

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-20-0157_改0
提出年月日	2021年8月27日

VI-3-3-6-2-3 ベントヘッダの強度計算書

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	10
4.1	強度評価方法	10
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2	許容応力	10
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
4.2.4	設計荷重	16
4.3	計算方法	17
4.3.1	応力評価点	17
4.3.2	解析モデル及び諸元	19
4.3.3	応力計算方法	22
4.4	計算条件	22
4.5	応力の評価	22
5.	評価結果	23
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	23
6.	参照図書	26

1. 概要

本計算書は、ベントヘッダの強度計算書である。

ベントヘッダは、設計基準対象施設のベントヘッダを重大事故等クラス 2 容器として兼用する機器である。

ベントヘッダは重大事故等クラス 2 容器（クラス 2 容器）であるが、重大事故等時の原子炉格納容器に生じる動荷重を考慮した原子炉格納容器の機能維持を確認する目的で、重大事故等クラス 2 容器（原子炉格納容器）に準じた強度評価を行う。

以下、重大事故等クラス 2 容器として、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計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、ベントヘッダの強度評価を示す。

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

ベントヘッダの構造計画を表 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>ベントヘッドはサブレーションチャンバ内に設置され、ベント管及びベントノズルを介してドライウエルに支持される。鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ベント管、ベントノズル及びドライウエルを介して原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物を円環状に16本接合した構造物である。各接合部近傍にベントヘッドサポートを備える。</p>	

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

ベントヘッダの応力評価は、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」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。

ベントヘッダの強度評価フローを図 2-1 に示す。

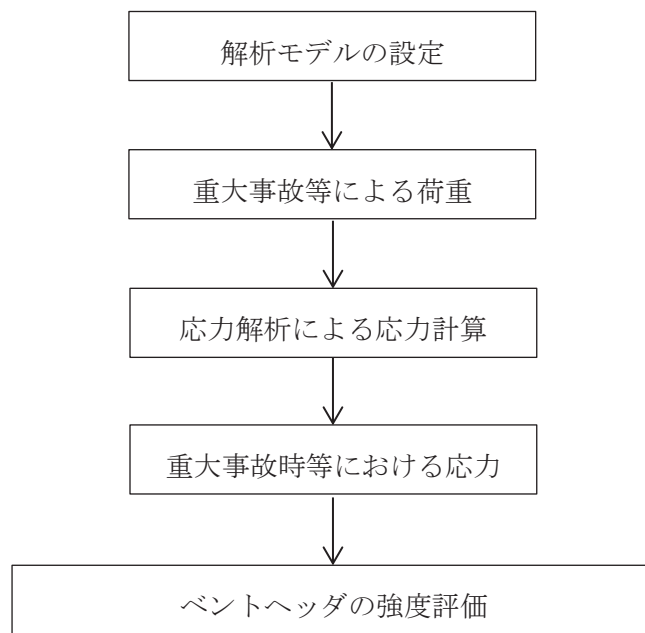


図 2-1 ベントヘッダの強度評価フロー

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 501 号）（以下「告示第 501 号」という。）
- (2) 鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
f_b	許容曲げ応力度	MPa
f_c	許容圧縮応力度	MPa
f_p	許容支圧応力度	MPa
f_s	許容せん断応力度	MPa
f_t	許容引張応力度	MPa
E	縦弾性係数	MPa
F	許容応力度の基準値	MPa
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	曲げモーメント	N・mm
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
P	圧力, 軸力	kPa, N
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 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	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

