

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-1028 改3
提出年月日	平成30年9月13日

V-3-9-1-3-4 サプレッション・チェンバアクセスハッチの強度計算書

目次

11. 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 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 強度評価	8
4.1 強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	8
4.3 計算方法	12
4.4 計算条件	24
4.5 応力の評価	24
5. 評価結果	24
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	24

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の強度計算書である。

サプレッション・チェンバアクセスハッチは、設計基準対象施設のサプレッション・チェンバ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容器として添付書類「V-3-1-6 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」にて設定している構造強度の設計方針に基づき所員用エアロックの強度評価について示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ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>・サプレッション・チェンバアクセスハッチは原子炉格納容器に溶接で支持される。</p>	<p>・内径 [] 板厚 [] 長さ [] の円筒胴及び板厚 [] の鏡板で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>サプレッション・チェンバ アクセスハッチ</p> <p>サプレッション・チェンバ アクセスハッチ取付部</p> <p>円筒胴</p> <p>鏡板</p> <p>フランジ</p> <p>サプレッション・チェンバ アクセスハッチ 拡大図</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価は、添付書類「V-3-1-6 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 2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度」に基づき「2.1 構造計画」にて示す所員用エアロックの部位を踏まえた「3.2 解析範囲」にて設定する箇所において、供用状態Eにおける温度、圧力の条件による応力等が許容限界に収まることを、「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」に示す所員用エアロックの強度評価フローを図 2-1 に示す。

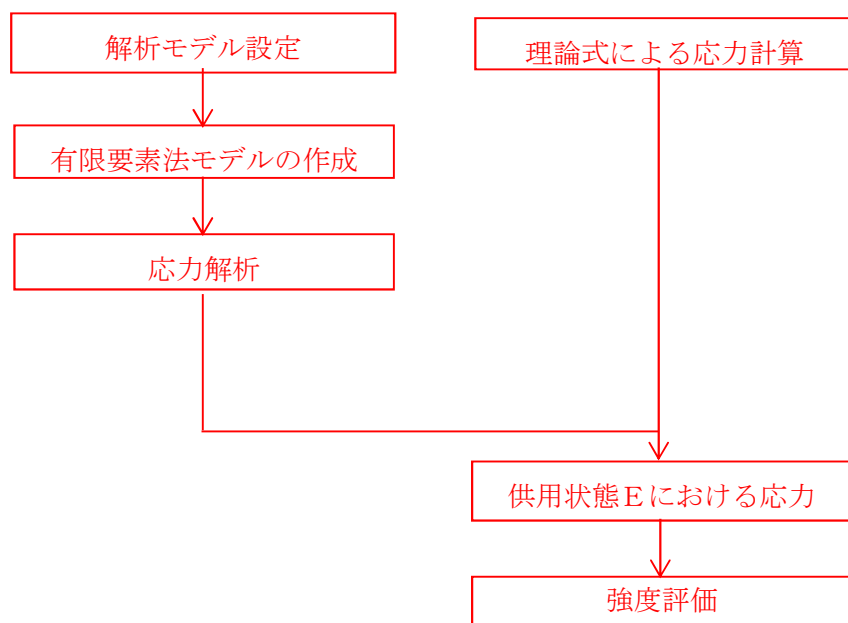


図 2-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチの強度評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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 SME S NC1-2005/2007 (日本機械学会) (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
A _b	ボルトの有効断面積	mm ²
b	長さ	mm
d	直径, ボルトの谷径	mm
G	長さ	mm
H	水平力, 荷重	N
h	長さ	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ	長さ	mm
n	ボルトの本数	—
M	曲げモーメント	N・mm
m	ガスケット係数	—
P	圧力	kPa
P _{SA}	内圧	kPa
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
R	半径, 長さ	mm
N	ガスケットの幅	mm
S	長さ	mm
S _u	材料の設計引張強さ	MPa
T	ガスケットの厚さ	mm
T _{SA}	温度	°C
t	板厚	mm
W	荷重	N
w	シート面の接触幅	mm
y	設計締付圧力	MPa
Z	断面係数	mm ³
α	角度	°
ν	ポアソン比	—
σ _m	曲げ応力	MPa
σ _L	一次局部膜応力	MPa
σ _m	曲げ応力	MPa
σ _T	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

