

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-009-13改01
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-3-7-1-13 サプレッションチェンバアクセスハッチの強度計算書

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 計算方法	13
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	27

1. 概要

本計算書は、サプレッションチェンバアクセスハッチ（以下「アクセスハッチ」という。）の強度計算書である。

アクセスハッチは、設計基準対象施設のアクセスハッチ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、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、アクセスハッチの構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アクセスハッチの構造計画を表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>アクセスハッチは、サプレッションチェンバ^胴に支持される。</p>	<p>アクセスハッチは、内径 \squaremm、板厚 \squaremm のスリーブ、板厚 \squaremm のふた板、フランジ及び板厚 \squaremm の 2 箇所 に 2 枚ずつ設置された補強リブにより構成される鋼製構造物である。</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

アクセスハッチの応力評価は、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. 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。

アクセスハッチの構造強度評価フローを図2-1に示す。

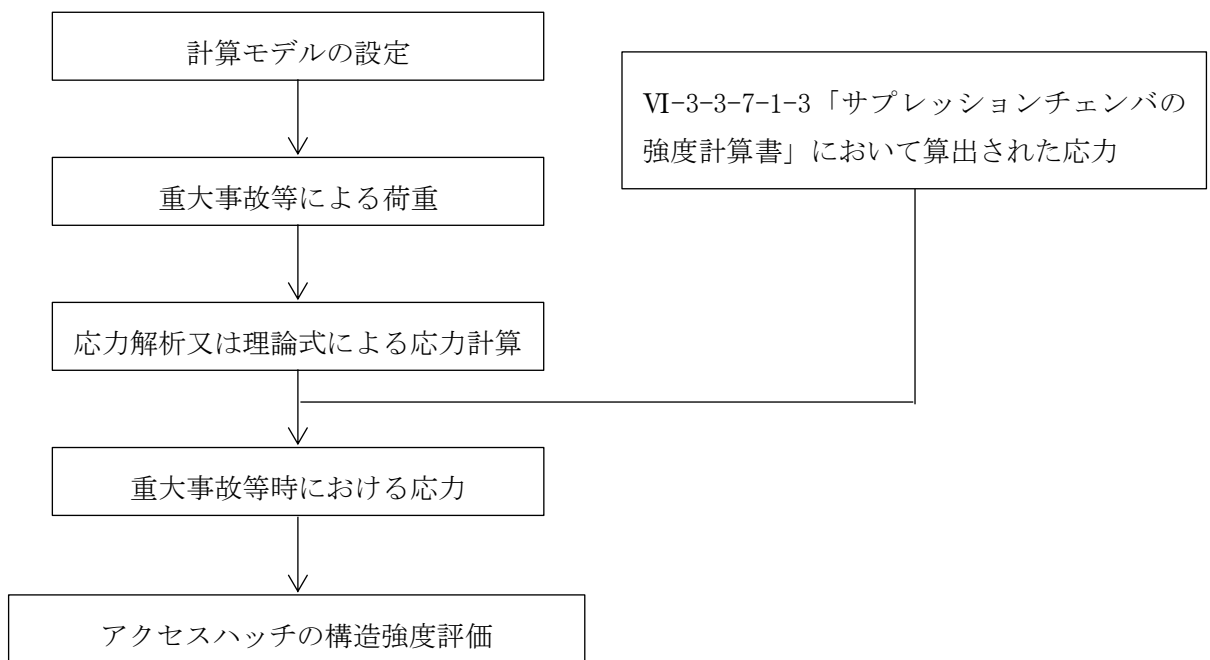


図2-1 アクセスハッチの構造強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・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）（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	断面積	mm ²
D	死荷重	—
D _i	直径 (i = 1, 2, 3…)	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _X	荷重 (スリーブ軸方向)	N
F _Y	荷重 (サブプレッションチェンバ _胴 軸方向)	N
F _Z	荷重 (サブプレッションチェンバ _胴 周方向)	N
g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g ₁	フランジ背面のハブの厚さ	mm
G	ガスケット平均直径	mm
G _i	内側ガスケット中心直径	mm
G _O	外側ガスケット中心直径	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3)	mm
M _{SA}	機械的荷重 (S A後機械的荷重)	—
P _{SA}	圧力 (S A後圧力)	—, kPa
R	半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	温度	°C
T _{SA}	温度 (S A後温度)	°C
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
W	死荷重	N
σ _b	ふた板の曲げ応力	MPa
σ _H	ハブの軸方向応力	MPa
σ _ℓ	スリーブの軸方向応力	MPa
σ _R	フランジの半径方向応力	MPa
σ _t	スリーブの周方向応力, ボルトの平均引張応力	MPa
σ _T	フランジの周方向応力	MPa
ν	ポアソン比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

