

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2
提出年月日	平成30年8月23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. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容限界	12
5. 応力計算	16
5.1 応力評価点	16
5.2 解析方針	17
6. 評価結果	18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

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。その耐震評価はベント管の地震応答解析、応力評価により行う。

ベント管は設計基準対象施設においては既設の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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

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、下部には水平ブレースにて支持している。</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>ベント管</p> <p>ベント管詳細図</p> <p>ジェットデフレクタ</p> <p>ベント管</p> <p>ブレーシング</p>

2.2 評価方針

- (1) 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。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。
- (2) 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」に示す。

3. 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。

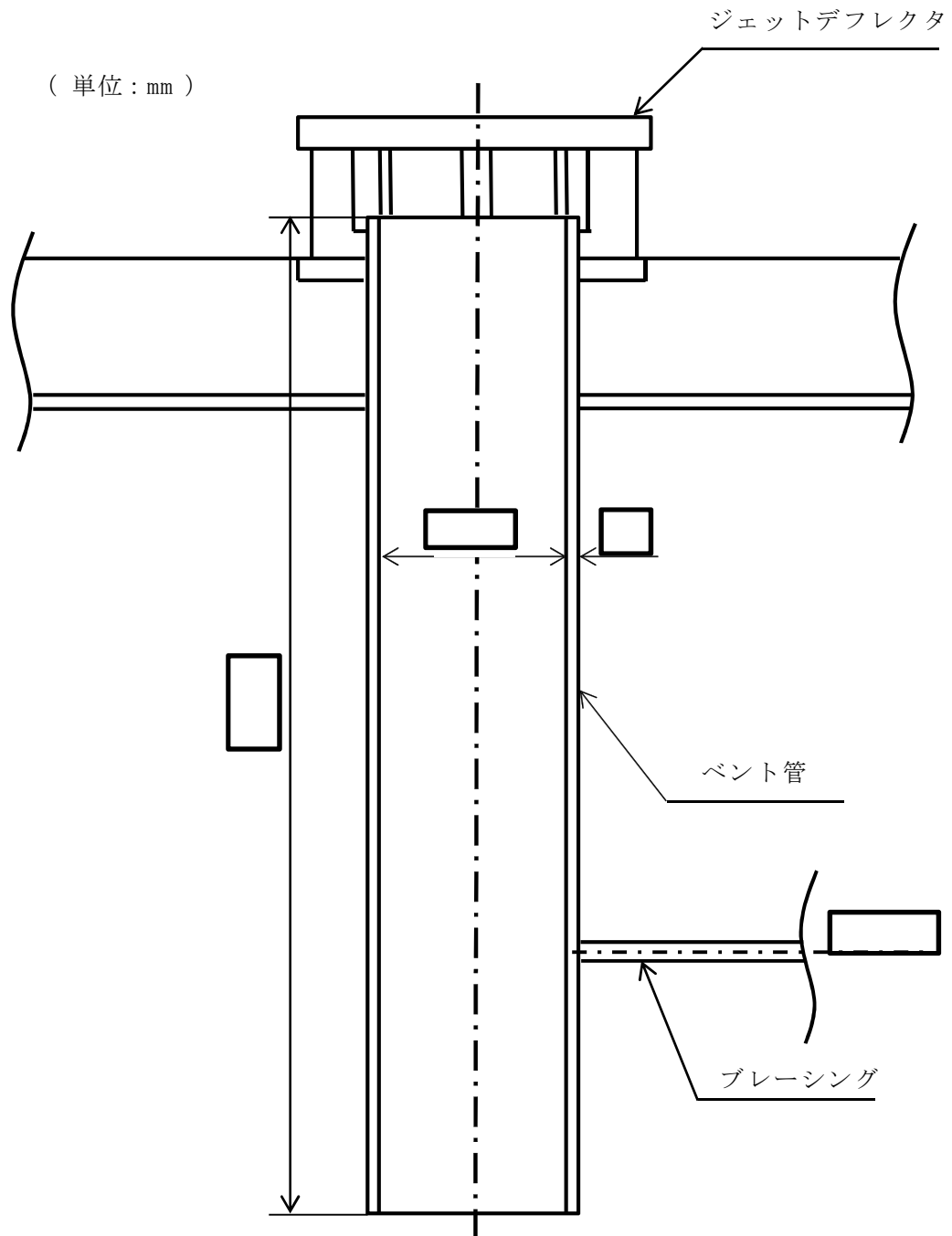


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 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_D 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。