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
面積	mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ¹
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ¹
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

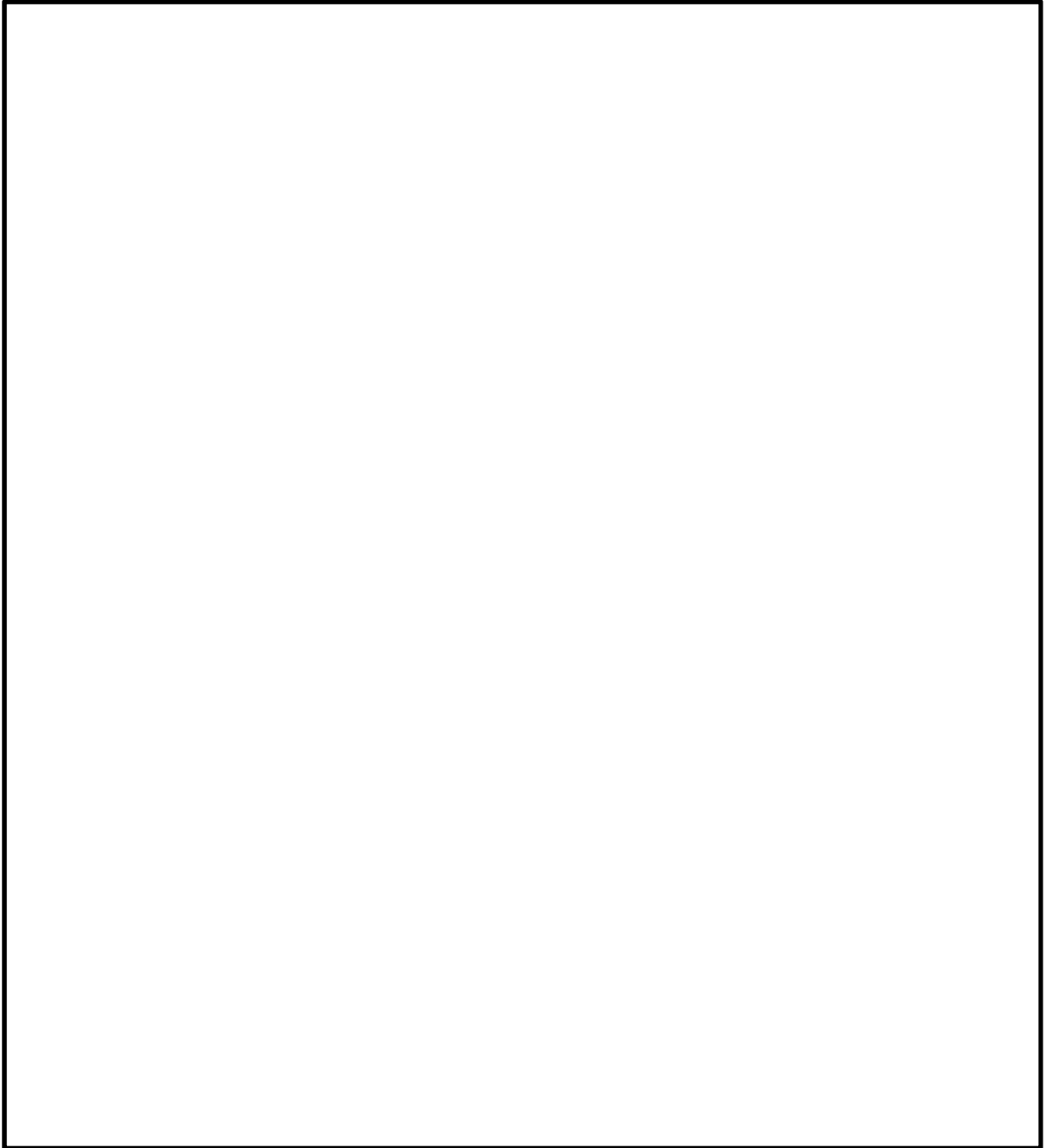
注記 *1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*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. 計算条件

