

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-19-0179_改2
提出年月日	2021年10月5日

VI-2-9-4-1 ダウンカマ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. 地震応答解析及び構造強度評価	11
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.2.4 設計荷重	20
4.3 解析モデル及び諸元	23
4.4 固有周期	23
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	24
4.6.1 応力評価点	24
4.6.2 応力計算方法	27
4.7 計算条件	28
4.8 応力の評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	37
6. 参照図書	45

1. 概要

本計算書は、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-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ダウンカマ及びベントヘッダ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。

ダウンカマ及びベントヘッダは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるダウンカマ及びベントヘッダの評価は、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)及び(2)）による。（以下「既工認」という。）

2. 一般事項

2.1 構造計画

ダウンカマ及び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>ダウンカマ及びベントヘッドは、サブレー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エルに支持される。ベントヘッドサポートはピン接合によりサブレーションチェンバ強め輪に支持される。</p> <p>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れる。</p>	<p>ダウンカマは、外径 \square mm、板厚 \square mm の鋼製管状構造物であり、ベントヘッドに接続する。</p> <p>ベントヘッドは、内径 \square mm、板厚 \square 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。各接合部近傍にはベントヘッドサポートを備える。</p>	<p>ドライウエル</p> <p>ベント管</p> <p>ベントヘッド</p> <p>サポート</p> <p>サブレーションチェンバ</p> <p>← B ← B ← C部詳細</p> <p>← A ← A ← D部詳細</p> <p>B-Bから見る</p> <p>サブレーションチェンバ (単位：mm)</p> <p>D部詳細</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

ダウンカマ及び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-2-1-9 機能維持の基本方針」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作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」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。

ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

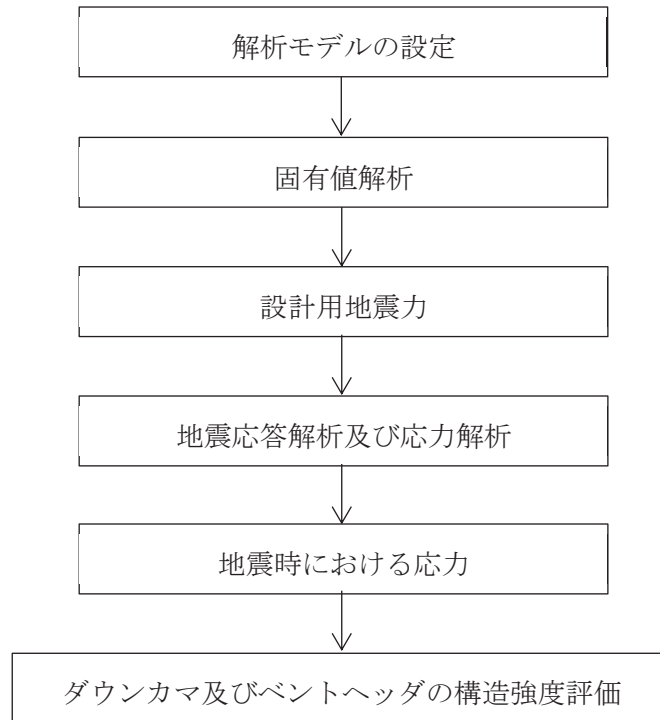


図 2-1 ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) 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
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
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
F	許容応力度の基準値	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力, 軸力	—, N
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
S	許容引張応力	MPa
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静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40℃における設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T	温度	℃

記号	記号の説明	単位
T _{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T _{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
ν	ポアソン比	—
A S S	オーステナイト系ステンレス鋼	—
H N A	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