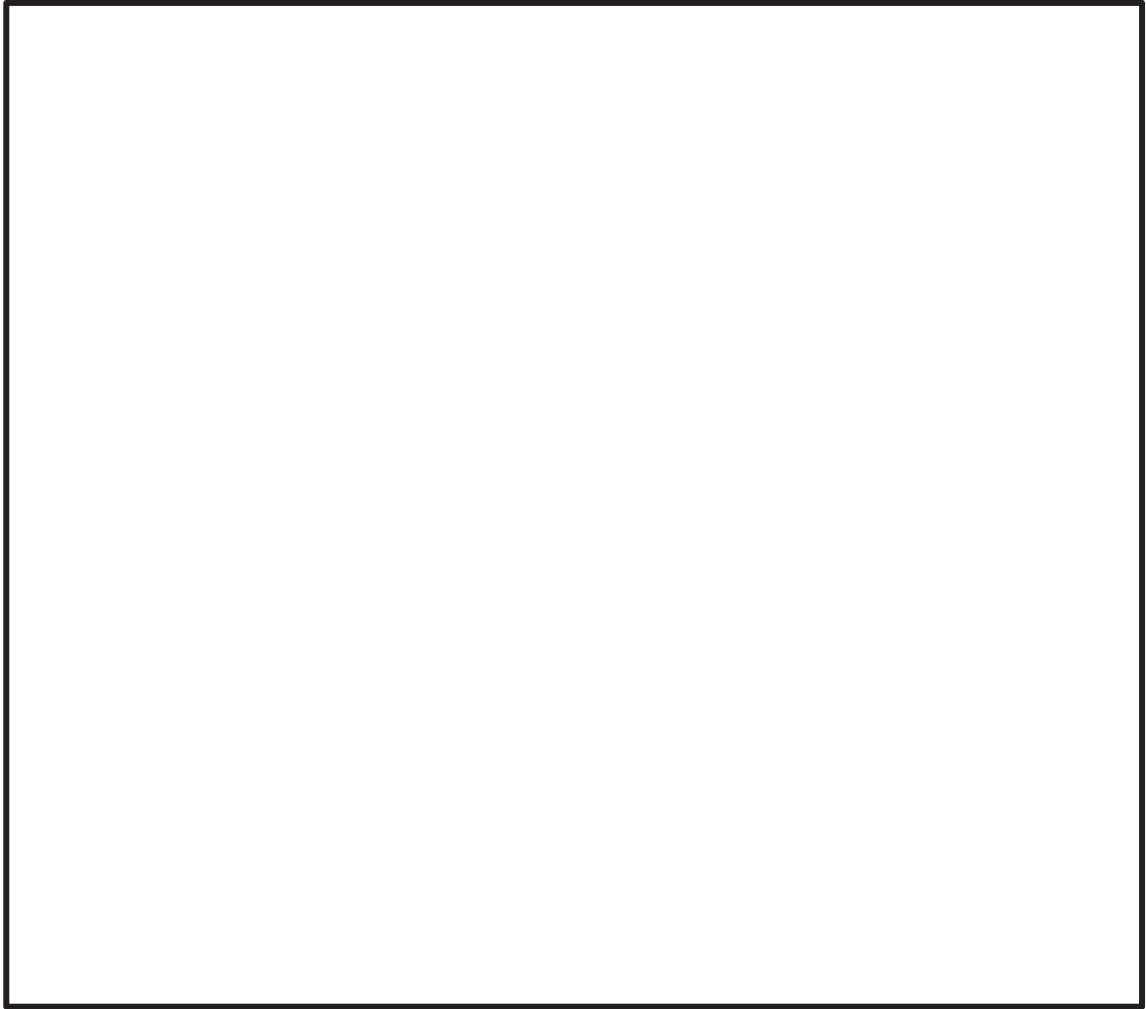
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位 ^{*2}
許容応力 ^{*1}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}

注記*1：告示第501号別表に記載された温度の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

ベントヘッダの形状及び主要寸法を図 3-1～図 3-3 に示す。また、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



$D_1 =$

$t_1 =$

$l_1 =$
 $l_2 =$
 $l_3 =$

(単位：mm)