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
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第1位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

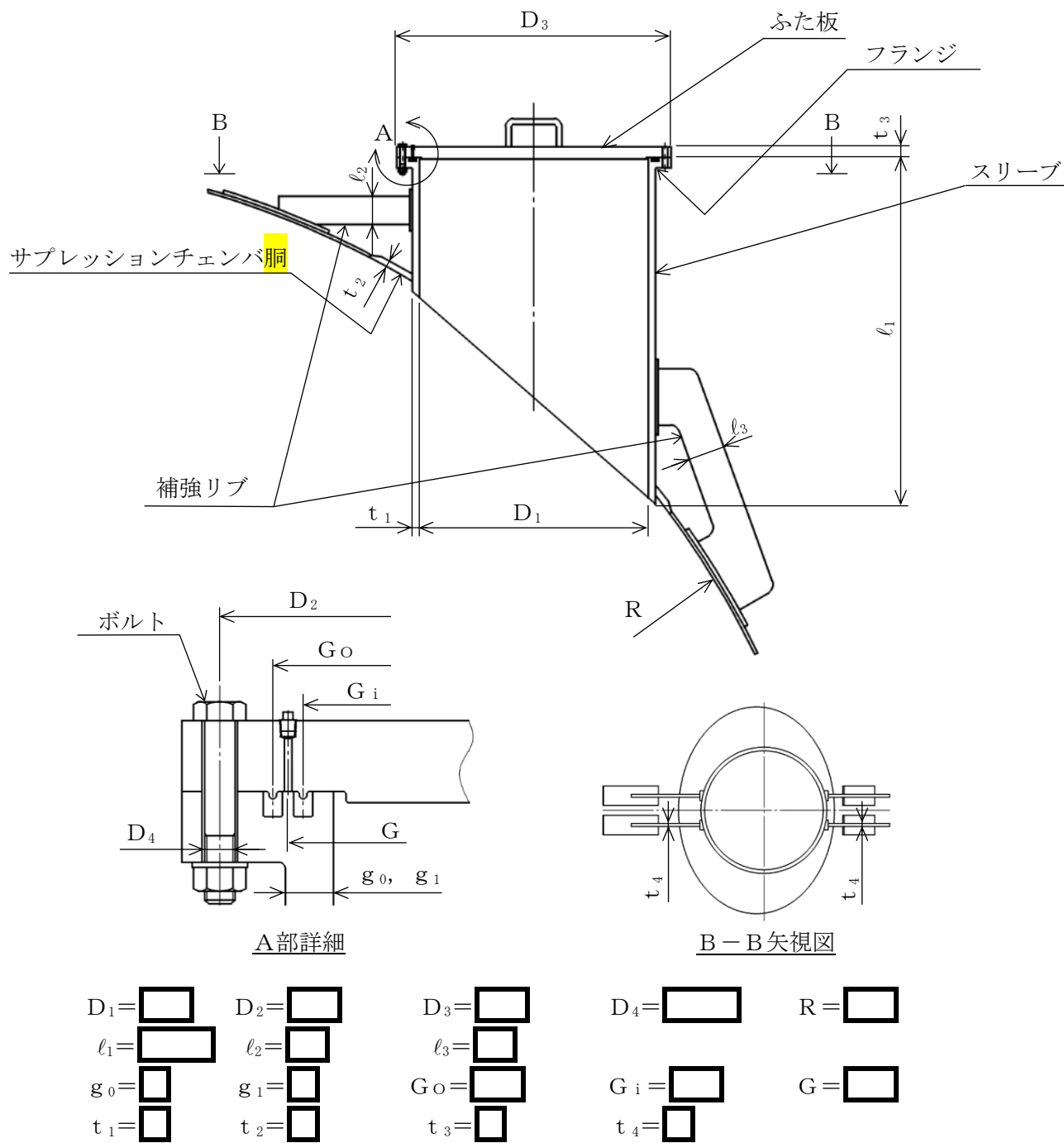
注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図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1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