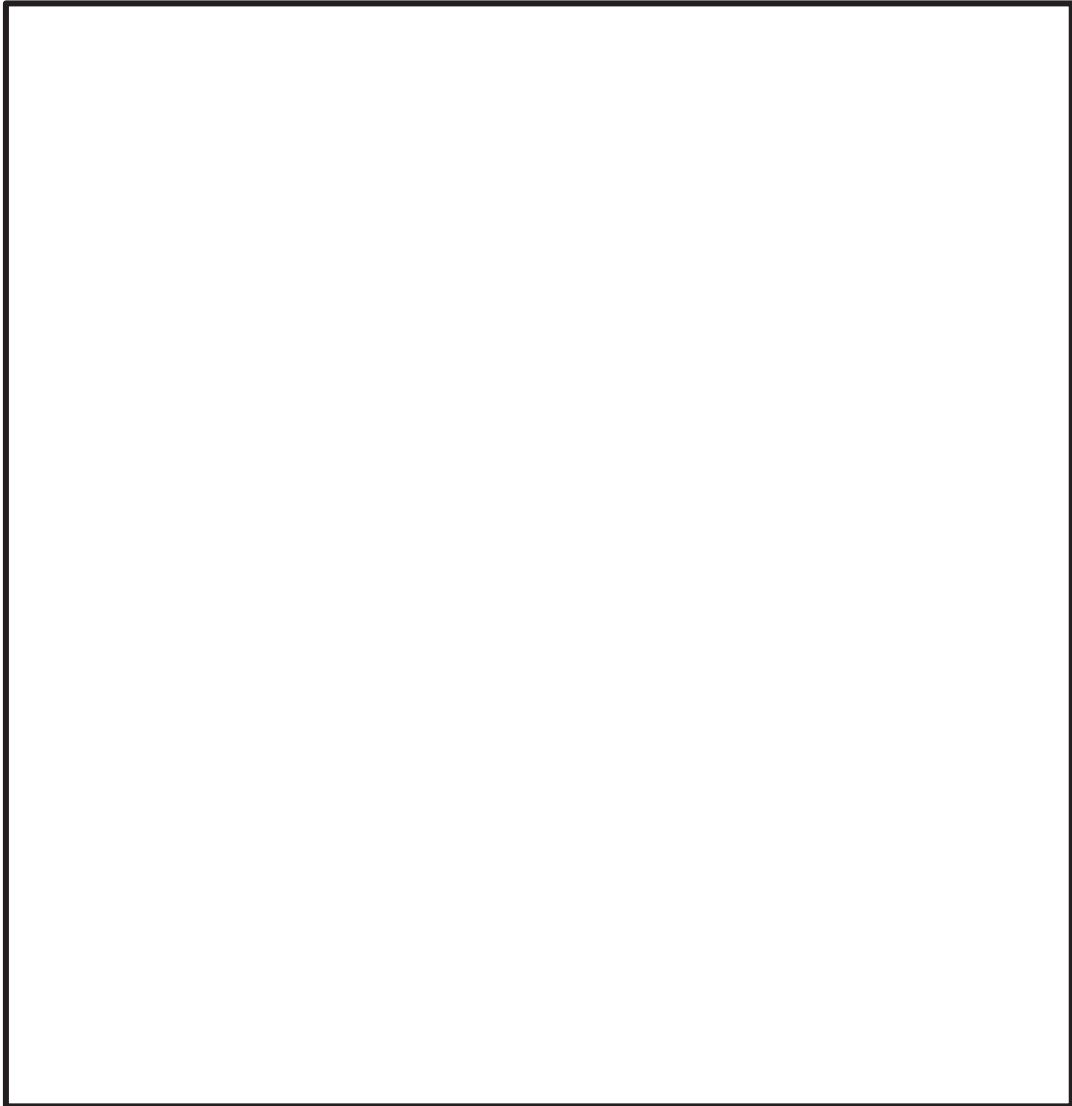
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	°C	—	—	整数位 ^{*1}
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
刺激係数	—	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
質量	kg	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁

注記*1：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。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

ダウンカマ及びベントヘッダの形状及び主要寸法を図 3-1～図 3-4 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