図 3-1 ベントヘッダの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

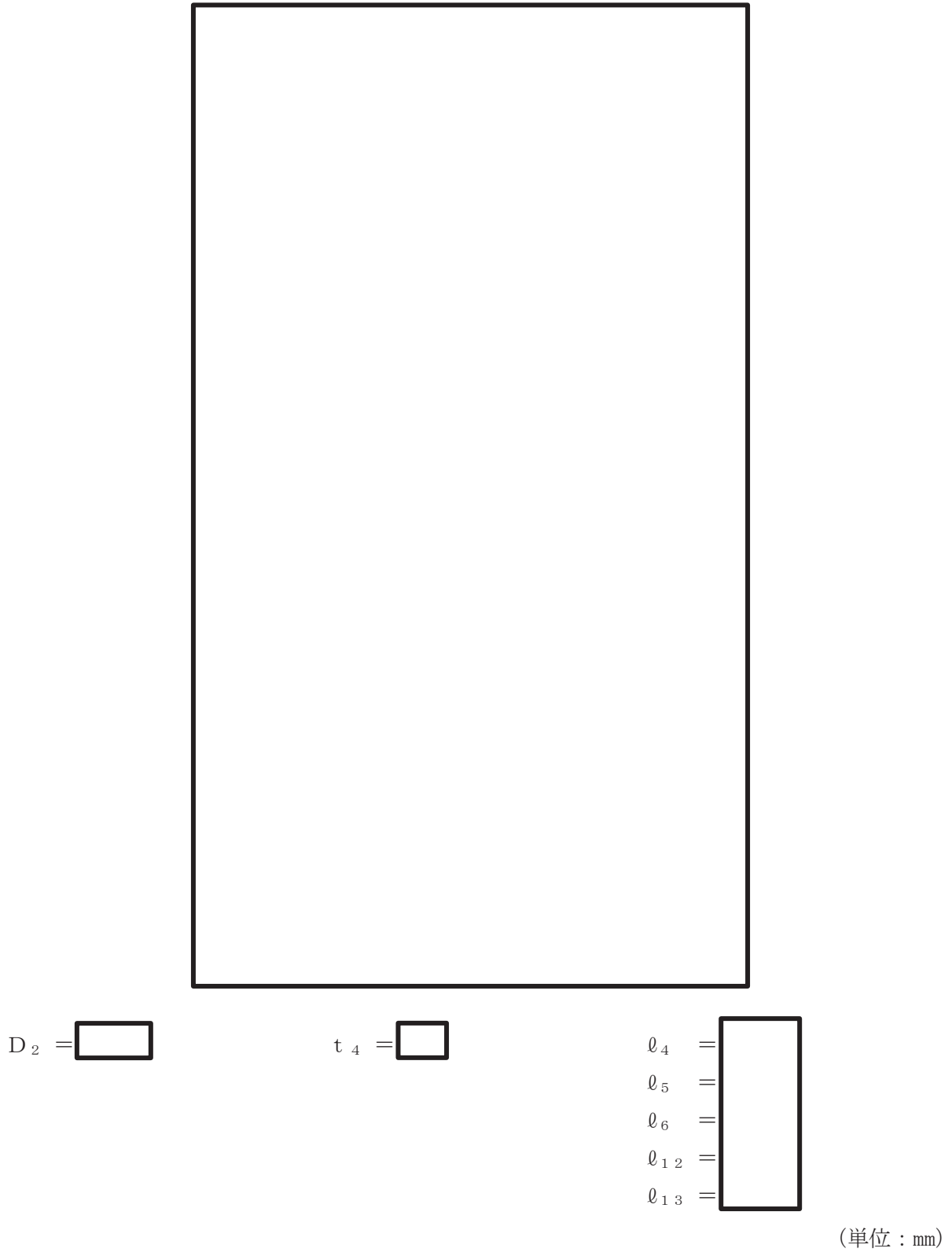
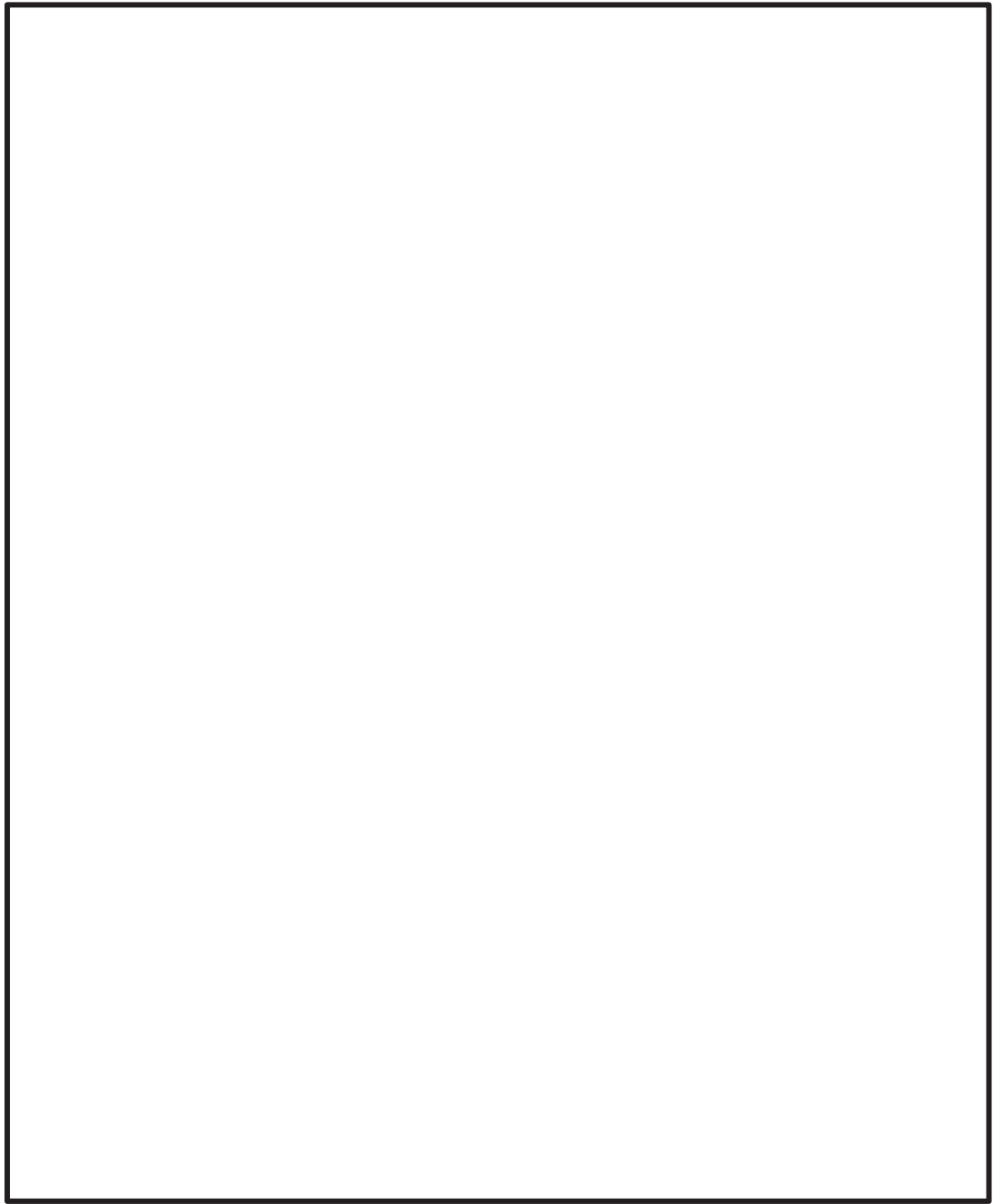