3.1 形状及び主要寸法

サプレッション・チェンバアクセスハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



(単位：mm)

図 3-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチ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		備考
フランジ	SGV49 相当		SGV480*
鏡板	SGV49 相当		SGV480*
円筒胴	SGV49 相当		SGV480*
サプレッションチェンバ円筒部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*
ブラケット	SGV49 相当		SGV480*
ボルト	SNCM439 相当		

注記 * : 新 JIS を示す。

4. 強度評価

4.1 強度評価方法

- (1) サプレッション・チェンバアクセスハッチは、原子炉格納容器のサプレッション・チェンバ円筒胴に支持される構造物である。サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する自重、機械的荷重及び圧力荷重を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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限界

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

サプレッション・チェンバ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「V-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、組合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 許容限界

サプレッション・チェンバアクセスハッチの許容限界を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

サプレッション・チェンバアクセスハッチ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。また、使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッション・チェンバアクセスハッチ	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E*

D : 死荷重

P_{SA} : 供用状態Eにおける圧力荷重

M_{SA} : 供用状態Eにおける機械荷重

注記 * : 供用状態Eとして供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-2 許容限界(ボルトを除く)

供用状態	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
E*	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

注記 * : 供用状態Eとして供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-3 許容限界(ボルト)

供用状態	平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
E*	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

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）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周辺環境温度	200	-	-	422	-
SNCM439	周辺環境温度	200	-	-	865	-

表4-5 許容応力（ボルトを除く）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	供用状態	許容応力	
			一次応力	
			P _m	P _L + P _b
SGV480	200	E	281	422

表4-6 許容応力（ボルト）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	供用状態	許容応力	
			一次応力	
			平均引張応力	平均引張応力 + 曲げ応力
SGV480	200	E	576	864*

注記 * : 曲げ応力が発生しないため評価は省略する。

4.2.4 荷重条件

(1) 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_{SA} 620 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

(2) 死荷重

a. サプレッション・チェンバアクセスハッチの自重

b. ドライウエルの自重

サプレッション・チェンバアクセスハッチより上部の原子炉格納容器の自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(3) 水荷重

a. サプレッション・チェンバアクセスハッチ内保有水重量

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下記の冠水水位による水頭圧を考慮する。

冠水水位

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価点は、サプレッション・チェンバ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 4-7 及び図 4-1 に示す。

表 4-7 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	鏡板中央部
P 2	鏡板とフランジの結合部
P 3	フランジ
P 4	ブラケットとフランジの結合部
P 5	ブラケットと円筒胴の結合部
P 6	ボルト
P 7	円筒胴と補強板との結合部 (P 7-1 ~ P 7-3)
P 8	サプレッション・チェンバ円筒部シェルと補強板との結合部 (P 8-1 ~ P 8-3)

