

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3
提出年月日	平成30年9月6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	3
2.4 記号の説明	4
3. 計算条件	5
3.1 形状及び主要寸法	5
3.2 解析範囲	6
3.3 材料	6
3.4 荷重の組合せ及び許容限界	6
4. 荷重条件	11
4.1 設計条件	11
5. 応力計算	17
5.1 応力評価点	17
5.2 応力解析の手順	18
5.2.1 応力解析の概要	18
5.2.2 荷重条件	18
5.2.3 応力計算方法	18
5.2.3.1 ベント管の上部とブレーシング部	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	22

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 レー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 フレクタを取付けた構造であ る。</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「3.2 解析範囲」にて設定する箇所において、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. 応力計算」に示す方法にて確認することで実施する。

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	構造物の厚さ	mm
C_D	ドラッグ係数	—
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/s^2
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_{Di}	最高使用圧力（内圧）	kPa
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_{SAL}	圧力（SA後長期内圧）	kPa
P_{SALL}	圧力（SA後長々期内圧）	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
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	—
Su	材料の設計引張強さ	MPa
Sy	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	°C
T_D	最高使用温度	°C
T_{SAL}	温度（SA後長期温度）	°C
T_{SALL}	温度（SA後長々期温度）	°C
V_{0max}	逃がし安全弁作動時最大気泡表面速度	m/s
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	—