図 3-2 ベントヘッダサポートの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



$D_3 =$
 $D_4 =$
 $D_5 =$
 $D_6 =$

$t_2 =$
 $t_3 =$

$l_7 =$
 $l_8 =$
 $l_9 =$
 $l_{10} =$
 $l_{11} =$
 $l_{14} =$

(単位：mm)

図 3-3 ベントヘッダサポートのピン及びエンドプレートの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料
ベントヘッダ	SGV49
ベントヘッダサポート（下側）	
ベントヘッダサポート（上側）	
ピン（下側）	
ピン（上側）	
エンドプレート（下側）	
エンドプレート（上側）	

4. 強度評価

4.1 強度評価方法

(1) ベントヘッドは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管及び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ベント管、ベントノズル及びドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。

ベントヘッドの強度評価として、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

ベントヘッド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

ベントヘッドの許容応力は、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。

なお、ベントヘッドのうち、ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの許容応力度を表 4-3 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

ベントヘッド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 4-4 及び表 4-5 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 ^{*3}
原子炉格納施設	ベントヘッダ ベントヘッダサポルト、ピン及びエントドプレート	重大事故等クラス2容器 建物・構築物	D + P _{SA} + M _{SA}	(V(S)-1) (V(S)-2) ^{*2}	重大事故等時 ^{*4}
			D + P _{SA} + M _{SA}	(V(S)-1) (V(S)-2) ^{*2}	重大事故等時 ^{*5} <短期>