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）表 4-3 及び表 4-5 を用いる。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、

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

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

 $P_{o\max}$: 最大気泡圧力 R_0 : 気泡半径 r_1 : 気泡中心と構造物前面までの距離 a : 構造物の厚さ $V_{o\max}$: 最大気泡表面速度 C_D : ドラッグ係数

γ : 比重量

g : 重力加速度

(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）

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		

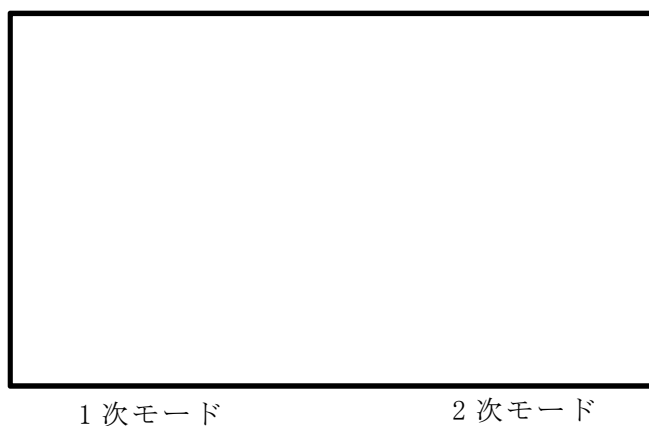


図 4-1 モード変形図（設計基準対象施設）

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

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		

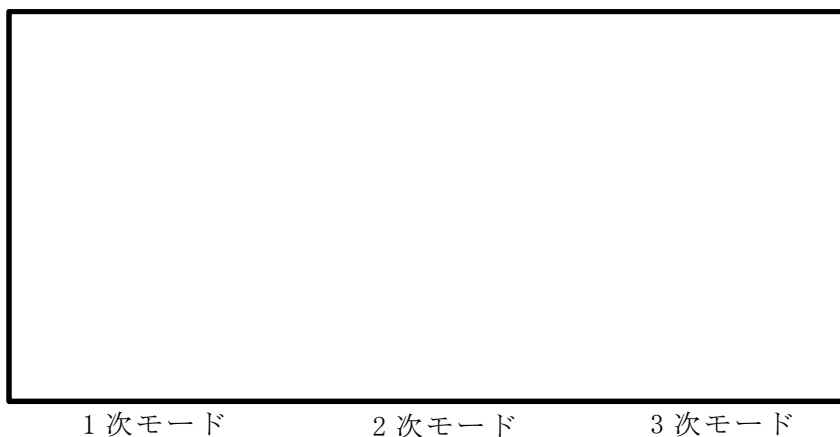


図 4-2 モード変形図（重大事故等対処設備）

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X方向 及びY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X方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。

注記 * : 保温材の無い配管のため

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X方向 及びY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X方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。