① ダウンカマ

② ベントヘッダ

③ ベントヘッダリング

④ ダウンカマリング

$D_1 =$

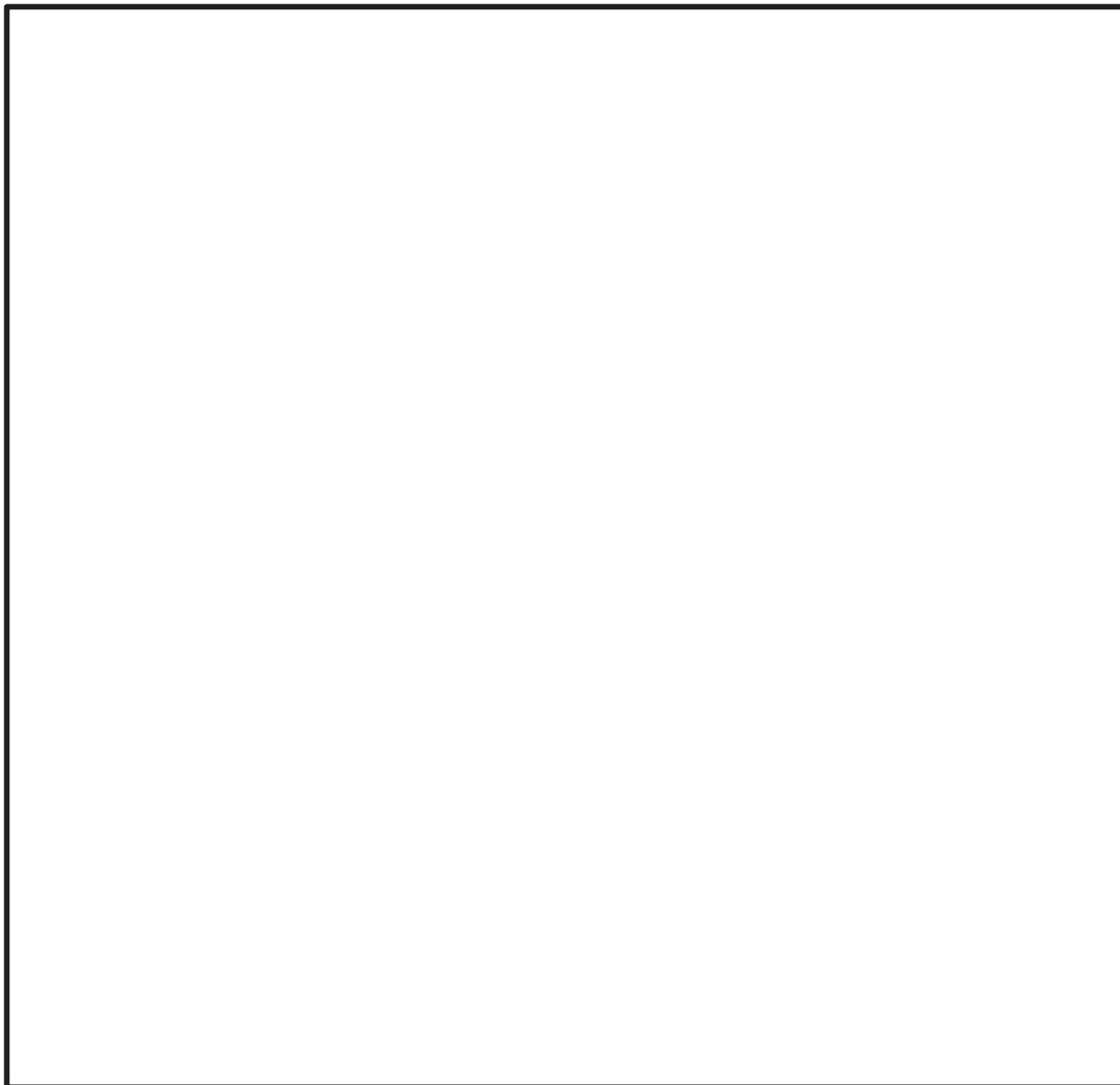
$t_1 =$

$\ell_1 =$

$\ell_2 =$

(単位：mm)

図 3-1 ダウンカマの形状及び主要寸法



$D_2 =$

$t_2 =$

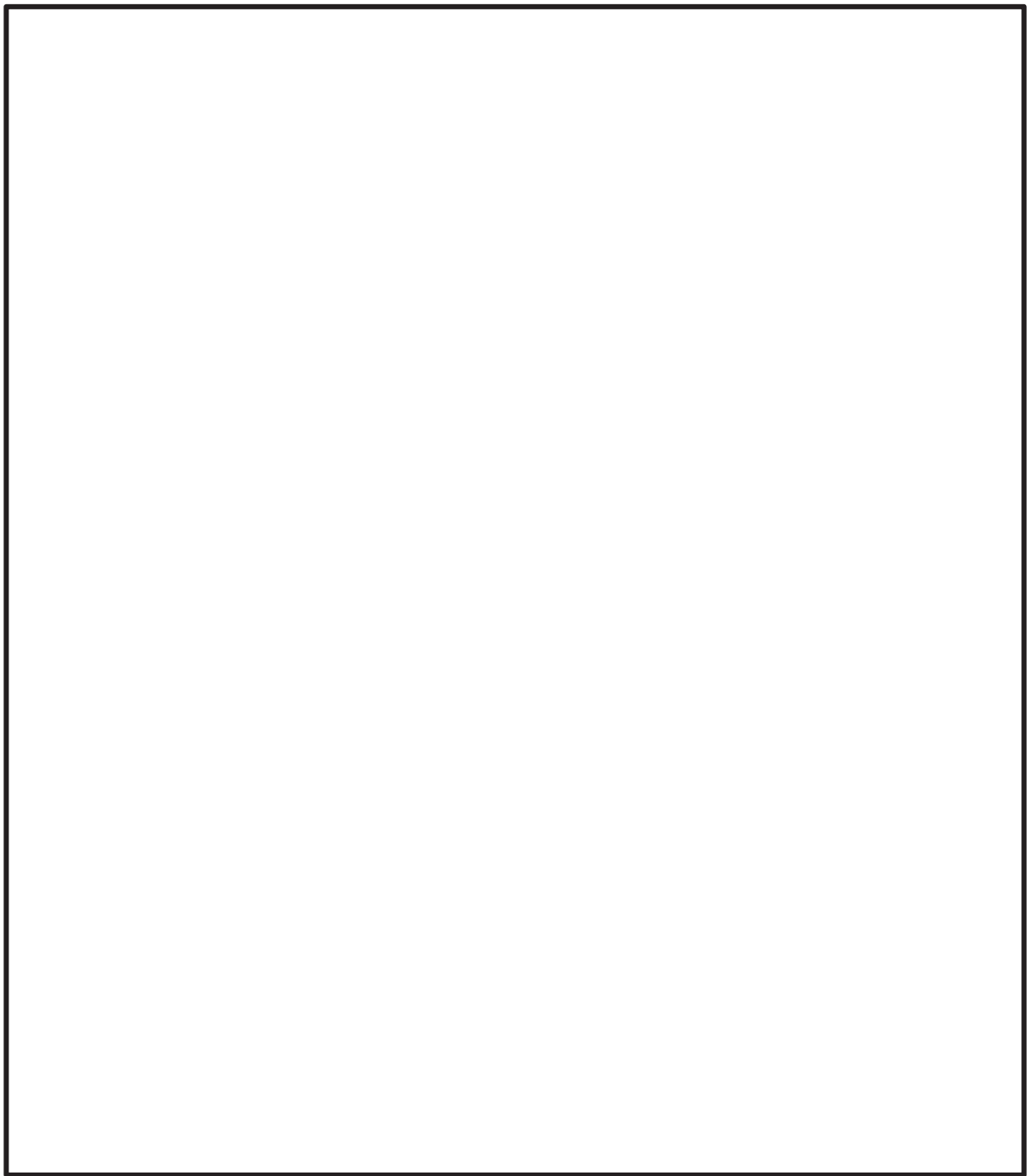
$l_3 =$

$l_4 =$

$l_5 =$

(単位：mm)

