

本資料のうち、枠囲みの内容は
商業機密の観点から公開できま
せん。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0158_改2
提出年月日	2021年10月26日

VI-3-3-6-2-5 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	適用規格・基準等	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応力	7
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2	許容応力	7
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4	設計荷重	10
4.3	計算方法	11
4.3.1	応力評価点	11
4.3.2	解析モデル及び諸元	12
4.3.3	応力計算方法	15
4.4	計算条件	15
4.5	応力の評価	15
5.	評価結果	16
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	16
6.	参照図書	18

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 容器として兼用する機器である。

以下、重大事故等クラス 2 容器として、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-3-1-5 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、ベント管の強度評価を示す。

なお、本計算書においては、重大事故等時における荷重に対して、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）（以下「既工認」という。）に示す手法に従い強度評価を行う。

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>ベント管は、ベントノズルを介してドライウェルに支持され、ベントヘッド及びダウンコマを支持する。</p> <p>鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ベント管は、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm 及び <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物である。</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
		<p style="text-align: center;">A-Aから見る</p>	<p style="text-align: center;">B部詳細</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">C部詳細</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
			(単位：mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-3-1-5 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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において重大事故等時における温度、圧力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「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。

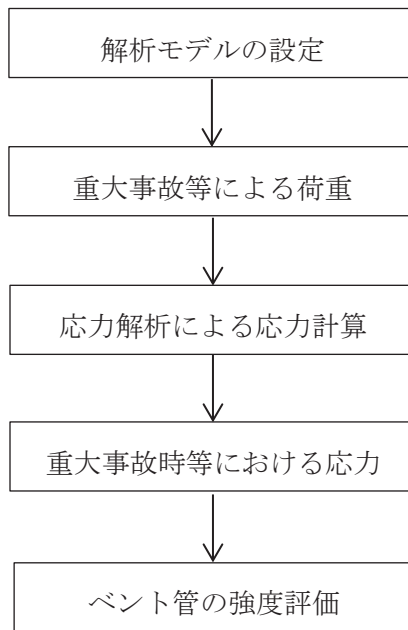


図 2-1 ベント管の強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2, 3$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
M_{SA}	機械的荷重 (SA 短期機械的荷重)	—
P_{SA}	圧力 (SA 短期圧力)	kPa
S	許容引張応力	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T	温度	°C
T_{SA}	温度 (SA 短期温度)	°C
ν	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字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

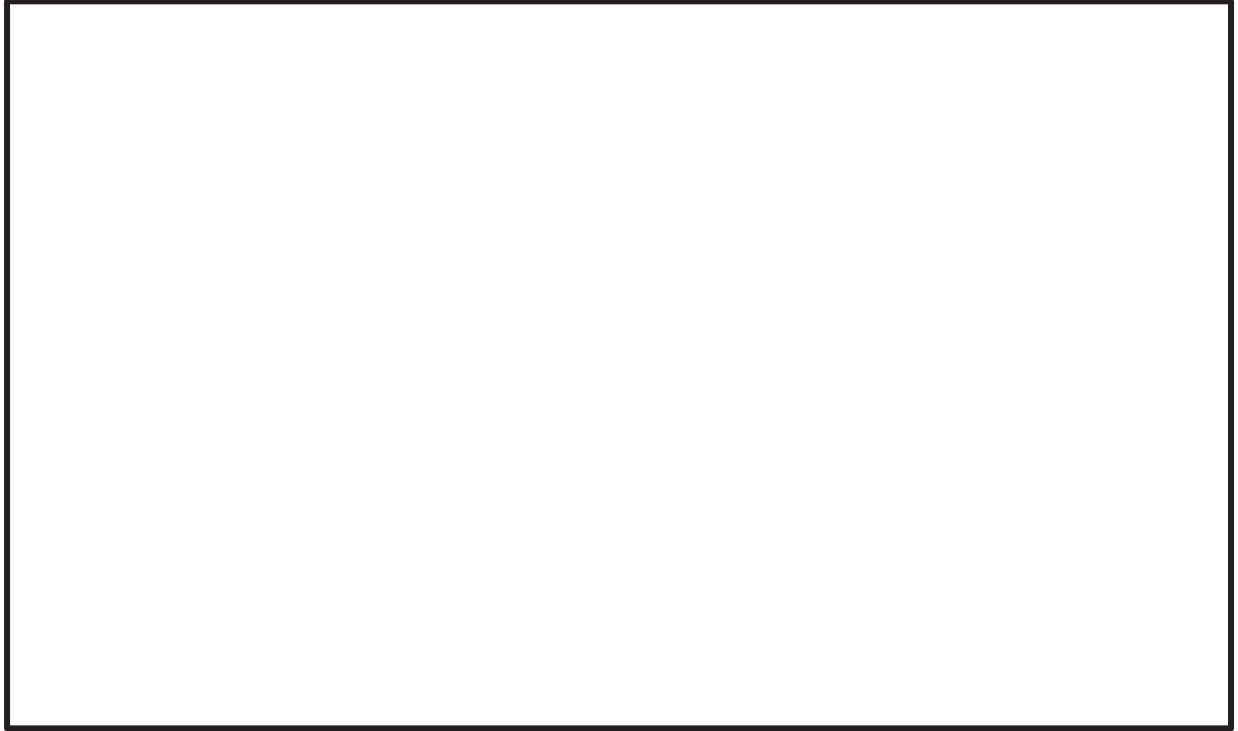
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位 ^{*2}
許容応力 ^{*1}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位