注記*1：（ ）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ヘッダ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：ベントヘッダは重大事故等クラス2容器（クラス2容器）であるが、重大事故等時の原子炉格納容器に生じる動荷重を考慮した原子炉格納容器の機能維持を確認する目的で、重大事故等クラス2容器（原子炉格納容器）に準じた許容応力状態及び荷重の組合せを適用する。

*4：重大事故等時としてIV_Aの許容限界を用いる。

*5：鋼構造設計規準によるため、<>内の許容応力状態を適用する。

表4-2 ベントヘッドの許容応力 (第2種容器)

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

注記*：重大事故等時としてⅣ_Aの許容限界を用いる。

表4-3 ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの特容応力度

許容応力状態	引張／ 組合せ	せん断	圧縮	曲げ	支圧
短期	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境 温度	200				
ベントヘッド	SGV49		200	—	—	421	—

表 4-5 ベントヘッドダサポート、ピン及びエンドプレートの使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	F (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ベントヘッドダサポート				
ピン				
エンドプレート				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、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)

(2) 水力的動荷重

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

(3) ベントヘッダサポート反力

重大事故等対処設備としての評価における、ベントヘッダサポート反力を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-6 ベントヘッダサポート（下側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
内圧 (SA 短期)	2.382	0.2221
ベント系死荷重 (SA 短期)	-0.2939	0.03882
チャギング荷重 (SA 短期)	±0.07228	2.997

注記*：正符号は引張、負符号は圧縮荷重とする。

表 4-7 ベントヘッダサポート（上側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
内圧 (SA 短期)	-2.069	1.941
ベント系死荷重 (SA 短期)	0.2439	0.1496
チャギング荷重 (SA 短期)	±0.06139	15.57

注記*：正符号は引張、負符号は圧縮荷重とする。

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

ベントヘッドの応力評価点を表 4-8 及び図 4-1 に示す。応力評価点 P1 及び P2 の応力は、図 4-2 に示す解析モデルを用いて計算する。応力評価点 P3～P8 の応力は、ベントヘッドサポートを構成する部材の形状及び応力レベルを考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。

表 4-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ベントヘッド（一般部）
P2 [*]	ベントヘッド（一般部以外）
P3	ベントヘッドサポート（下側）
P4	ピン（下側）
P5	エンドプレート（下側）
P6	ベントヘッドサポート（上側）
P7	ピン（上側）
P8	エンドプレート（上側）

注記*：既工認（参照図書（1））の応力評価点 P2～P5 を包絡する。ベントヘッドとダウンカマの接続部、ベントヘッドとベントヘッドサポートリングの接続部及びベントヘッドとベントヘッドリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