アクセスハッチの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



(単位：mm)

図3-1 アクセスハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ふた板	SGV49	SGV480 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	
スリーブ	SGV49	SGV480 相当
サプレッションチェンバ 同	SPV50	SPV490 相当
補強リブ	SPV490	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) アクセスハッチの構造強度評価として、アクセスハッチに作用する死荷重、圧力荷重及びサプレッションチェンバ^胴に作用する死荷重、圧力荷重及び水力学的動荷重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。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

アクセスハッチの荷重の組合せ及び供用状態のうち、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、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

アクセスハッチの許容応力は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 及び表 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

アクセスハッチ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 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（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		供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	アクセスハッチ	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	(V (S) -1) (V (S) -2)	重大事故等時*2

注記*1：（ ）内は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5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4-2 重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 供用 状態	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
重大事故 等時*	$2/3 \cdot S_u$	$1.5 \times 2/3 \cdot S_u$

注記*：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4-3 重大事故等クラス2耐圧部テンションボルトの許容応力

応力分類 供用 状態	平均引張応力
重大事故 等時*	$2/3 \cdot S_u$

注記*：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

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 (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
ふた板 フランジ スリーブ	SGV49*1	周囲環境 温度	200	—	—	422	—
ボルト	SNCM439	周囲環境 温度	200	—	—	865	—
サプレッション チェンバ _胴	SPV50*2	周囲環境 温度	200	—	—	545	—

注記*1：SGV480 相当を示す。

*2：SPV490 相当を示す。

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、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧 P_{SA} 853 kPa (SA後)
温度 T_{SA} 200 °C (SA後)

(2) 死荷重

アクセスハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 W N

重大事故等対処設備の評価における水位は、以下のとおりとする。

水位 EL 7049 mm

(3) 水力学的動荷重

a. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時の荷重は、VI-3-3-7-1-3「サブプレッションチェンバの強度計算書」に示すとおりである。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

b. チャギング荷重

チャギング荷重は、VI-3-3-7-1-3「サブプレッションチェンバの強度計算書」に示すとおりである。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

アクセスハッチの応力評価点は、アクセスハッチ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 4-5 及び図 4-1 に示す。

表 4-5 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ふた板中央部
P 2	フランジ
P 3	ボルト
P 4	アクセスハッチスリーブ (P 4-A, P 4-B)
P 5	アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ ^胴 との結合部 (P 5-A~P 5-C)
P 6	アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部
P 7	補強リブとサプレッションチェンバ ^胴 との結合部
P 8*	補強リブ