注記 * : 保温材の無い配管のため

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		

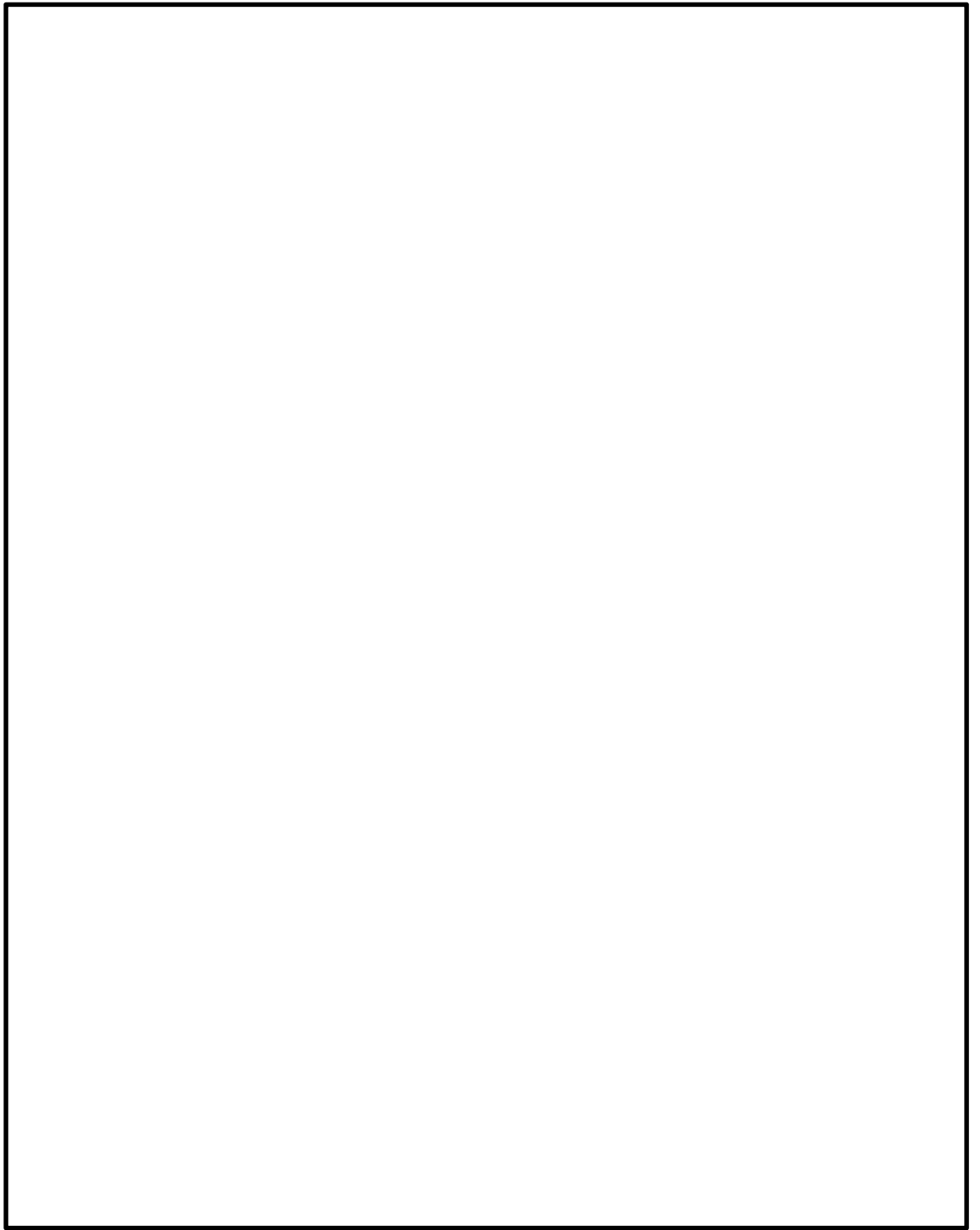


図 4-3 ベント管の解析モデル

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	
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.2 材料及び許容限界

(1) 材料

表 4-8 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。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う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 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に、許容応力状態に対する許容限界について表 4-11 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 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。

表 4-9 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4-10 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 I_{AS} の許 容限界を用い る。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^*$	V_{AS} (V_{AS} として I_{AS} 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／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4-11 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 4-12 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 *：5.1項に示す応力評価点は、構造または形状の不連続性を有する部分を抽出しており、当該部に発生する膜応力は一次局部膜応力に分類されることから、本計算書の評価では一次一般膜応力の評価は考慮しない。

表4-13 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 *：5.1項に示す応力評価点は、構造または形状の不連続性を有する部分を抽出しており、当該部に発生する膜応力は一次局部膜応力に分類されることから、本計算書の評価では一次一般膜応力の評価は考慮しない。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ベント管の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 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 解析方針

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。地震荷重によりベント管に生じる応力は、解析コードMSC NASTRANを使用して解析する。ベント管の解析モデルを図4-3に、解析モデルの諸元を表4-7に示す。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ベント管の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、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 6-1 に示す。

表 4-9 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。

(2) 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 6-2 に示す。

表 4-9 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。

表 6-1 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	評価基準値		
				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	○	

表 6-2 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	評価基準値		
				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	○	

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。発生値は評価基準値を満足しており、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 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				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	○	①*
			一次 + 二次応力強さ	306	464	○	①*
	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	○	①*
			一次 + 二次応力強さ	264	464	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。