

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密また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-1005 改2
提出年月日	平成30年8月29日

## V-3-9-1-2-2 機器搬入用ハッチの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
3. 形状及び主要寸法	5
4. 設計条件	6
4.1 設計荷重	6
4.2 材料及び許容応力	7
5. 応力計算	9
5.1 応力評価点	9
5.2 計算方針	11
6. 評価結果	19
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

## 1. 概要

本計算書は、機器搬入用ハッチの強度計算書である。

機器搬入用ハッチは、設計基準対象施設の機器搬入用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。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和48年4月9日付け47公第12076号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-3-3-9 イクイプメントハッチ強度計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

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、機器搬入用ハッチの強度評価について記載する。

## 2. 構造説明

### 2.1 構造計画

機器搬入用ハッチの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

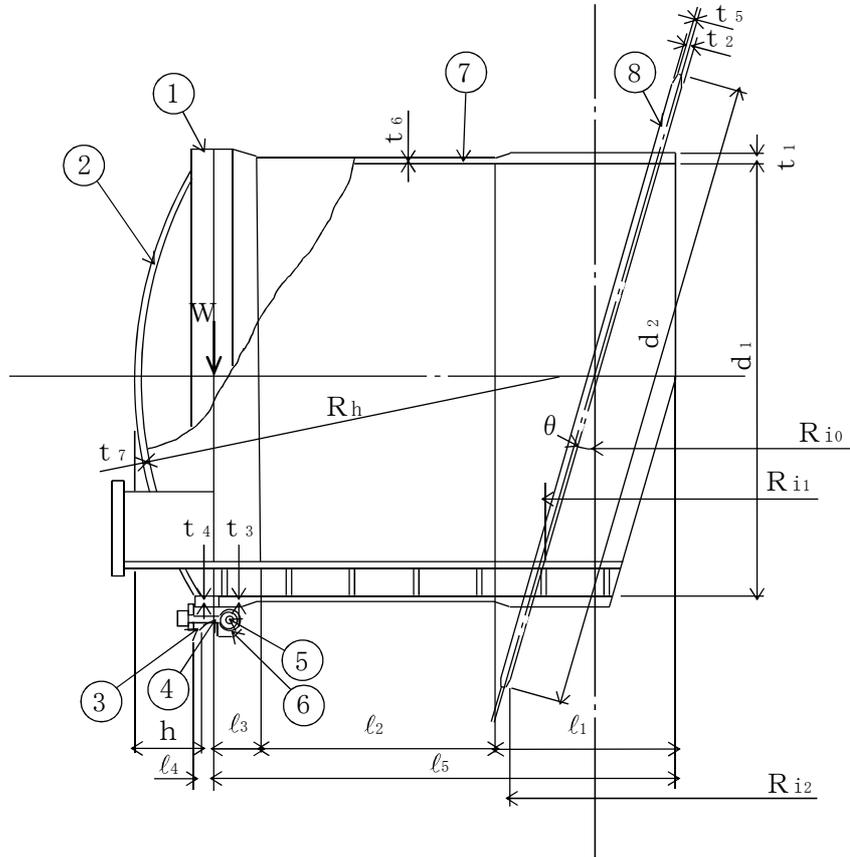
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>・機器搬入用ハッチは原子炉格納容器に支持される。</p>	<p>・内径 <input type="text"/> 板厚 <input type="text"/> 長さ <input type="text"/> の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> の鏡板で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>機器搬入用ハッチ</p>

## 2.2 評価方針

- (1) 各荷重による応力は、実績のある3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 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」に示す。
- (3) 本計算書における評価部位は、機器搬入用ハッチの形状及び応力入力レベルを考慮し、鏡板中央部、鏡板とフランジの結合部、フランジ、ブラケットとフランジの結合部、ブラケットと円筒胴の結合部、ヒンジボルト、ピン、ピン取付部、機器搬入用ハッチ本体と補強板との結合部、ドライウェル円錐部シェルと補強板との接合部とする。