注記* : 応力評価点 P 8 については、死荷重及び圧力荷重は小さいため評価は行わない。

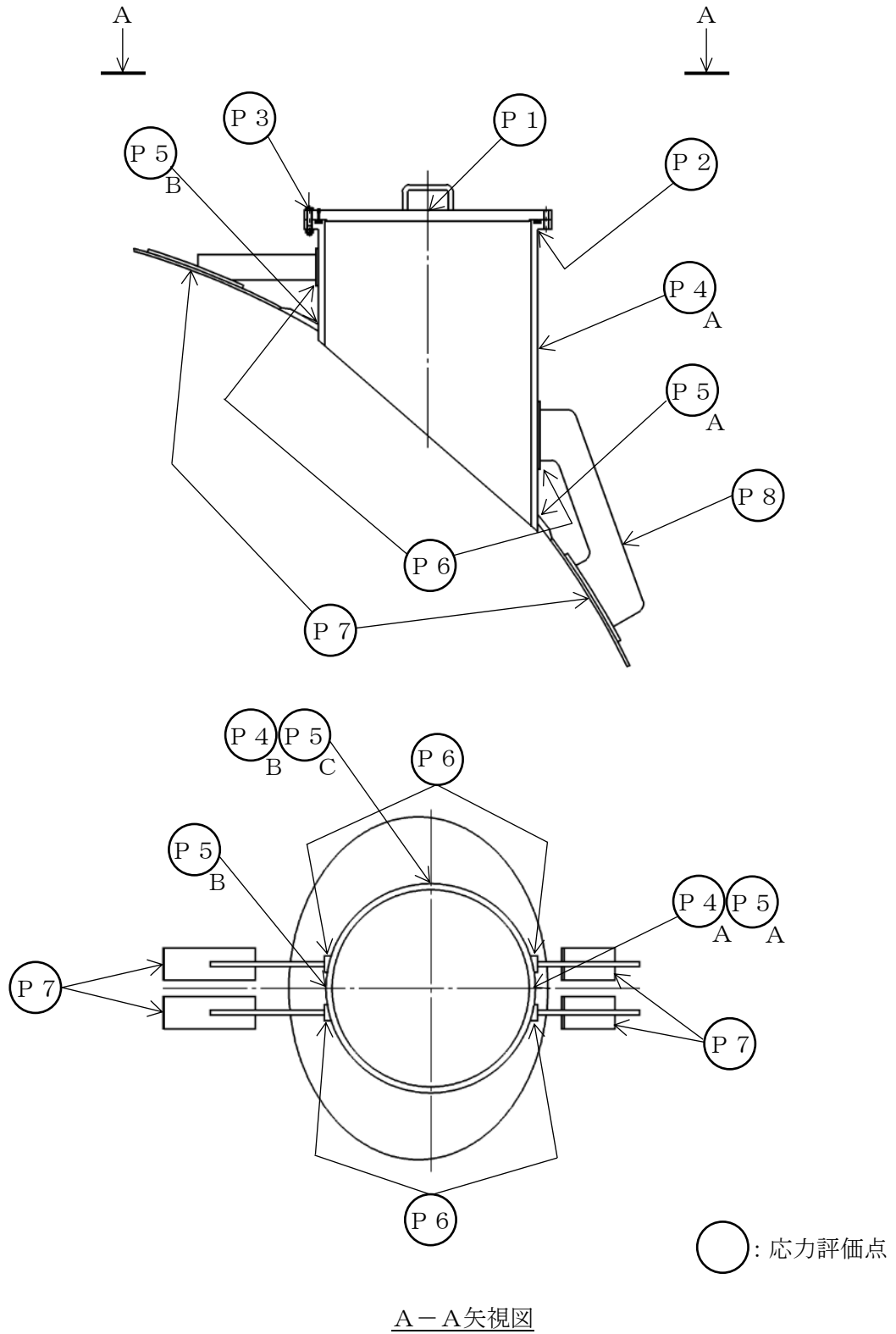


図 4-1 アクセスハッチの応力評価点

4.3.2 応力計算方法

アクセスハッチ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

a. ふた板中央部に生じる応力（応力評価点P 1）

内圧により応力評価点P 1に生じる応力は、図 4-2 に示すように、ふた板を等分布荷重を受ける外周支持の円板にモデル化し、参照図書(1)に基づき計算する。

内圧作用時の応力計算方法を以下に示す。

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot (D_2/2)^2}{8 \cdot t_3^3} \cdot P_{SA} \dots\dots\dots (4.3.1)$$

