SA}^*$	E*

D : 死荷重

P_{SA} : 運転状態Vにおける圧力荷重

M_{SA} : 運転状態Vにおける機械荷重

注記 * : 供用状態Eとして、供用状態Dの許容限界を準用する。

表 4-2 許容限界

供用状態	一次応力
E*	$1.8 \cdot S$

注記 * : 供用状態Eとして、供用状態Dの許容限界を準用する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件

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	200	120	—	—	—

表4-4 許容応力

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	供用状態	許容応力
			一次応力
			1.8・S
SGV480	200	E	216

4.2.4 設計荷重

- (1) 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_{SA} 173 kPa温度 T_{SA} 200 °C

- (2) 死荷重

ベント管の自重

- (3) 水学的動荷重（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

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

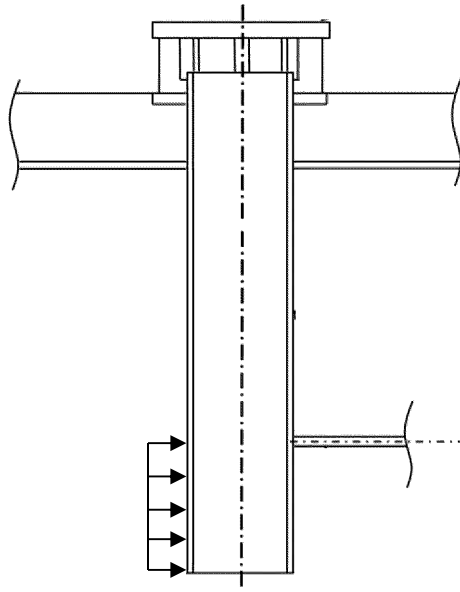


図 4-1 水力的動的荷重の作用方向
(逃がし安全弁作動時荷重)

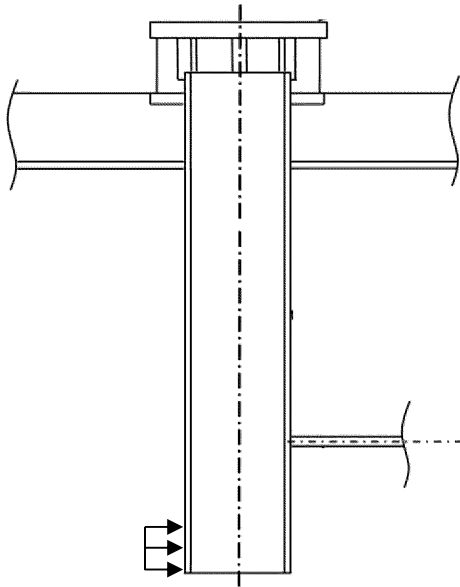


図 4-2 水力的動的荷重の作用方向
(冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重)

4.3 計算方法

4.3.1 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 4-5 及び図 4-3 に示す。

表 4-5 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

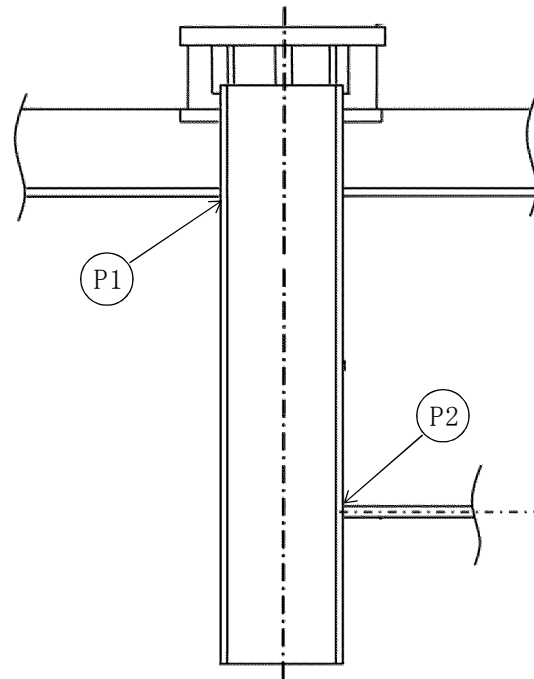


図 4-3 応力評価点

4.3.2 応力計算方法

ベント管に生じる応力は、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。

4.3.2.1 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

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

4.3.2.2 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

$$\sigma_{\ell} = \frac{P_{SA} \cdot D}{4 \cdot t} = 4 \text{ MPa}$$

- (2) 死荷重による応力

死荷重による軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{W}{A} = 2 \text{ MPa}$$

- (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

逃がし安全弁作動時は、原子炉圧力容器最大圧力時の動荷重による影響を考慮する。

$$\sigma_{\ell} = \frac{1.1 \cdot M}{Z} = 43 \text{ MPa}$$

ここに、

M：逃がし安全弁作動時荷重によるモーメント = $\boxed{}$ 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

$$\sigma_{\ell} = \frac{M}{Z} = 49 \text{ MPa}$$

ここに、

$$M : \text{冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重によるモーメント} \\ = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

4.3.2.3 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

$$\sigma_{\ell} = \frac{P_{SA} \cdot D}{4 \cdot t} = 4 \text{ MPa}$$

- (2) 死荷重による応力

死荷重による軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{W}{A} = 2 \text{ MPa}$$

- (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

逃がし安全弁作動時は、原子炉圧力容器最大圧力時の動荷重による影響を考慮する。

$$\sigma_{\ell} = \frac{1.1 \cdot M}{Z} = 85 \text{ MPa}$$

ここに、

$$M : \text{逃がし安全弁作動時荷重によるモーメント} = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- (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

$$\sigma_{\ell} = \frac{M}{Z} = 48 \text{ MPa}$$

ここに、

$$M : \text{冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重によるモーメント} \\ = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

4.4 計算条件

応力計算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に示す。

4.5 応力の評価

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

5. 評価結果

ベント管の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足している。

(1) 供用状態 E に対する評価

供用状態 E に対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 供用状態 E に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	一次応力	98	216	○	
	P 2	ブレーシング部	一次応力	139	216	○	