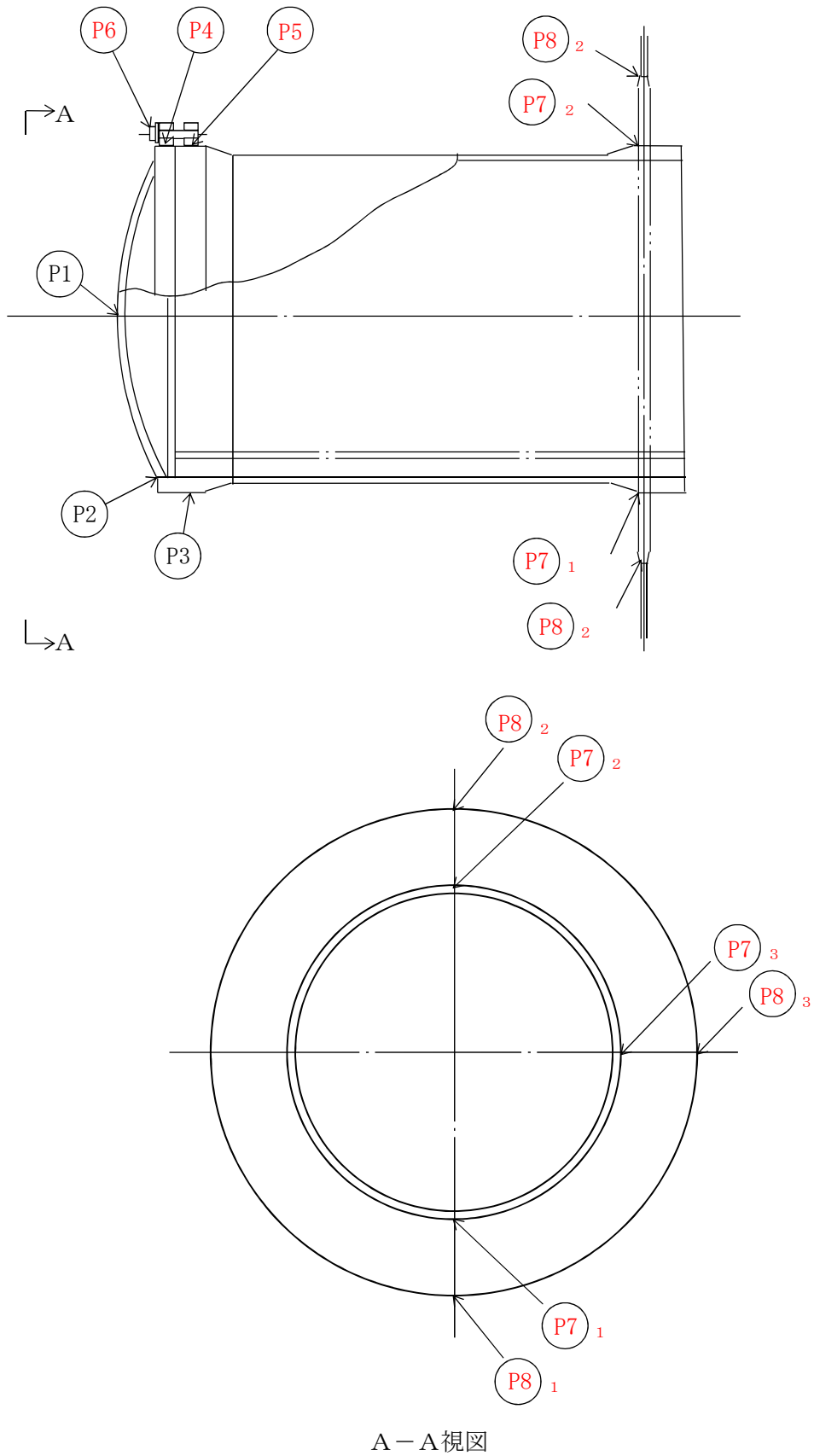


図 4-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価点

4.3.2 応力計算方法

荷重によりサプレッション・チェンバアクセスハッチに生じる応力は、応力評価点 P 1 ～ P 6 は理論解で計算し、応力評価点 P 7 及び P 8 は三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