注記 1* : 告示第 5 0 1 号別表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 2 位を切り捨て、小数点以下第 1 位までの値として算出する。得られた値を SI 単位に換算し、SI 単位に換算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。

*2 : 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

3. 評価部位

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。また、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



- | | |
|---|---|
| ① ベント管 | ② ベントヘッド |
| ③ 真空破壊装置スリーブ | ④ 補強リブ |
| $D_1 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> | $D_2 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> |
| $t_1 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> | $t_2 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> |
| | $D_3 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> |
| | $t_3 =$ <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> |

(単位：mm)

図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
ベント管	SGV49
真空破壊装置スリーブ	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 強度評価

4.1 強度評価方法

(1) ベント管は、ベントノズルを介してドライウェルに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。

ベント管の強度評価として、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」において設定された荷重を用いて、「4.3 計算方法」に示す方法に従い強度評価を行う。

(2) 強度評価に用いる寸法は、公称値とする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

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うち、重大事故等対処設備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「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计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、組み合わ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 許容応力

ベント管の許容応力は、添付書類「VI-3-1-5 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」に基づき表 4-2 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ベント管の使用材料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。

表 4-1 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	機器等の区分	荷重の組合せ ^{*1}		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	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	(V(S)-1) (V(S)-2) ^{*2}	重大事故等時 ^{*3}

注記*1：() 内は添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：逃がし安全弁作動時荷重はベント管に作用しないことからV(S)-1の荷重の組合せに包絡されるため、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*3：重大事故等時としてIV_Aの許容限界を用いる。

表4-2 許容応力（第2種容器）

応力分類	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
許容応力状態		
重大事故等時 [*]	運転状態IVの許容応力である $2/3 \cdot S_u$ とする。ただし、ASS及びHNAについては、 $2.4 \cdot S$ と $2/3 \cdot S_u$ の小さい方とする。	左欄の 1.5倍の値

注記*：重大事故時としてIV_Aの許容限界を用いる。

表4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ベント管	SGV49	周囲環境温度	200	—	—	421	—

4.2.4 設計荷重

(1) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。

内圧 P_{SA} 854kPa (SA 短期)

温度 T_{SA} 200℃ (SA 短期)

b. 死荷重

ベント管，ベントヘッド，ダウンカメラ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 水力的動的荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は N となり，設計基準対象施設としての荷重に包絡されるため，以下のとおりとする。

横方向荷重 N

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

ベント管の応力評価点を表 4-4 及び図 4-1 に示す。各応力評価点の応力は、図 4-2 に示す解析モデルを用いて計算する。

表 4-4 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ベント管（一般部）
P2*	ベント管（一般部以外）
P3	真空破壊装置スリーブ

注記*：既工認の応力評価点 P1～P10 を包絡する。ベント管頂部，ベント管底部，ベント管ティー継手部，ベント管とベントヘッダの接続部，ベント管と真空破壊装置の接続部及びベント管と補強リブの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。



図 4-1 ベント管の応力評価点

4.3.2 解析モデル及び諸元

ベント管の解析モデルを図 4-2 に、機器の諸元を表 4-5 に示す。

解析モデルの概要を以下に示す。

(1) ベント管、ベントヘッド及びダウンカマは、その径に対して板厚が比較的薄く、また、各機器の挙動が相互に影響し合うことを考慮し、各部位の発生応力を詳細にみるため、ベント系全体をシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。また、各所の補強部材のうち、ベント管ガセット、ベントヘッドリング及びダウンカマリング等の板材はシェル要素によりモデル化し、筋交い、下部支持サポート及びベントヘッドサポート等の棒材は、はり要素によりモデル化する。

(2) 拘束条件は、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ強め輪の結合部の
[redacted]
[redacted] なお、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ強め輪は [redacted] また、ベント管とドライウエルの結合部の [redacted]
[redacted] 各結合部のばね定数は、結合部の形状に応じて算出する。
算出したばね定数を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

(3) 解析コードは「ANSYS」を使用する。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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