3. 形状及び主要寸法

機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。



- ①フランジ ②鏡板 ③ブラケット ④ヒンジボルト ⑤ピン ⑥ブラケット ⑦円筒胴  
⑧補強板



図 3-1 機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

#### 4. 設計条件

##### 4.1 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

内圧  $P_{SA}$                       620 kPa

温度  $T_{SA}$                       200 °C

###### (2) 死荷重

a. 機器搬入用ハッチの自重

b. ドライウエルの自重

機器搬入用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。

## 4.2 材料及び許容応力

## (1) 材料

使用材料及び使用部位を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
フランジ	SGV49 相当	[Redacted]	SGV480*
鏡板	SGV49 相当		SGV480*
円筒胴	SGV49 相当		SGV480*
ドライウエル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*
ブラケット	SGV49 相当		SGV480*
ヒンジボルト	SNCM439 相当	[Redacted]	
ピン	SNCM439 相当		

注記 \* : 新 JIS を示す。

## (2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、**供用状態に対する許容限界を表 4-3 及び表 4-4**、許容応力を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-2 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	供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入用ハッチ	重大事故等クラス 2 容器	D + P <sub>SA</sub>	E (EとしてDの許容限界を用いる)

表 4-3 許容限界(ボルトを除く) (重大事故等クラス 2 容器 (クラスMC 容器))

供用状態	荷重の組合せ	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
E (EとしてDの許容 限界を用いる)	$D + P_{SA}$	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

表 4-4 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 (EとしてDの許容 限界を用いる)	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

表4-5 許容応力 (重大事故等対処設備)

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力	
		一次応力	
		$P_m$	$P_L + P_b$
SGV480	E	281	422

表4-6 ボルトの許容応力 (重大事故等対処設備)

(単位 : MPa)