4.3.2.1 鏡板及びヒンジ部の応力計算方法（応力評価点 P 1 ～ P 6）

(1) 鏡板（応力評価点 P 1 及び P 2）

a. 形状及び寸法

鏡板の形状及び寸法を図 5-2 に示す。

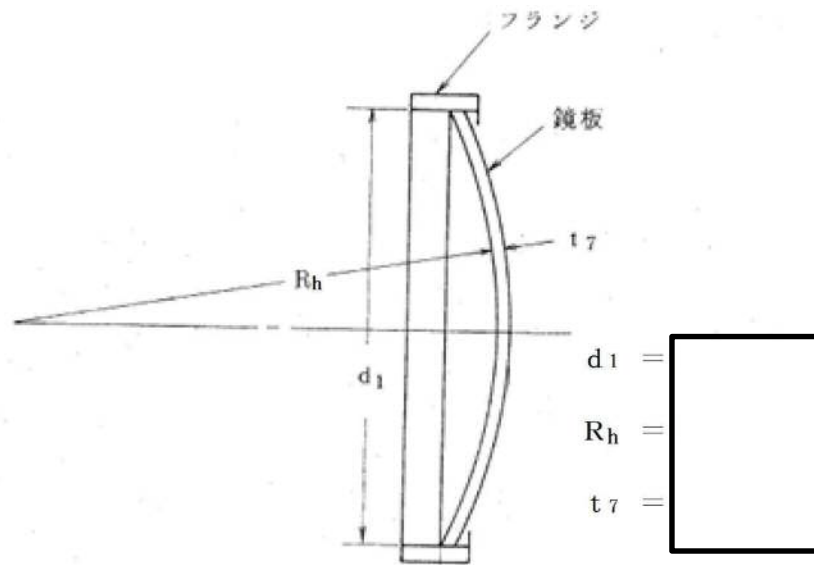


図4-2 鏡板の形状及び寸法（単位：mm）

b. 評価圧力による応力

(a) 応力評価点 P 1

評価圧力による発生応力を計算する。

$$\sigma_m = \frac{P \cdot R_h}{2 \cdot t_7}$$

(b) 応力評価点 P 2

鏡板が両端で固定されていると仮定すると、端部で曲げモーメント M_p 及び水平力 H を生じる。計算モデルを図 4-3 に示す。

曲げモーメント

$$M_p = -\frac{P \cdot R_m \cdot t_7}{4} \cdot \sqrt{\frac{1-\nu}{3 \cdot (1+\nu)}}$$

水平力

$$H = -\frac{P \cdot R_m \cdot (1-\nu)}{2 \cdot \lambda \cdot \sin \alpha}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot M_p}{t_7^2}$$

一次局部膜応力

$$\sigma_L = \frac{H \cdot \cos \alpha}{t_7}$$

ここに、 $R_m = R_h + t_7/2$

$$t_7 = \text{□}$$

$$\alpha = \text{□}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{3 \cdot (1-\nu^2) \cdot \left(\frac{R_m}{t_7}\right)^2}$$

ν : ポアソン比=0.3

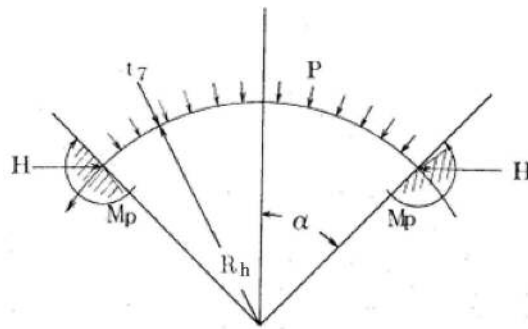
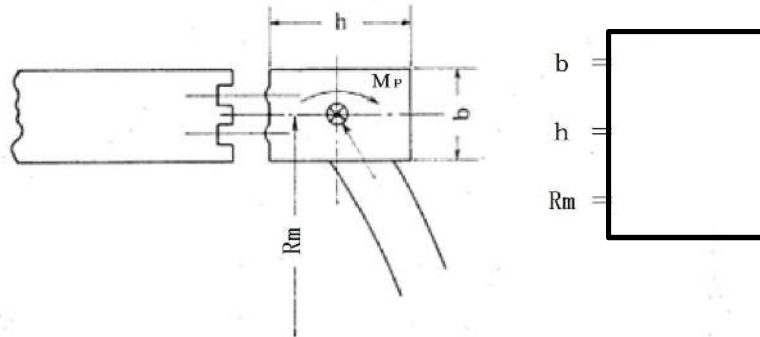