3. 計算条件

3.1 形状及び主要寸法

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

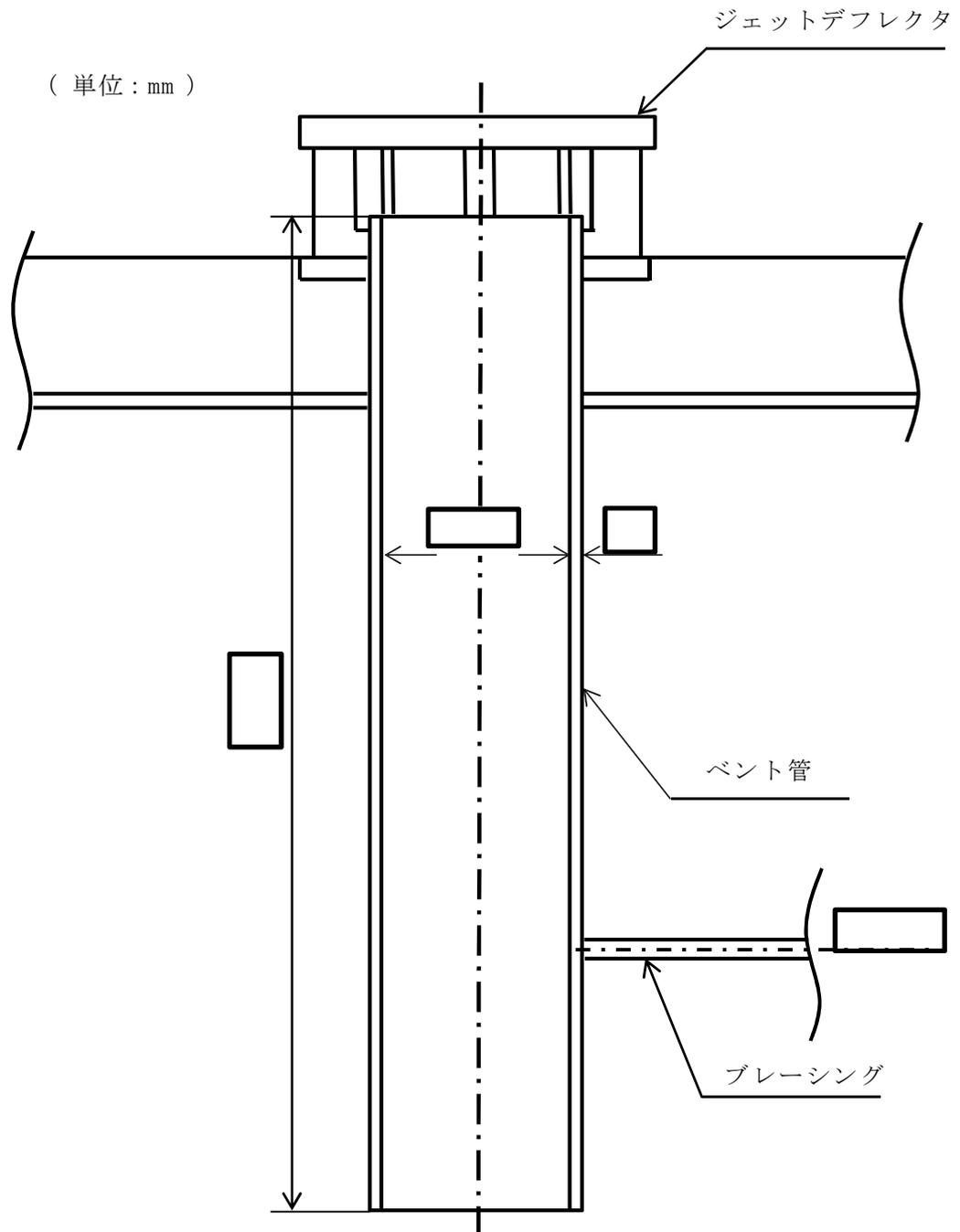


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

3.2 解析範囲

本計算書における評価部位は、「5.2.3 応力計算方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるベント管の上部及びブレーシング部について実施する。

3.3 材料

使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

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。

3.4 荷重の組合せ及び許容限界

地震荷重との組合せの評価として、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 3-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に、許容応力状態に対する許容限界について表 3-4 に示す。また、各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

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。

表 3-2 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

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

表3-3 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_{AS} (V_{AS} として V_{AS} の許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^*$	V_{AS} (V_{AS} として V_{AS} の許容限界を用いる。)

D : 死荷重

P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重

M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重

P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重

M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表3-4 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	$0.6 \cdot S_u$ *3	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 3-5 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3-6 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. 荷重条件

4.1 設計条件

- (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) 地震力による荷重

解析モデルによる固有値解析の結果を表 4-1, 図 4-1 及び表 4-2, 図 4-2 に示す。

減衰定数を添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」にて設定した減衰定数に基づき, 表 4-3 及び表 4-5 に示す。

ベント管の設計震度について, 水平方向については, 添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき, 作成した設計用床応答曲線を用いる(表 4-3 及び表 4-5)。また, 鉛直方向については表 4-4 及び表 4-6 に示す設計震度を用いる。表 4-3~表 4-6 に示す設計震度によりベント管に加わる荷重を解析コードMSC NASTRANを使用して解析する。解析モデルを図 4-3 に, 解析モデルの諸元を表 4-7 に示す。

- (5) 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,

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

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

- (6) 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

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

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）（水位 EL. 3.166 (m)）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			X	Z
1次		水平方向		
2次		水平方向		



1次モード

2次モード

図 4-1 振動モード（設計基準対象施設）

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）（水位 EL. 11.199 (m)）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			X	Z
1次		水平方向		
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 4-2 振動モード（重大事故等対処設備）

表 4-3 設計震度（設計用床応答曲線）（設計基準対象施設）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はNS方 向及びEW方向の 包絡曲線を用い る。
S_s	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はNS方 向及びEW方向の 包絡曲線を用い る。

注記 * : 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」に記載の管の減衰定数を用いる。

表 4-4 設計震度（設計基準対象施設）

機器	方向	S_d	S_s
ベント管	鉛直		

表 4-5 設計震度（設計用床応答曲線）（重大事故等対処設備）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はNS方 向及びEW方向の 包絡曲線を用い る。
S_s	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はNS方 向及びEW方向の 包絡曲線を用い る。