図 3-2 ベントヘッダの形状及び主要寸法



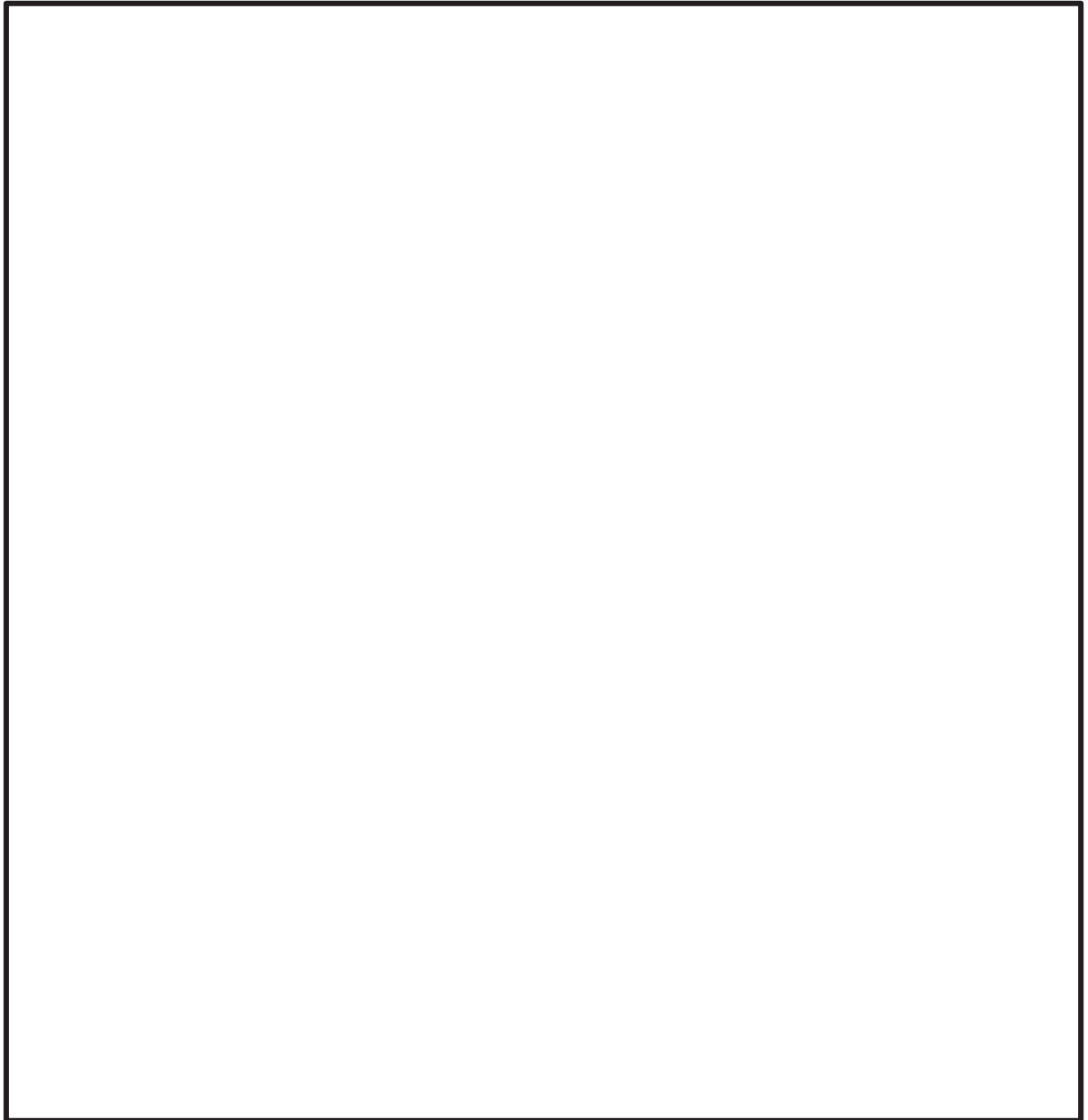
$D_3 =$


$t_3 =$


$l_6 =$
 $l_7 =$
 $l_8 =$
 $l_{14} =$
 $l_{15} =$


(単位：mm)

図 3-3 ベントヘッダサポートの形状及び主要寸法



$D_4 =$ 
 $D_5 =$
 $D_6 =$
 $D_7 =$

$t_4 =$ 
 $t_5 =$

$l_9 =$ 
 $l_{10} =$
 $l_{11} =$
 $l_{12} =$
 $l_{13} =$
 $l_{16} =$

(単位：mm)

図 3-4 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 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
ダウンカメラ	SGV480
ベントヘッダ	SGV480
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. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ダウンカム及びベントヘッドは、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エ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エルを介して原子炉建屋に伝達される。

ダウンカム及びベントヘッドの耐震評価として、添付書類「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (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応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダウンカム及びベントヘッドの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 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 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

ダウンカム及びベントヘッドの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3～表 4-5 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

ダウンカム及びベントヘッドの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 及び表 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 に示す。

表4-1 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	耐震重要度分類	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	ダウンカマ	S	クラス2管	D + P _D + M _D + S _d [*]	Ⅲ _{AS}	
				D + P _D + M _D + S _s	Ⅳ _{AS}	
	バントヘッド 圧力低減設備 その他の安全設備	S	クラス2容器	D + P _D + M _D + S _d [*]	Ⅲ _{AS}	
				D + P _D + M _D + S _s	Ⅳ _{AS}	
				建物・ 構築物	D + P _D + M _D + S _d [*]	Ⅲ _{AS} ^{*4} <短期>
					D + P _D + M _D + S _s	Ⅳ _{AS} ^{*4} <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 3-6 の荷重の組合せの No. を示す。

*2：運転状態 I による燃料交換時の活荷重はダウンカマ及びベントヘッドに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*3：スクラス相当として評価する。