材料	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
SNCM439	E	576	864*

注記 \* : 曲げ応力が発生しないため評価は省略する。

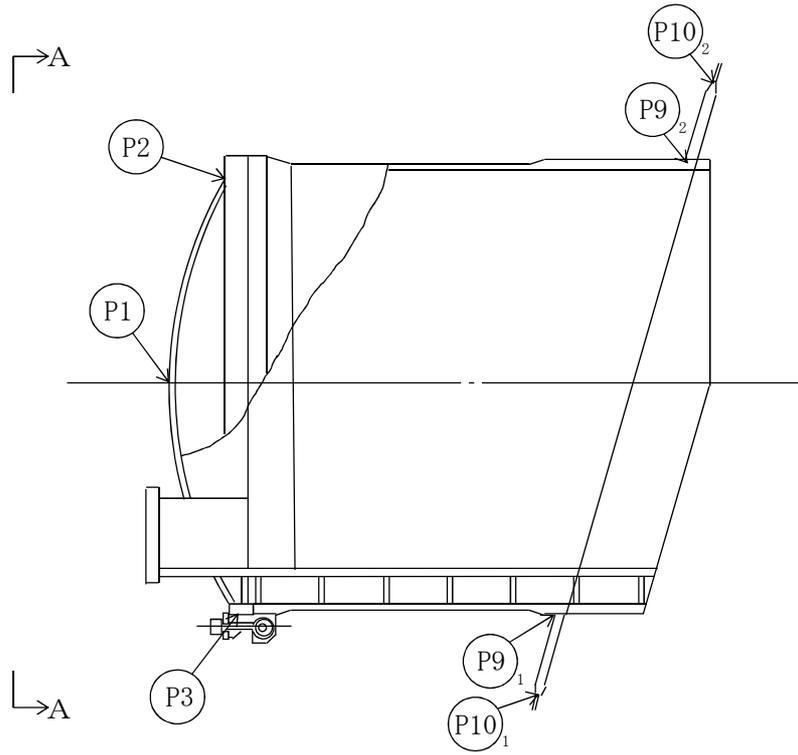
## 5. 応力計算

### 5.1 応力評価点

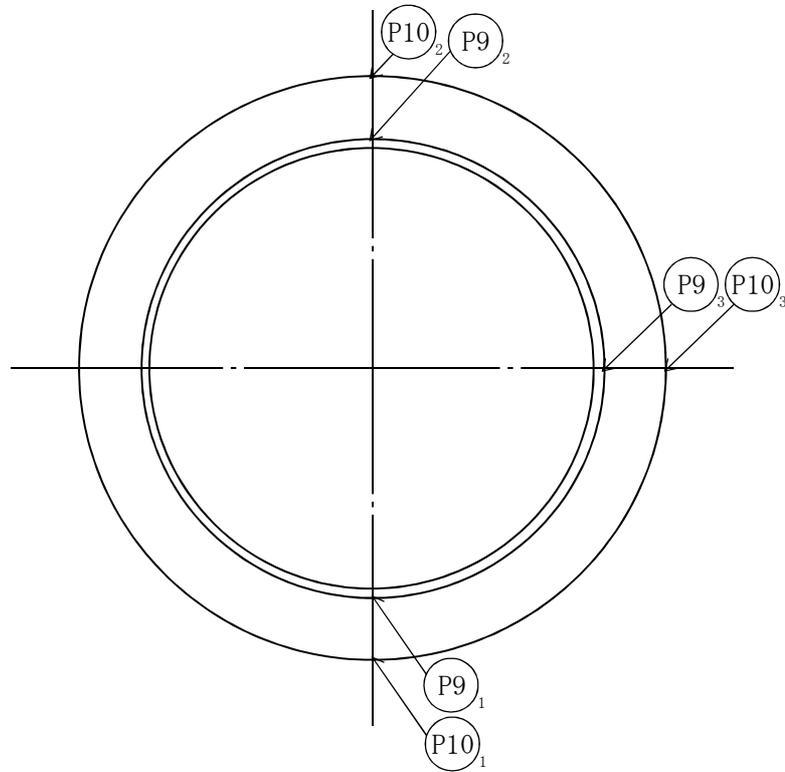
機器搬入用ハッチの形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 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	ヒンジボルト
P 7	ピン
P 8	ピン取付部
P 9	機器搬入用ハッチ本体と補強板との結合部 (P 9-1 ~ P 9-3)
P 10	ドライウエル円錐部シェルと補強板との接合部 (P 10-1 ~ P 10-3)



注：ヒンジ部（P 4～P 8）の応力評価点については図 5-5 に示す。



A-A 視図

図 5-1 機器搬入用ハッチの応力評価点

5.2 計算方針

各荷重により機器搬入用ハッチに生じる応力は、応力評価点P 1～P 8は理論解で計算し、  
 応力評価点P 9及びP 10は解析コードMSC NASTRANを使用して計算する。

5.2.1 鏡板（応力評価点P 1及びP 2）

(1) 形状及び寸法

鏡板の形状及び寸法を図5-2に示す。

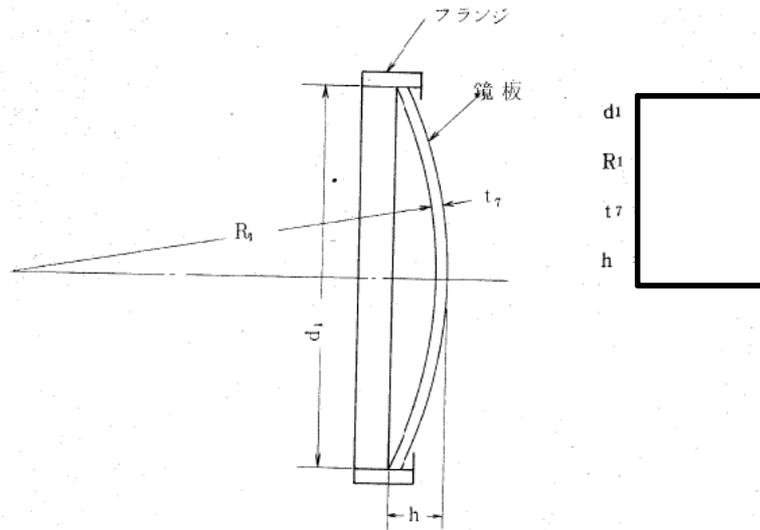


図5-2 鏡板の形状及び寸法（単位：mm）

(2) 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。

$$\sigma_m = \frac{P \cdot R_1}{2 \cdot t_7}$$

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 5-3 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、