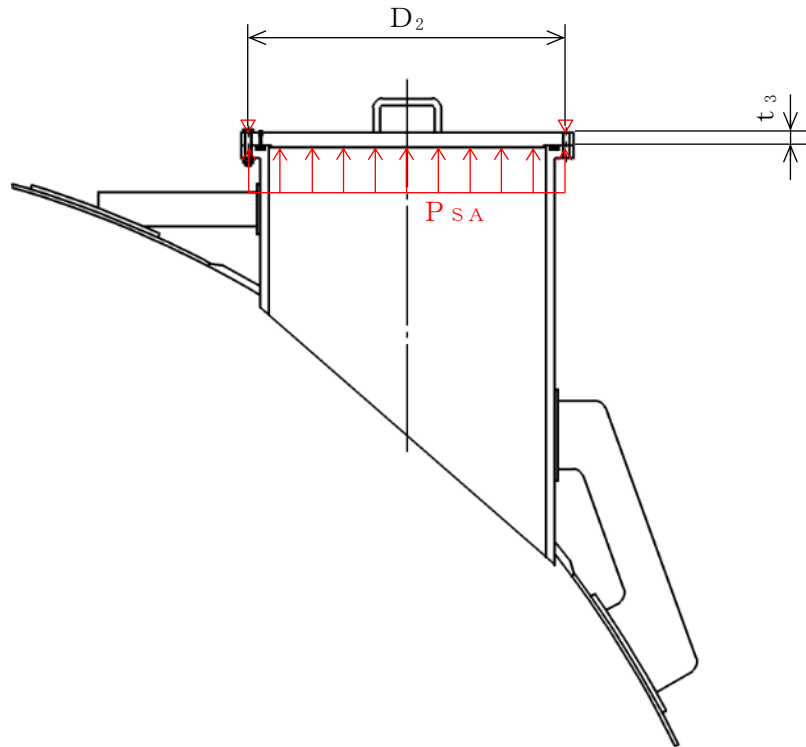


図 4-2 計算モデル

- b. フランジ及びボルトに生じる応力（応力評価点 P 2, P 3）
 内圧により応力評価点 P 2 及び P 3 に生じる応力は、参照図書(2)に基づいて評価する。
 計算値を表 4-6 に示す。なお、ここで使用する記号はすべて参照図書(2)に従う。

表 4-6 フランジに対する計算（その 1）

フランジの使用材料			SGV49*	
ボルトの使用材料			SNCM439	
ガスケットの使用材料			布又は石綿を多く含まない ゴムシート	
評価圧力	P	(MPa)	853×10^{-3}	
評価温度		(°C)	200	
フランジの許容引張応力	σ_f	(MPa)	281	
ボルトの許容引張応力	σ_b	(MPa)	576	
フランジの外径	A	(mm)	1460	
フランジの内径	B	(mm)		
ボルト中心円の直径	C	(mm)	1400	
ハブ先端の厚さ	g_o	(mm)		
フランジ背面のハブの厚さ	g_1	(mm)	37	
ハブの長さ	h	(mm)	0	
ボルトの呼び			M24	
ボルトの本数	n		28	
ボルトの谷径		(mm)	20.752	
内側ガスケットの中心径	G_i	(mm)	1268	
外側ガスケットの中心径	G_o	(mm)	1316	
ガスケットの平均径	G	(mm)	1292	
内圧による全荷重	H	(N)	1.118×10^6	
使用状態での最小ボルト荷重	W_{m1}	(N)	1.135×10^6	
ガスケットの締付最小荷重	W_{m2}	(N)	2.841×10^4	
ボルトの 所要 総断面積	使用状態	A_{m1}	(mm^2)	5.255×10^3
	ガスケット締付時	A_{m2}	(mm^2)	1.315×10^2
	いずれか大きい値	A_m	(mm^2)	5.255×10^3
実際のボルトの総断面積	A_b	(mm^2)	9.470×10^3	
評価： $A_b > A_m$ ，よって十分である。				

注記*：SGV480 相当を示す。

表 4-6 フランジに対する計算 (その 2)

ボルト 荷重	使用状態	W_o	(N)	1.135×10^6
	ガスケット締付時	W_g	(N)	1.590×10^6
距離	R		(mm)	53
荷重	(N)	モーメントアーム	(mm)	モーメント (N・mm)
$H_D =$	9.971×10^5	$h_D =$	71.5	$M_D = 7.129 \times 10^7$
$H_G =$	1.700×10^4	$h_G =$	54.0	$M_G = 9.180 \times 10^5$
$H_T =$	1.209×10^5	$h_T =$	72.0	$M_T = 8.705 \times 10^6$
フランジに作用 するモーメント	使用状態	M_o	(N・mm)	8.091×10^7
	ガスケット締付時	M_g	(N・mm)	8.586×10^7
フランジの内外径比	K			1.197
形状係数	h_o		(mm)	212.46
係数	h / h_o			0
係数	g_1 / g_o			1
ハブ応力修正係数	f			1
係数	F			0.90892
係数	T			1.840
係数	U			11.973
係数	V			0.550103
係数	Y			10.896
係数	Z			5.621
係数	d			6.331×10^6
係数	e			4.278×10^{-3}
フランジの厚さ	t		(mm)	
係数	L			0.6980
$M_g > M_o$ よりガスケット締付時の応力評価を行う。				