図 4-3 計算モデル

(2) フランジ (応力評価点 P 3)

a. 形状及び寸法

フランジの形状及び寸法を図 5-4 に示す。



(単位：mm)

図4-4 フランジの形状及び寸法

b. フランジの応力

鏡板端部に発生する曲げモーメントによるフランジの応力を計算する。

(a) 評価圧力による応力

曲げ応力

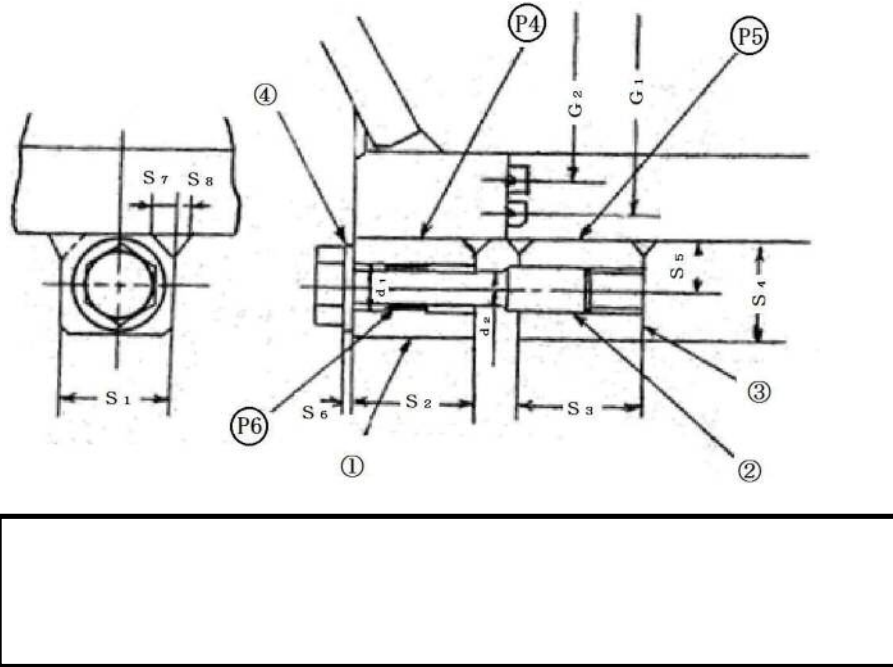
$$\sigma_m = \frac{M_p \cdot R_m \cdot h}{2 \cdot I}$$

ここに、 I : フランジの断面二次モーメント $= \frac{b \cdot h^3}{12}$

(3) ブラケット及びボルト (応力評価点 P 4 ~ P 6)

a. 形状及び寸法

ブラケット及びボルトの形状及び寸法を図 5-5 に示す。



① ブラケット ② ボルト ③ ブラケット ④ ワッシャ

(単位 : mm)