$$R_m = R_1 + t_7/2$$

$$\alpha = \arctan \left( \frac{t_7}{2R_m} \right)$$

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

$\nu$  : ポアソン比=0.3

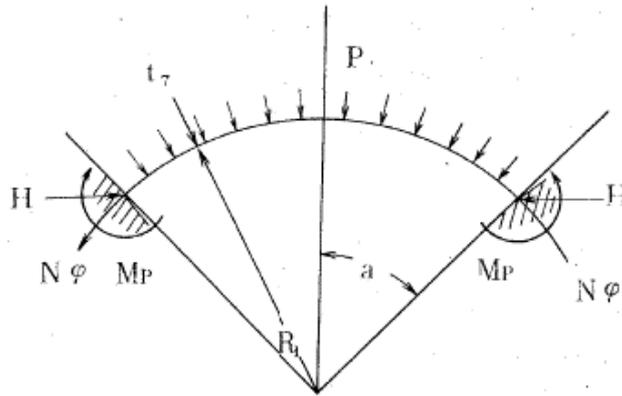


図 5-3 計算モデル

5.2.2 フランジ（応力評価点 P 3）

(1) 形状及び寸法

フランジの形状及び寸法を図 5-4 に示す。

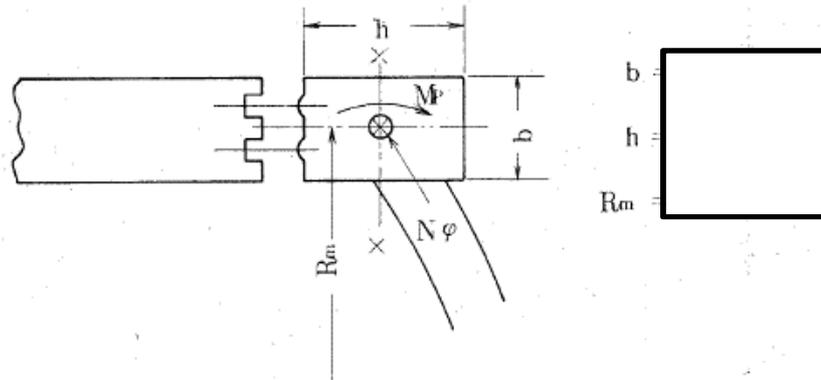


図 5-4 計算モデル（単位：mm）

(2) 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  $X-X$  軸に関する断面二次モーメント  $= \frac{b \cdot h^3}{12}$