ボルトの内圧作用時の応力計算方法を以下に示す。

平均引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_{m1}}{A_b} \dots\dots\dots (4.3.2)$$

c. アクセスハッチスリーブに生じる応力（応力評価点 P 4）

応力評価点 P 4 の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチの死荷重による応力を考慮する。

(a) 圧力による応力

周方向応力

$$\sigma_t = \frac{(P_{SA}/1000) \cdot D_1}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (4.3.3)$$

軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{(P_{SA}/1000) \cdot D_1}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (4.3.4)$$

(b) 死荷重による応力

軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (4.3.5)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \{(D_1 + 2 \cdot t_1)^2 - D_1^2\} \dots\dots\dots (4.3.6)$$

- d. アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ^胴との結合部に生じる応力
(応力評価点P5)

応力評価点P5の応力は、アクセスハッチの死荷重による応力と、VI-3-3-7-1-3「サプレッションチェンバの強度計算書」において算出された応力を組み合わせること
で算出する。

ここで、アクセスハッチの死荷重による応力は、表4-7に示す応力評価点P5に作用する荷重と図4-3に示す解析モデルにより算出する。解析モデルの概要を以下に示す。

- (a) サプレッションチェンバ及びアクセスハッチの解析モデルは、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造及び荷重の伝達経路を考慮し、サプレッションチェンバを構成する16セグメントの円筒胴のうち、アクセスハッチが設置されるサプレッションチェンバ^胴の1セグメントの範囲についてモデル化する。解析モデルを図4-3に、機器の諸元を表4-8に示す。
- (b) アクセスハッチの死荷重を鉛直荷重として、アクセスハッチ先端に負荷する。
- (c) 拘束条件は、解析モデルのサプレッションチェンバ^胴両端部を固定条件（並進3方向及び3軸回り回転を拘束）とする。
- (d) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、応力を求める。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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

表4-7 応力評価点P5に作用する荷重

荷重の種類*	死荷重
F _x	W
F _y	—
F _z	—

注記*：図4-3に示す荷重の記号による。

表4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	アクセスハッチ	—	—	SGV49 ^{*1}
	サプレッションチェンバ ^胴	—	—	SPV50 ^{*2}
	補強リブ	—	—	SPV490
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	
節点数		—	—	