図4-5 ブラケット及びボルトの形状及び寸法

b. 応力算出に係わる構成部材

(a) ボルト

イ. 呼び

ロ. ボルトの谷径*

ハ. ボルトの本数

ニ. ボルトの有効断面積

d

n

A_b

$A_b = 0.785 \cdot d^2 \cdot n =$

注記 * : 応力計算で用いるボルト径は、安全側にボルトの谷径を用いる。

(b) ガasket

イ. 材料

ロ. ガasket係数

ハ. 設計締付圧力

ニ. シート面の接触幅

ホ. ガasketの幅

ヘ. ガasketの厚さ

ト. ガasket座面の基本幅 b

m

y

w

N

T

$b_o = \frac{(w + T)}{2} =$ mm

$b_{max} = \frac{(w + N)}{4} =$ mm

ゆえに、

$b_o =$ mm $> 1/4in = 6.35$ mm

b : 有効gasket幅 $= \sqrt{25.4 b_o} / 2 =$ mm

(c) ボルトに加わる荷重

イ. 内圧によってフランジに作用する荷重

$H = 0.785 \cdot G_1^2 \cdot P$

ロ. ガasketに加える圧縮力

$H_p = 2 \cdot b \cdot 3.14 \cdot m \cdot P \cdot (G_1 + G_2)$

ハ. 設計ボルト荷重

$W_m = H - H_p$

(d) 評価圧力による応力

イ. ボルト 1 本あたりの荷重

$$W_b = \frac{W_m}{n}$$

ロ. ブラケット溶接部の断面積及び断面係数

(イ) 溶接部の断面積

$$A = 2 \cdot b' \cdot h$$

ここに, b' : 溶接部ののど厚 = mm

$$h = S_2 \text{ (応力評価点 P 4)}$$

$$= S_3 \text{ (応力評価点 P 5)}$$

(ロ) 溶接部の断面係数

$$Z = 2 \cdot \frac{b' \cdot h^2}{6}$$

c. ブラケット溶接部の応力 (応力評価点 P 4 及び P 5)

ブラケットは応力が最も厳しくなるブラケット溶接部について算出する。

曲げモーメント

$$M = W_b \cdot S_5$$

せん断応力

$$\tau = \frac{W_b}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

応力強さ

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

d. ボルトの引張応力 (応力評価点 P 6)

$$\sigma_T = \frac{W_b}{A}$$

ここに, A : ボルトねじ部の断面積 = $\pi \cdot d^2 / 4$

4.3.2.2 円筒胴と補強板との結合部及びドライウェル円錐部シェルと補強板との結合部に生じる応力の算出（応力評価点P7及びP8）

- (1) サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する荷重による応力
サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する死荷重による応力は、図4-6に示すサプレッション・チェンバアクセスハッチの解析モデルに質量を等分布に付加し算出する。解析モデルの諸元を表4-8に示す。
- (2) 原子炉格納容器に作用する荷重による応力
原子炉格納容器に作用する圧力及び死荷重による応力は、添付書類「V-3-9-1-1-4ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」で解析した応力を用いる。
- (3) 応力の足し合わせ
表4-1及び図4-1で示した応力評価点P7及びP8での応力は、(1)で求めたサプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する荷重による応力と、(2)で求めた原子炉格納容器に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。
- (4) 解析コード
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・MSC NASTRAN」に示す。