5.2.3 ブラケット、ヒンジボルト及びピン（応力評価点P4～P8）

(1) 形状及び寸法

ブラケット、ヒンジボルト及びピンの形状及び寸法を図5-5に示す。

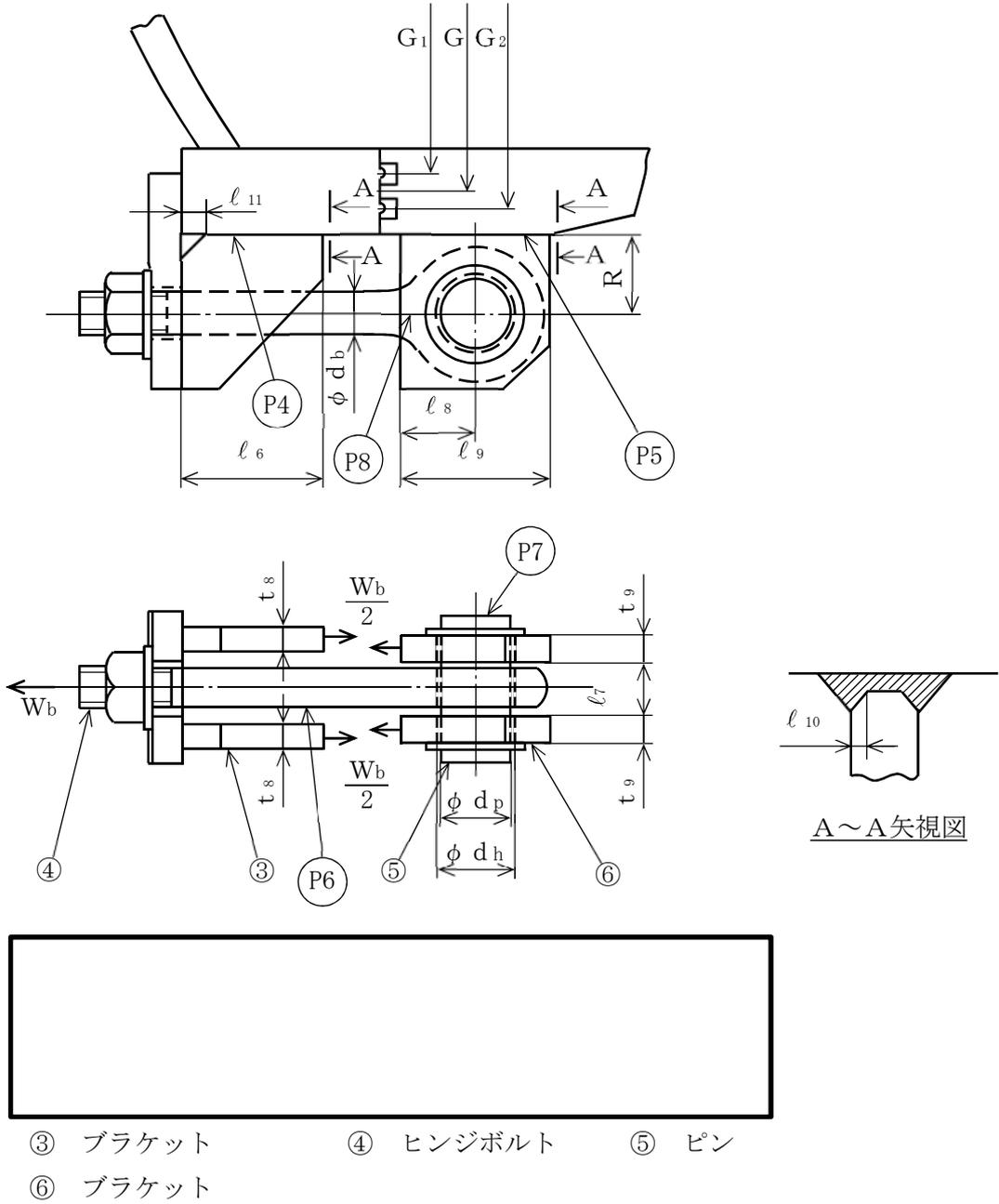


図5-5 ブラケット、ヒンジボルト及びピンの形状及び寸法（単位：mm）

(2) 応力算出に係わる構成部材

a. ボルト

- (a) 呼び
  - (b) ボルトの谷径 d
  - (c) ボルトの本数 n
  - (d) ボルトの有効断面積 A<sub>b</sub>
- $$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot n = \text{[ ]}$$

b. ガasket

- (a) 材料
- (b) ガasket係数 m
- (c) 設計締付圧力 y
- (d) シート面の接触幅 w
- (e) ガasketの幅 N
- (f) ガasketの厚さ T
- (g) ガasket座面の基本幅 b