注記*1：SGV480相当

*2：SPV490相当

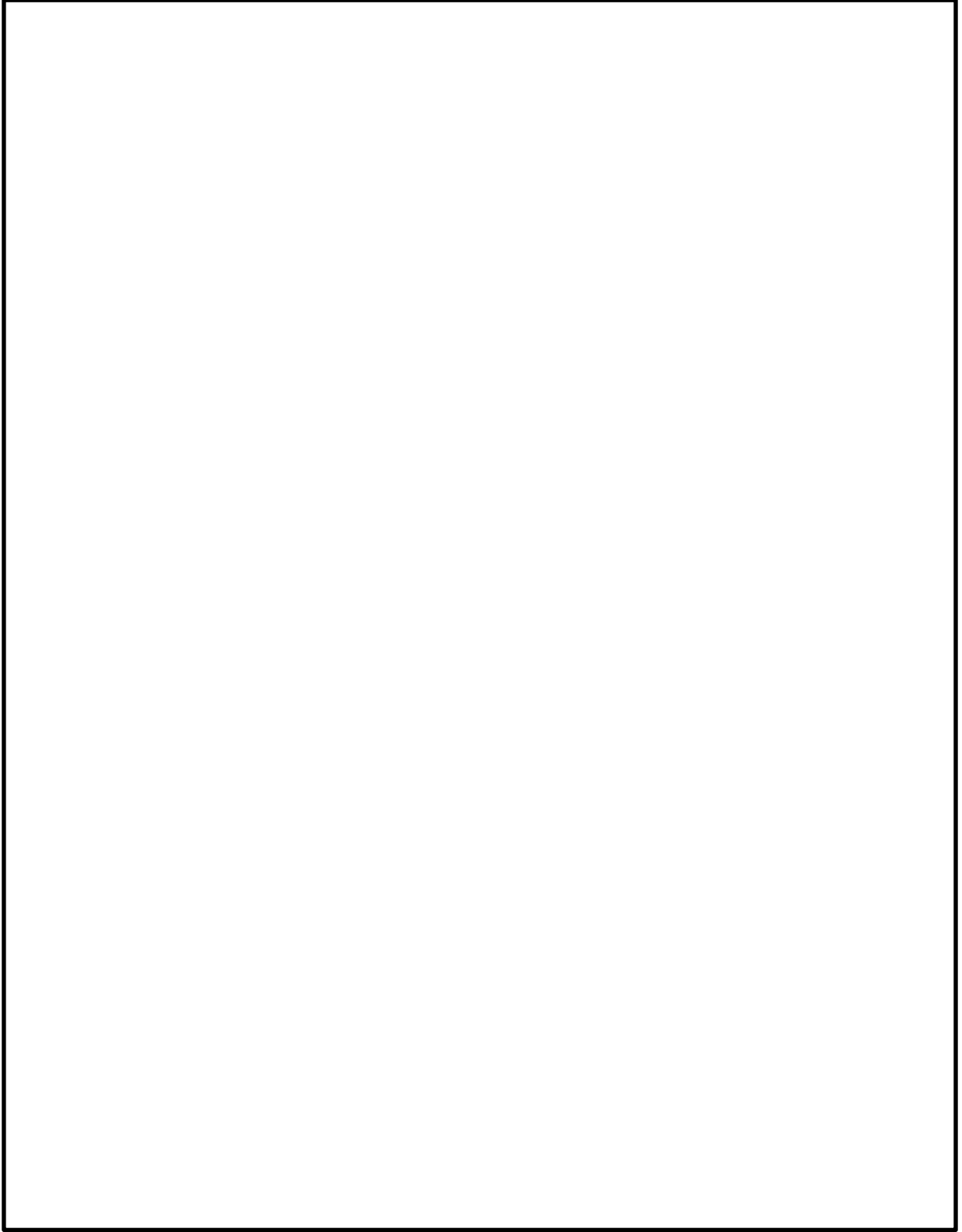


図 4-3 解析モデル

- e. アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部に生じる応力（応力評価点 P 6）
応力評価点 P 6 の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチの死荷重による応力を組み合わせることで算出する。
ここで、圧力による応力は、(4.3.3) 式及び (4.3.4) 式により算出し、アクセスハッチの死荷重による応力は、図 4-3 に示す解析モデルにより算出する。
- f. 補強リブとサプレッションチェンバ^洞との結合部に生じる応力（応力評価点 P 7）
応力評価点 P 7 の応力は、アクセスハッチの死荷重による応力と、VI-3-3-7-1-3 「サプレッションチェンバの強度計算書」において算出された応力を組み合わせることで算出する。
ここで、アクセスハッチの死荷重による応力は、図 4-3 に示す解析モデルにより算出する。

4.4 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「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」で求めた応力が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

アクセスハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の構造強度評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足している。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 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}) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の組合せ*	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
アクセスハッチ	P 1	ふた板中央部	一次一般膜応力		171	281	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力		171	422	○	(V (S) -1)	
	P 2	フランジ	ハブの軸方向応力	σ_H	74	422	○	(V (S) -1)	
			フランジの半径方向応力	σ_R	44	281	○	(V (S) -1)	
			フランジの周方向応力	σ_T	7	281	○	(V (S) -1)	
			組合せ応力	$(\sigma_H + \sigma_R) / 2$	59	281	○	(V (S) -1)	
				$(\sigma_H + \sigma_T) / 2$	41	281	○	(V (S) -1)	
	P 3	ボルト	平均引張応力		120	576	○	(V (S) -1)	

注記* : () 内は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 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA}) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4-A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	281	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	422	○	(V (S) -1)	
	P 4-B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	281	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	422	○	(V (S) -1)	
	P 5-A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ ^胴 との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	254	545	○	(V (S) -1)	
	P 5-B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ ^胴 との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	254	545	○	(V (S) -1)	
P 5-C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ ^胴 との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	255	545	○	(V (S) -1)		

注記* : () 内は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 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA}) (その 3)

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	17	422	○	(V (S) -1)	
	P 7	補強リブとサプレッションチェンバ _胴 との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	255	545	○	(V (S) -1)	

注記* : () 内は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 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

6. 参照図書

- (1) WARREN C. YOUNG, RICHARD G. BUDYNAS, ALI M. SADEGH :
ROARK'S FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN, EIGHTH EDITION
- (2) J I S B 8 2 6 5 (2003) 「压力容器の構造 — 一般事項」