*4：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 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 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態
原子炉格納施設	ダウンカマ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S d	V _{AS} ^{*3}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3}
圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッド	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S d	V _{AS} ^{*3}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3}
	ベントヘッドサポ ート、ピン及びエ ンドプレート	— ^{*6}	建物・ 構築物	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S d	V _{AS} ^{*3} <短期> ^{*7}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3} <短期> ^{*7}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内は添付書類「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。

*3：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

*4：SA 後長期 (L) の最高内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

*5：SA 後長期 (LL) の内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

*6：S クラス相当として評価する。

*7：鋼構造設計規程によるため、< >内の許容応力状態を適用する。

表4-3 クラス2管及び重大事故等クラス2管の許容応力

応力分類 許容 応力状態	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 _{AS}	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ^{*1} ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。		^{*2}
Ⅳ _{AS}	$0.6 \cdot S_u$ ^{*1}	左欄の1.5倍の値		
V_{AS} ^{*3}				

注記*1：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 (S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方)の 0.8 倍の値とする。

*2： $2 \cdot S_y$ 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 PVB-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。

*3： V_{AS} としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表4-4 クラス2容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
III _{AS}	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、ASS及びHNAに ついては上記の値と1.2・Sの うち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	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・S _y 以 下であれば疲労解析は不要。	*1
IV _{AS}	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _{AS} *2				

注記*1：2・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 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。) の簡
易弾塑性解析を用いる。

*2：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-5 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

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 4-6 ダウンカム及びピントヘッドの使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

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	171				
ダウンカム	SGV480	周囲環境 温度	171	—	229	423	—
ピントヘッド	SGV480	周囲環境 温度	171	—	229	423	—

表 4-7 ピントヘッドサポート、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 (設計基準対象施設)

評価部位 (応力評価対象)	材料	F (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ピントヘッドサポート				
ピン				
エンドプレート				

表 4-8 ダウンカメラ及びベントヘッド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 (RT) (MPa)
		周囲環境 温度	178 ^{*1}				
ダウンカメラ	SGV480	周囲環境 温度	178 ^{*1}	—	228	422	—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	—	236	429	—
ベントヘッド	SGV480	周囲環境 温度	178 ^{*1}	—	228	422	—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	—	236	429	—

注記*1：SA 後長期 (L) のドライウェル温度を考慮する。

*2：SA 後長期 (LL) のドライウェル温度を考慮する。

表 4-9 ベントヘッドサポート、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 (重大事故等対処設備)

評価部位 (応力評価対象)	材料	F (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ベントヘッドサポート				
ピン				
エンドプレート				

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力及び最高使用温度は，既工認（参照図書(1)及び(2)）からの変更はなく，次のとおりである。

また，ベントヘッドサポート反力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。なお，ベント系開口のうち，下向きのダウンカメラ下端開口が最も総断面積が大きいため，内圧作用時，ベント系全体は上向きの力を受ける。このため，下側ベントヘッドサポートは引張荷重，上側ベントヘッドサポートは圧縮荷重を受ける挙動となる。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

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. サプレッションチェンバ水位

水位 O.P. -3800mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び温度

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（差圧） P_{SAL}	35kPa（SA 後長期（L））
内圧（差圧） P_{SALL}	35kPa（SA 後長期（LL））
温度 T_{SAL}	178℃（SA 後長期（L））
温度 T_{SALL}	111℃（SA 後長期（LL））

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し，設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，「4.2.4 設計荷重」の（1）に示すとおりである。

c. 水力学的動荷重

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

d. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備におけるサプレッションチェンバ水位は，以下のとおりとする。

水位 O.P. -1514mm

e. 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ベントヘッダサポート反力を表 4-12 及び表 4-13 に示す。

表 4-10 ベントヘッダサポート（下側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
最高使用圧力（内圧）	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ベント系死荷重		
ベント系 S _d * 地震荷重		
ベント系 S _s 地震荷重		

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-11 ベントヘッダサポート（上側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
最高使用圧力（内圧）	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ベント系死荷重		
ベント系 S _d * 地震荷重		
ベント系 S _s 地震荷重		

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-12 ベントヘッドサポート（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（差圧）（SA 後長期（L））			
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））			
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））			
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））			
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））			
チャギング荷重（SA 後長期（L））			

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-13 ベントヘッドサポート（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（差圧）（SA 後長期（L））			
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））			
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））			
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））			
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））			
チャギング荷重（SA 後長期（L））			

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

4.4 固有周期

固有周期は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ダウンカマ及びベントヘッダの応力評価点を表 4-14、図 4-1 及び図 4-2 に示す。応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルを用いて計算する。応力評価点 P5～P10 の応力は、ベントヘッダ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 4-14 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ダウンカマ（一般部）
P2 ^{*1}	ダウンカマ（一般部以外）
P3	ベントヘッダ（一般部）
P4 ^{*2}	ベントヘッダ（一般部以外）
P5	ベントヘッダサポート（下側）
P6	ピン（下側）
P7	エンドプレート（下側）
P8	ベントヘッダサポート（上側）
P9	ピン（上側）
P10	エンドプレート（上側）

注記*1：既工認（参照図書（1））の応力評価点 P1～P3 を包絡する。ベントヘッダとダウンカマの接続部及びダウンカマとダウンカマリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

*2：既工認（参照図書（2））の応力評価点 P2～P5 を包絡する。ベントヘッダとダウンカマの接続部、ベントヘッダとベントヘッダサポートリングの接続部及びベントヘッダとベントヘッダリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