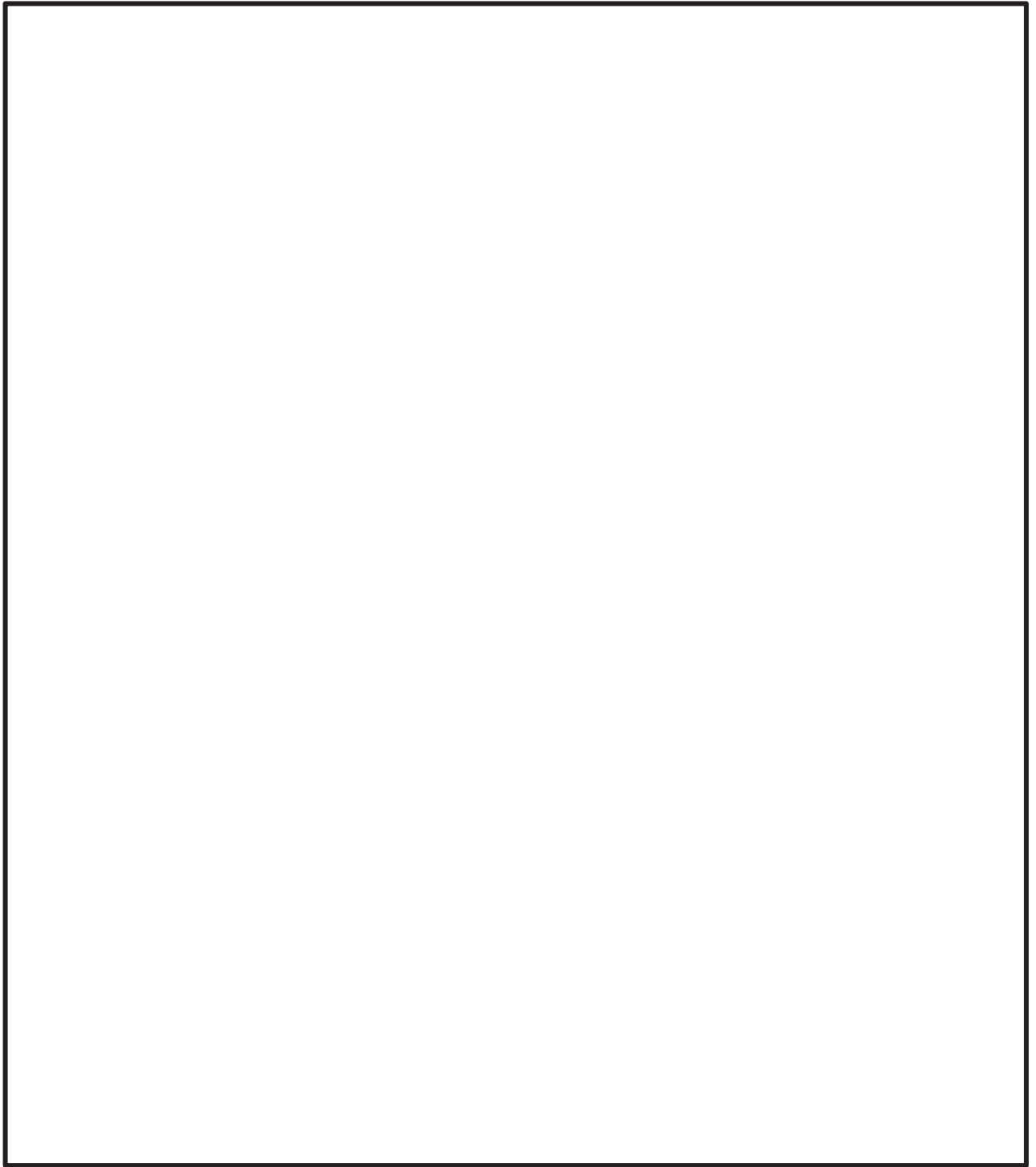


図 4-1 ベントヘッダ及びベントヘッダサポートの応力評価点

4.3.2 解析モデル及び諸元

ベントヘッドの解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-9 に示す。

- a. 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。
- b. 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]
[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ェルの結合部の [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。
- c. 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。