$$b_0 = \frac{(w + T)}{2} \text{ [ ]}$$

$$b_{0max} = \frac{(w + N)}{4} \text{ [ ]}$$

ゆえに,

$$b_0 = \text{[ ]}$$

$$b = b_0 = \text{[ ]}$$

(3) ボルトに加わる荷重

a. 内圧によってフランジに作用する荷重

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

b. ガasketに加える圧縮力

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

c. 設計ボルト荷重

$$W_m = H - H_p$$

(4) 評価圧力による応力

a. ボルト1本あたりの荷重

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

b. ブラケットとフランジ又は円筒胴の結合部の応力 (応力評価点 P 4, P 5)

(a) P 4 における応力

せん断応力

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

曲げ応力

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

応力強さ

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

ここに, A : 溶接部の断面積 =  $2 \cdot l_{10} \cdot (l_6 - l_{11})$

$l_{10}$  : 溶接部ののど厚 =

$$M = W_b \cdot R$$

$$Z : \text{溶接部の断面係数} = 2 \cdot \frac{l_{10} \cdot (l_6 - l_{11})^2}{6}$$

(b) P 5 における応力

せん断応力

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

曲げ応力

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

応力強さ

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

ここに, A : 溶接部の断面積 =  $2 \cdot l_{10} \cdot l_9$

$$Z : \text{溶接部の断面係数} = 2 \cdot \frac{l_{10} \cdot l_9^2}{6}$$

c. ヒンジボルトの応力 (応力評価点 P 6)

引張応力

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

ここに, A : ボルトの断面積 =  $\frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$

- d. ピンの応力（応力評価点 P 7）

せん断応力

$$\tau = \frac{W_b}{2 \cdot A}$$

曲げ応力

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

応力強さ

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

ここに、A：ピンの断面積  $= \frac{\pi}{4} \cdot d_p^2$

$$M = \frac{W_b \cdot t_9 + l_7}{2}$$

$$Z : \text{ピンの断面係数} = \frac{\pi}{32} \cdot d_p^3$$

ここで、せん断応力と曲げ応力が同じ位置に作用すると考える。

- e. ピン取付部の応力（応力評価点 P 8）

P 8 におけるせん断応力

$$\tau = \frac{W_b}{2 \cdot A}$$

ここに、

$$A : \text{ピン取付部のせん断面積} = 2 \cdot t_9 \cdot (l_8 - d_h / 2)$$

- 5.2.4 機器搬入用ハッチ本体と補強板との結合部及びドライウエル円錐部シェルと補強板との接合部（応力評価点 P 9 及び P 10）

機器搬入用ハッチ本体と補強板との結合部及びドライウエル円錐部シェルと補強板との接合部については、解析コード MSC NASTRAN を使用して計算する。計算モデルを図 5-6 に示す。