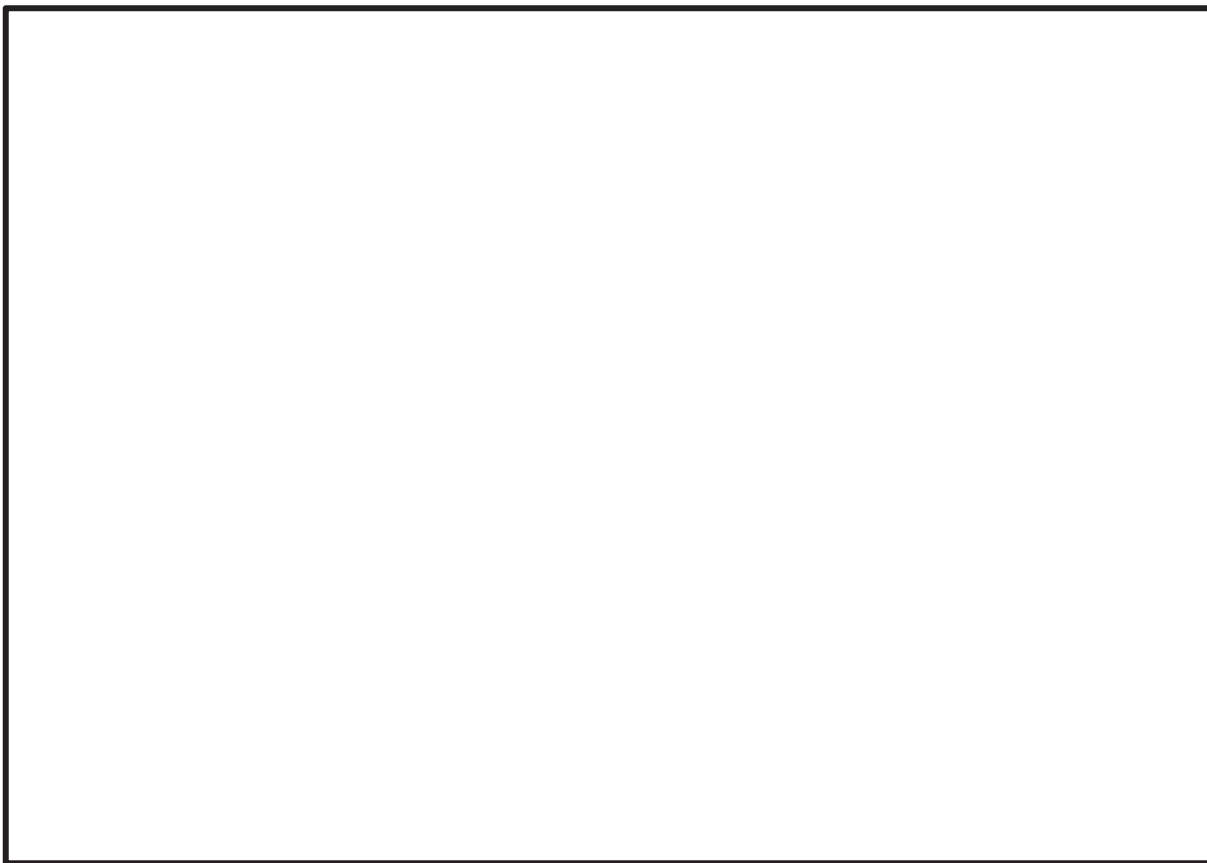


図 4-1 ダウンカマの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

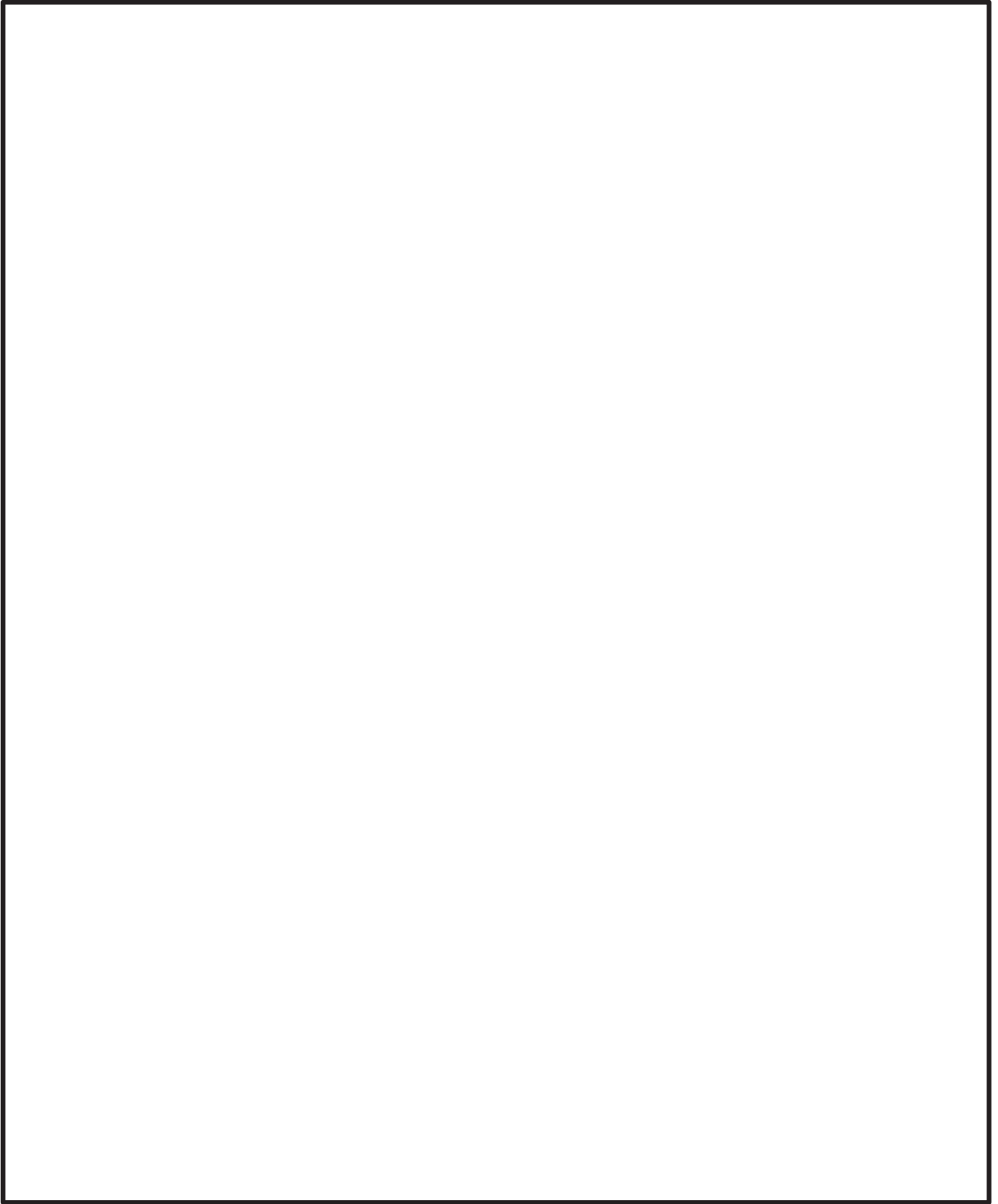


図 4-2 ベントヘッダ及びベントヘッダサポートの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.2 応力計算方法

ダウンコマ及びベントヘッダの応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

設計基準対象施設としての応力評価の概要を以下に示す。

a. 応力評価点 P1～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（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 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

c. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（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 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

(2) 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～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（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 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

c. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（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 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた各応力が、表 4-3～表 4-5 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536 または PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダウンコマ及びベントヘッダ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。発生値は許容限界を満足しており、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確認した。

なお、クラス 2 管であるダウンコマ及びクラス 2 容器であるベントヘッダの算出応力は、FEM モデルを用いた応力解析により求めた応力を示している。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

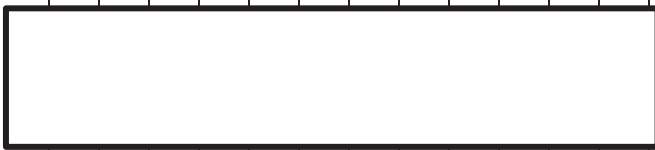
表 5-2 の応力評価点 P2 及び P4 の一次＋二次応力が許容値である $3 \cdot S$ を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*) (その 1)

評価対象設 備	心力評価点	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
			算出応力	許容応力			
			MPa	MPa			