注記 * : 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」に記載の管の減衰定数を用いる。

表 4-6 設計震度（重大事故等対処設備）

機器	方向	S_d	S_s
ベント管	鉛直		

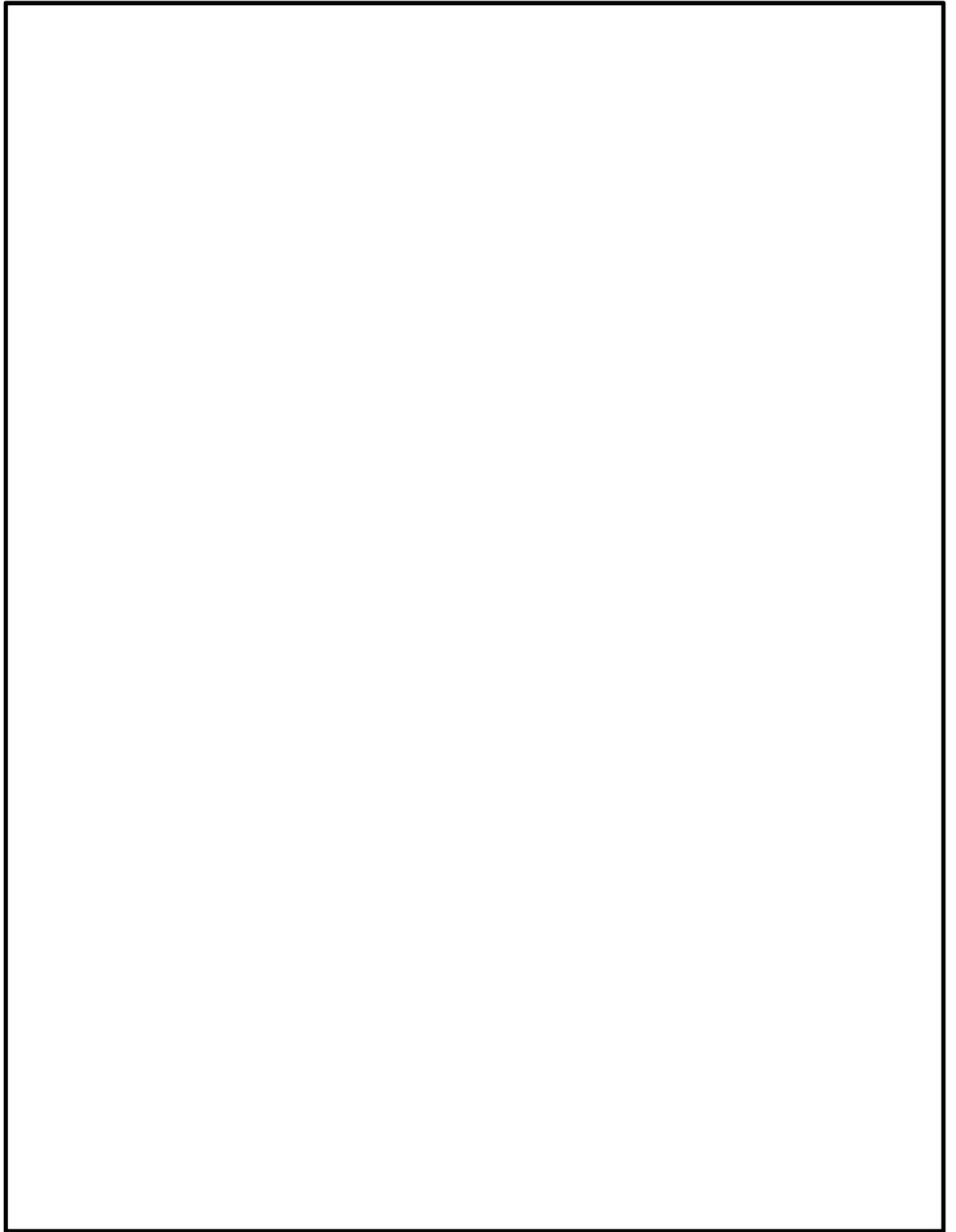


図 4-3 ベント管の解析モデル

表 4-7 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m ₀	kg	
水質量 (内部水+排除水)	m ₁	kg	2010 (設計基準対象施設) (水位EL. 3.166 (m)) 6610 (重大事故等対処設備) (水位 EL. 11.199 (m))
温度条件	T	℃	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	

5. 応力計算

5.1 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 5-1 及び図 4-3 に示す。

表 5-1 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

5.2 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

5.2.1 応力解析の概要

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、4.1項に示す設計条件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。地震荷重による応力評価には、三次元ビームモデルによる有限要素解析手法を適用する。

5.2.2 荷重条件

応力解析においては「4. 荷重条件」で示した荷重で計算を行う。

5.2.3 応力計算方法

5.2.3.1 ベント管の上部とブレーシング部

(1) ベント管に作用する荷重による応力

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を用いて算出する。解析モデルの諸元を表 4-7 に示す。地震荷重による応力は、「4.1(4) 地震力による荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN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。

6. 評価結果

6.1 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 6-1 に示す。

表 3-2 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 6-2 に示す。

表 3-2 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 6-1 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	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	101	229	○	
			一次＋二次応力強さ	120	458	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	209	229	○	
			一次＋二次応力強さ	258	458	○	

表 6-2 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	一次膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ	139	380	○	
			一次 + 二次応力強さ	196	458	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ	291	380	○	
			一次 + 二次応力強さ	422	458	○	

6.2 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 6-3 に示す。

表 3-3 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 6-3(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	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	150	380	○	
			一次＋二次応力強さ	190	458	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	135	380	○	
			一次＋二次応力強さ	162	458	○	

表 6-3(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	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	159	381	○	
			一次＋二次応力強さ	306	464	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	138	381	○	
			一次＋二次応力強さ	264	464	○	