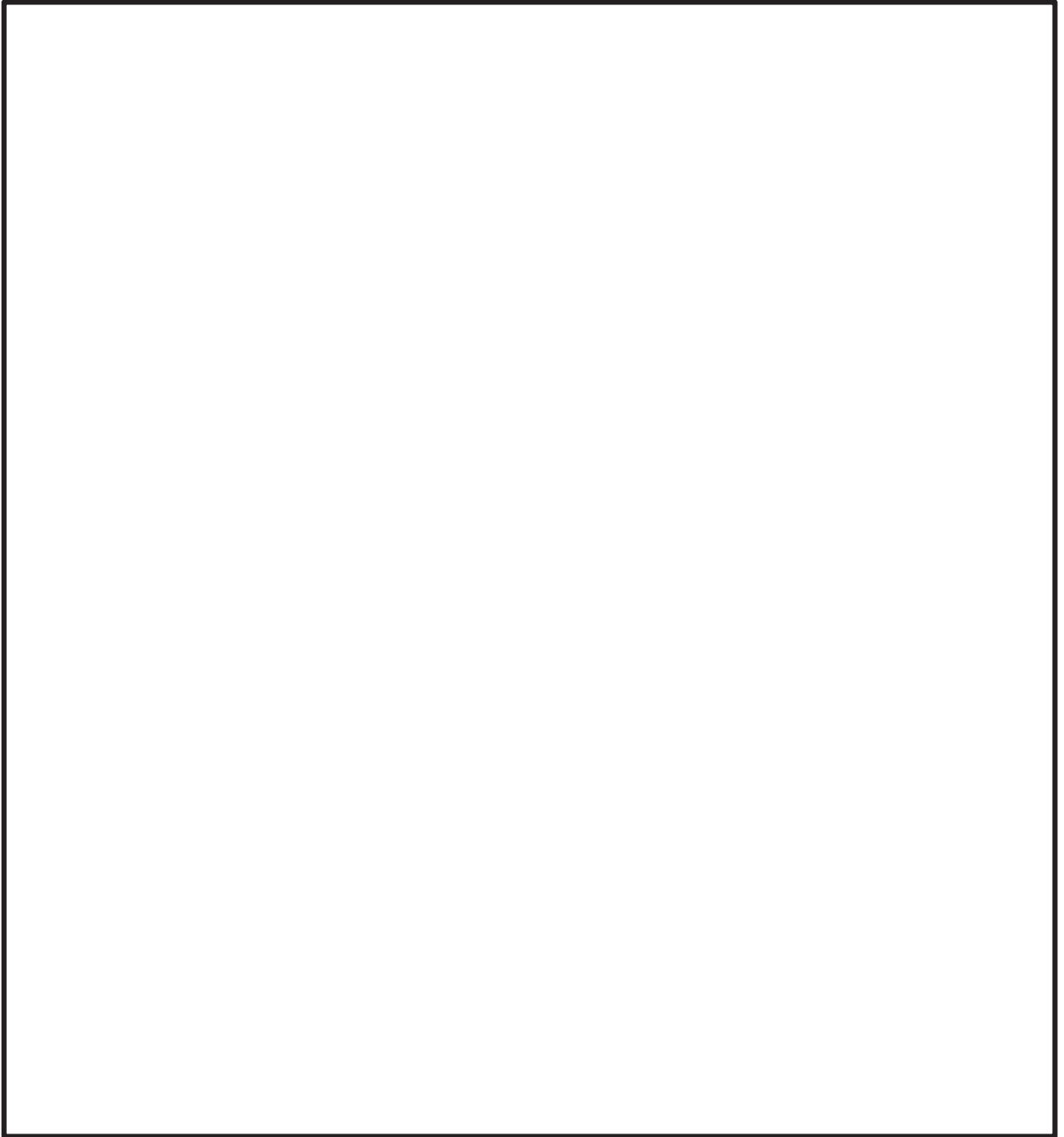


図 4-2 解析モデル

表 4-9 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49
機器質量	—	kg	
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

4.3.3 応力計算方法

ベントヘッド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としての応力評価の概要を以下に示す。

a. 応力評価点 P1 及び P2

応力評価点 P1 及び P2 の応力は、「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。

b. 応力評価点 P3～P4

応力評価点 P3～P4 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッドサポート（下側）、ピン（下側）及びエンドプレート（下側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-2 及び図 3-3 に示す寸法とする。

c. 応力評価点 P5～P8

応力評価点 P5～P8 の応力計算方法は、応力評価点 P3～P4 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッドサポート（上側）、ピン（上側）及びエンドプレート（上側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-2 及び図 3-3 に示す寸法とする。

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 及び表 4-3 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

ベントヘッド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 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 ベントヘッドの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 MPa	許容応力 MPa		
ベント ヘッド	P1 ベントヘッド (一般部)	一次一般膜応力	94	281	○	
		一次膜応力 + 一次曲げ応力	94	421	○	
	P2 ベントヘッド (一般部以外)	一次膜応力 + 一次曲げ応力	167	421	○	

表 5-2 ベントヘッドサポートの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 ヘッド	P3	ベントヘッドサポート (下側)	組合せ応力度	50	[REDACTED]	○	
	P4	ピン (下側)	組合せ応力度	93		○	
	P5	エンドプレート (下側)	組合せ応力度	110		○	
	P6	ベントヘッドサポート (上側)	組合せ応力度	50		○	
	P7	ピン (上側)	組合せ応力度	81		○	
	P8	エンドプレート (上側)	組合せ応力度	110		○	

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-3-1-3-4 ベントヘッドの強度計算書」