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	62	229	○	(9)	
		一次膜 + 一次曲げ応力	62	229	○	(9)	
		一次 + 二次応力	120	458	○	(9)	
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次膜 + 一次曲げ応力	129	229	○	(9)	
		一次 + 二次応力	311	458	○	(9)	
P3	ベントハット (一般部)	一次一般膜応力	149	229	○	(9)	
		一次膜 + 一次曲げ応力	149	344	○	(9)	
		一次 + 二次応力	224	458	○	(9)	
P4	ベントハット (一般部以外)	一次膜 + 一次曲げ応力	167	344	○	(9)	
		一次 + 二次応力	347	458	○	(9)	

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*) (その2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力	許容応力			
			MPa	MPa			
P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	57		○	(9)	
		圧縮応力	40		○	(9)	
		曲げ応力	10		○	(9)	
P6	ピン (下側)	組合せ応力	67		○	(9)	
		曲げ応力	95		○	(9)	
		せん断応力	33		○	(9)	
		支圧応力	139		○	(9)	
		組合せ応力	111		○	(9)	
P7	エンドプレート (下側)	引張応力	38		○	(9)	
		圧縮応力	27		○	(9)	
		曲げ応力	47		○	(9)	
		せん断応力	70		○	(9)	
		組合せ応力	148		○	(9)	



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*) (その 3)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	35	[Redacted]	○	(9)	
		圧縮応力	50		○	(9)	
		曲げ応力	28		○	(9)	
		組合せ応力	78		○	(9)	
P9	ピン (上側)	曲げ応力	82		○	(9)	
		せん断応力	30		○	(9)	
		支圧応力	120		○	(9)	
		組合せ応力	97		○	(9)	
P10	エンドプレート (上側)	引張応力	21		○	(9)	
		圧縮応力	30		○	(9)	
		曲げ応力	117	○	(9)		
		せん断応力	61	○	(9)		
		組合せ応力	181	○	(9)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-2 許容応力状態IV_{A,S}に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (その 1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _{A,S}		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
ダウンカマ 及びベント ヘッド	P1	ダウンカマ (一般部)	82	253	○	(11)	
			82	380	○	(11)	
	P2	ダウンカマ (一般部以外)	178	458	○	(11)	
			180	380	○	(11)	
P3	ベントヘッド (一般部)	461	458	×*	(11)		
		201	253	○	(11)		
P4	ベントヘッド (一般部以外)	201	380	○	(11)		
		333	458	○	(11)		
			230	380	○	(11)	
			517	458	×*	(11)	