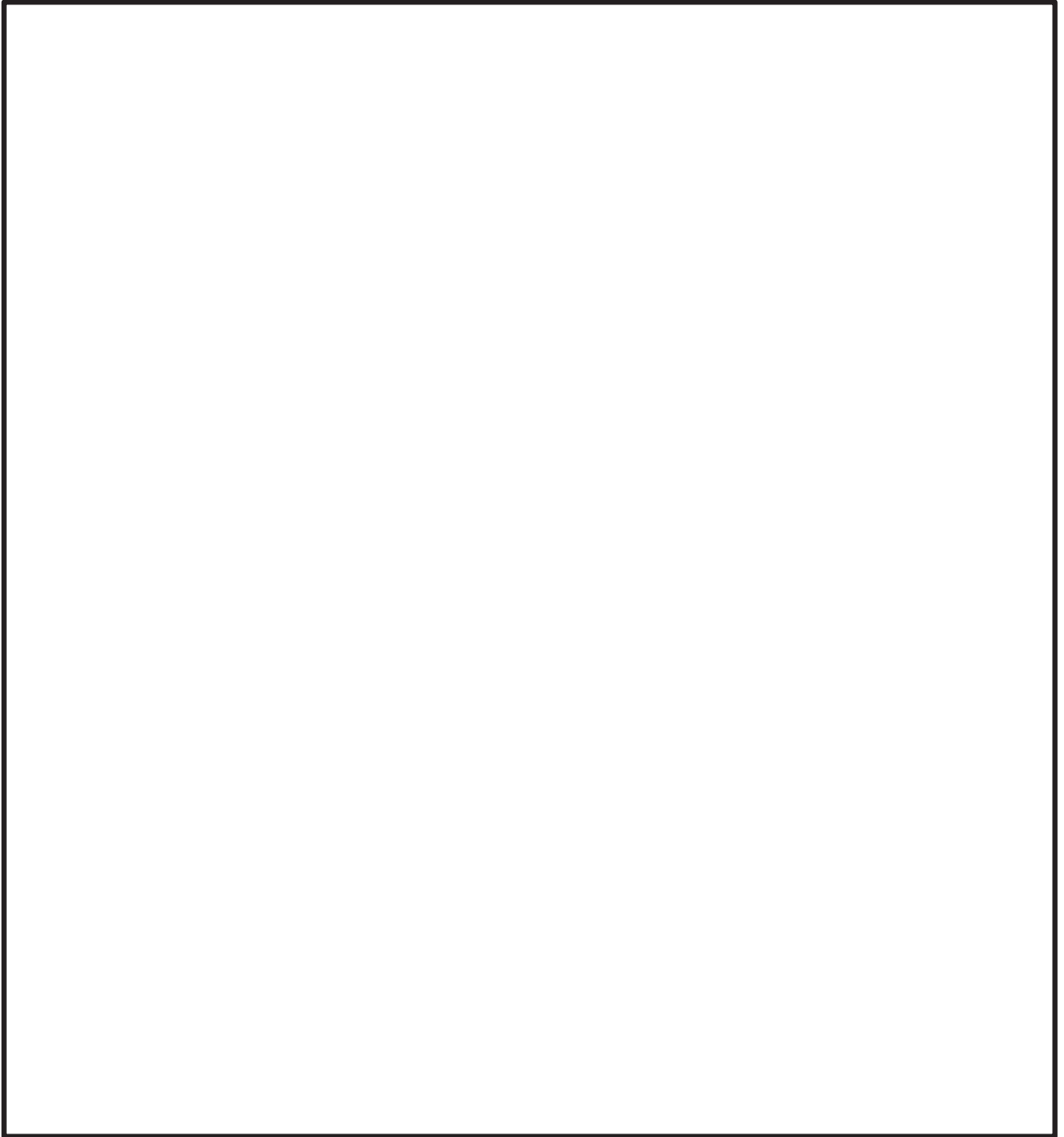


図 4-2 解析モデル

表 4-5 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49
機器質量 ^{*1}	—	kg	
温度条件 ^{*2}	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記*1：解析モデルでは質量密度として考慮する。

*2：ドライウエルの通常運転時温度と評価温度の平均値を示す。

表 4-6 結合部のばね定数（ベントノズル）

	半径 (R) 方向 並進ばね定数 (N/mm)	周 (θ) 方向周り 回転ばね定数 (N・mm/rad)	鉛直 (Z) 方向周り 回転ばね定数 (N・mm/rad)
重大事故等対処設備			

表 4-7 結合部のばね定数（ベントヘッダサポート）

	位置	各軸方向並進ばね定数 (N/mm)			各軸周り回転ばね定数 (N・mm/rad)	
		R	Z	θ	R	Z
重大事故等 対処設備	下部内側					
	下部外側					
	上部内側					
	上部外側					

4.3.3 応力計算方法

ベント管の応力計算方法について以下に示す。

(1) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備における応力は、応力評価点 P1～P3 に対し、「4.3.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより算出し評価する。

4.4 計算条件

応力評価に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す。

4.5 応力の評価

「4.3 計算方法」で求めた各応力が、表 4-2 に示す許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 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時の状態を考慮した場合の強度評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足している。

(1) 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次応力一般膜応力	100	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	100	421	○	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜応力+一次曲げ応力	185	421	○	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜応力+一次曲げ応力	71	421	○	

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-14 ベント管の強度計算書」