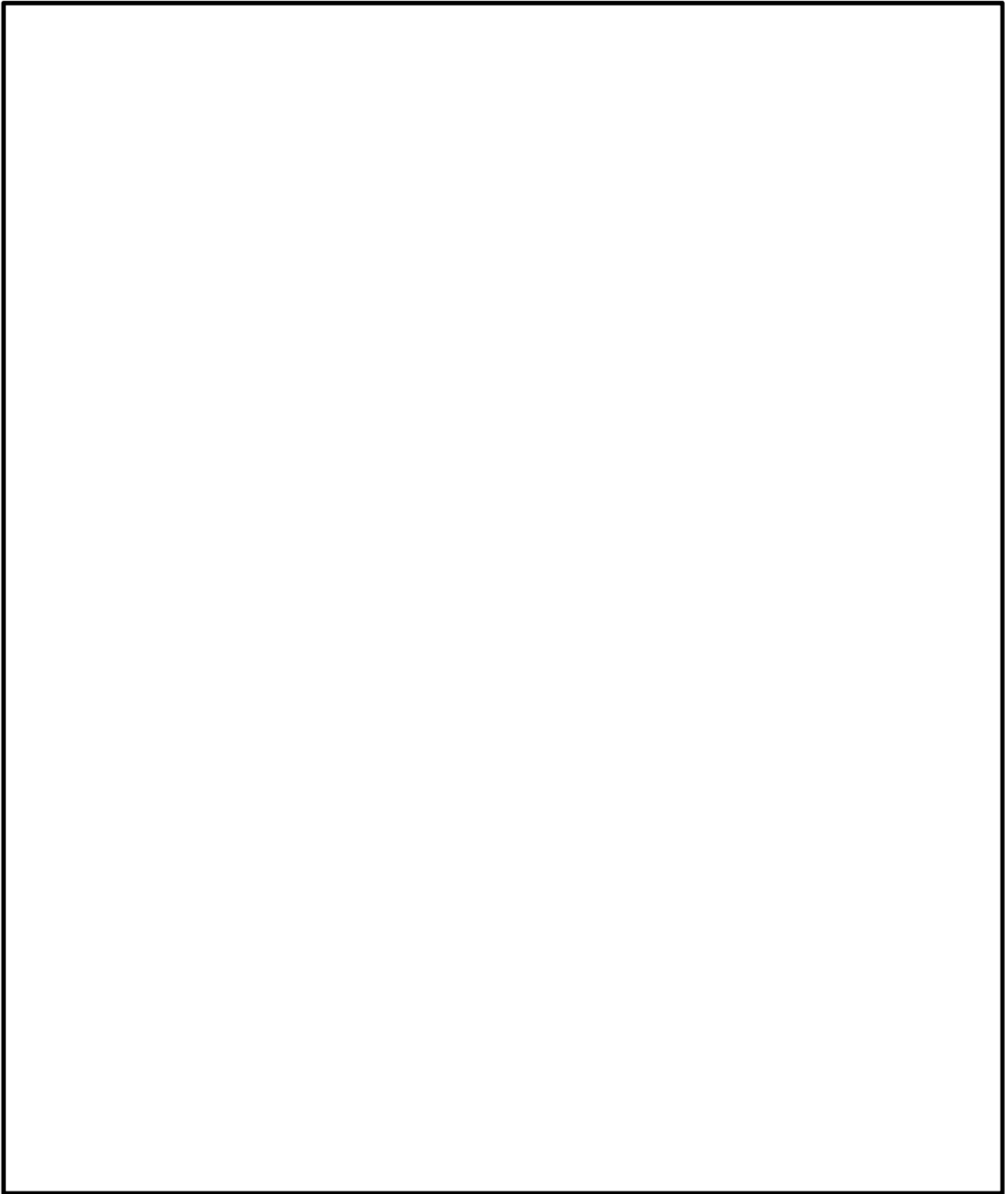


図 4-6 サプレッション・チェンバアクセスハッチ解析モデル

表 4-8 サプレッション・チェンバアクセスハッチの解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m _o	kg	
温度条件	T	℃	66(ドライウエル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
節点数	—	個	
要素数	—	個	

4.4 計算条件

応力計算に用いる自重及び荷重は、本計算書の 4.2 項 荷重の組合せ及び許容限界に示す。

4.5 応力の評価

4.3 項 計算方法で求めた応力は表 4-2 及び 4-3 に記載される値以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・チェンバアクセスハッチの重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 6-1 (1) 供用状態E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	E		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション ・チェンバ アクセスハッチ	P 1	鏡板中央部	一次一般膜応力強さ	18	281	○	
	P 2	鏡板とフランジの結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	26	422	○	
	P 3	フランジ	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	29	422	○	
	P 4	ブラケットとフランジの結合部	応力強さ	98	422	○	
	P 5	ブラケットと円筒胴の結合部	応力強さ	98	422	○	
	P 6	ボルト	応力強さ	176	576	○	

表 6-1 (2) 供用状態 E 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	E		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション ・チェンバ アクセスハッチ	P 7 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	269	422	○	
	P 7 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	284	422	○	
	P 7 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	276	422	○	
	P 8 - 1	サプレッション・チェンバ円筒部 シェルと補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	270	422	○	
	P 8 - 2	サプレッション・チェンバ円筒部 シェルと補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	283	422	○	
	P 8 - 3	サプレッション・チェンバ円筒部 シェルと補強板との結合部	一次膜応力強さ＋一次曲げ 応力強さ	277	422	○	