注記* : P2 及び P4 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2 許容応力状態IV_{AS}に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力	許容応力			
			MPa	MPa			
P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	74	[Redacted]	○	(11)	
		圧縮応力	57		○	(11)	
		曲げ応力	16		○	(11)	
P6	ピン (下側)	組合せ応力	90	[Redacted]	○	(11)	
		曲げ応力	119		○	(11)	
		せん断応力	42		○	(11)	
		支圧応力	175		○	(11)	
		組合せ応力	140		○	(11)	
P7	エンドプレート (下側)	引張応力	49	[Redacted]	○	(11)	
		圧縮応力	38		○	(11)	
		曲げ応力	74		○	(11)	
		せん断応力	88		○	(11)	
		組合せ応力	196		○	(11)	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (その3)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	49	[Redacted]	○	(11)	
		圧縮応力	64		○	(11)	
		曲げ応力	41		○	(11)	
P9	ピン (上側)	組合せ応力	105		○	(11)	
		曲げ応力	103		○	(11)	
		せん断応力	37		○	(11)	
		支圧応力	151		○	(11)	
		組合せ応力	122		○	(11)	
P10	エンドプレート (上側)	引張応力	29		○	(11)	
		圧縮応力	38		○	(11)	
		曲げ応力	172	○	(11)		
		せん断応力	76	○	(11)		
		組合せ応力	248	○	(11)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5-3 許容応力状態IV_ASに対する疲労評価結果

応力評価点	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ' [*] (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P2							340	0.264
P4							340	0.286

注記* : S_ℓに (/ E) を乗じた値である。

E = MPa

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ダウンコマ及びベントヘッダの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、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確認した。

なお、クラス 2 管であるダウンコマ及びクラス 2 容器であるベントヘッダの算出応力は、FEM モデルを用いた応力解析により求めた応力を示している。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

(2) 疲労評価結果

表 5-5 の応力評価点 P2 及び P4 の一次＋二次応力が許容値である $3 \cdot S$ を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 5-6 に示す。

表 5-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + Sd$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa		
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	32	253	○	
		一次膜+一次曲げ応力	32	380	○	
		一次+二次応力	79	457	○	
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	82	380	○	
		一次+二次応力	224	457	○	
P3	ベントヘツダ (一般部)	一次一般膜応力	89	253	○	
		一次膜+一次曲げ応力	89	380	○	
P4	ベントヘツダ (一般部以外)	一次+二次応力	177	457	○	
		一次膜+一次曲げ応力	112	380	○	
		一次+二次応力	276	457	○	

表 5-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	31	[Redacted]	○	
		圧縮応力	35		○	
		曲げ応力	10		○	
P6	ピン (下側)	組合せ応力	45		○	
		曲げ応力	55		○	
		せん断応力	20		○	
		支圧応力	80		○	
P7	エンドプレート (下側)	組合せ応力	65		○	
		引張応力	21		○	
		圧縮応力	23		○	
		曲げ応力	44	○		
		せん断応力	41	○		
		組合せ応力	98	○		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	30		○	
		圧縮応力	27		○	
		曲げ応力	29		○	
P9	ピン (上側)	組合せ応力	59		○	
		曲げ応力	47		○	
		せん断応力	17		○	
		支圧応力	69		○	
P10	エンドプレート (上側)	組合せ応力	56		○	
		引張応力	18		○	
		圧縮応力	16		○	
		曲げ応力	125	○		
		せん断応力	35	○		
		組合せ応力	156	○		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
ダウンカマ 及びベント ヘッド	P1	一次一般膜応力	64	257	○	
		一次膜＋一次曲げ応力	64	386	○	
	P2	一次＋二次応力	169	473	○	
		一次膜＋一次曲げ応力	159	386	○	
P3	ダウンカマ (一般部以外)	一次＋二次応力	480	473	×	
		一次一般膜応力	188	257	○	
	ベントヘッド (一般部)	一次膜＋一次曲げ応力	188	386	○	
		一次＋二次応力	380	473	○	
P4	ベントヘッド (一般部以外)	一次膜＋一次曲げ応力	225	386	○	
		一次＋二次応力	591	473	×	

注記* : P2 及び P4 の一次＋二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	59	[Redacted]	○	
		圧縮応力	63		○	
		曲げ応力	16		○	
P6	ピン (下側)	組合せ応力	79		○	
		曲げ応力	98		○	
		せん断応力	35		○	
		支圧応力	144		○	
P7	エンドプレート (下側)	組合せ応力	116		○	
		引張応力	40		○	
		圧縮応力	42		○	
		曲げ応力	74	○		
		せん断応力	73	○		
		組合せ応力	172	○		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa		
P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	54	[Redacted]	○	
		圧縮応力	51		○	
		曲げ応力	44		○	
P9	ピン (上側)	組合せ応力	98		○	
		曲げ応力	83		○	
		せん断応力	30		○	
		支圧応力	123		○	
P10	エンドプレート (上側)	組合せ応力	98		○	
		引張応力	32		○	
		圧縮応力	30		○	
		曲げ応力	191	○		
		せん断応力	61	○		
		組合せ応力	247	○		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

応力評価点	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} [*] (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P2	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	340	0.311
P4							340	0.547

注記* : S_ℓに ([Redacted] / E) を乗じた値である。

E = [Redacted] MPa

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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-3-1-3-5 ダウンカマの強度計算書」
- (2) 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」