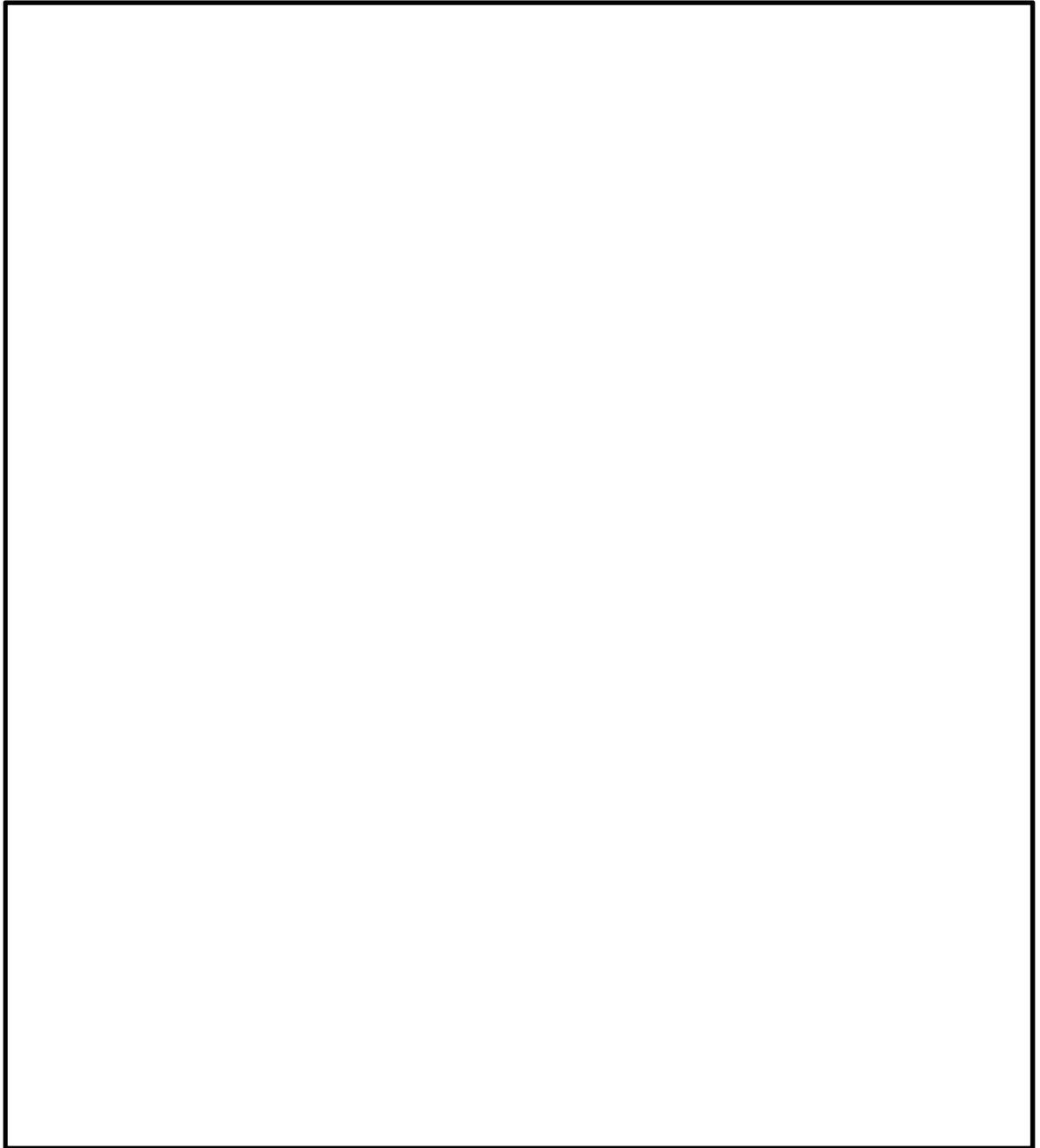


図 5-6 計算モデル

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬入用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。発生値は評価基準値を満足している。

#### (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 6-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P<sub>SA</sub>) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1	鏡板中央部	一次一般膜応力	18	281	○	
	P 2	鏡板とフランジの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	25	422	○	
	P 3	フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	87	422	○	
	P 4	ブラケットとフランジの結合部	応力強さ	242	422	○	
	P 5	ブラケットと円筒胴の結合部	応力強さ	180	422	○	
	P 6	ヒンジボルト	応力強さ	216	576	○	
	P 7	ピン	応力強さ	221	576	○	
	P 8	ピン取付部	応力強さ	124	422	○	

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P<sub>SA</sub>) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 9 - 1	機器搬入用ハッチ本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	235	422	○	
	P 9 - 2	機器搬入用ハッチ本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	243	422	○	
	P 9 - 3	機器搬入用ハッチ本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	239	422	○	
	P 1 0 - 1	ドライウェル円錐部シェルと 補強板との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	236	422	○	
	P 1 0 - 2	ドライウェル円錐部シェルと 補強板との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	242	422	○	
	P 1 0 - 3	ドライウェル円錐部シェルと 補強板との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	239	422	○	