

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3
提出年月日	平成30年9月3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. 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
3. 計算条件	5
3.1 形状及び主要寸法	5
3.2 解析範囲	6
3.3 材料	6
3.4 荷重の組合せ及び許容限界	6
4. 荷重条件	8
4.1 設計条件	8
5. 応力計算	9
5.1 応力評価点	9
5.2 応力解析の手順	11
5.2.1 応力解析の概要	11
5.2.2 荷重条件	11
5.2.3 応力計算方法	12
5.2.3.1 鏡板	12
5.2.3.2 フランジ	14
5.2.3.3 ブラケット, ヒンジボルト及びピン	15
5.2.3.4 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 補強板との接合部	19
6. 評価結果	22

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PMENT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. 一般事項

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のドライウエル円錐部に溶接で支持される。</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>	

2.2 評価方針

- (1) 各荷重による応力評価には、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。
- (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・MSC NASTRAN」に示す。

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 S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）

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	$\text{N}\cdot\text{mm}$
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_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	$^{\circ}\text{C}$
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	$^{\circ}$
ν	ポアソン比	—
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_L	一次局部膜応力	MPa
σ_m	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
θ	角度	$^{\circ}$

3. 計算条件

3.1 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。

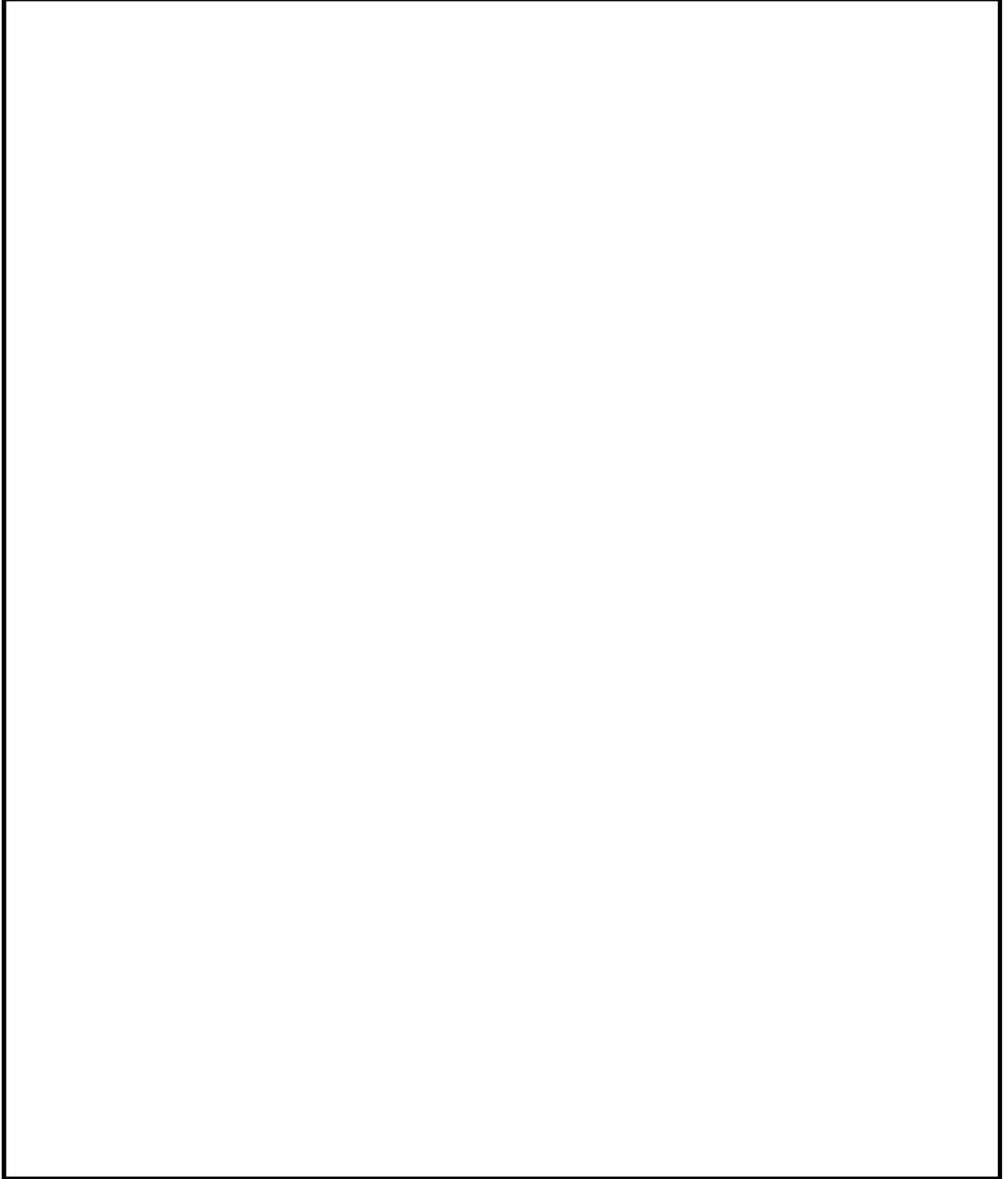


図 3-1 機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法

3.2 解析範囲

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。

3.3 材料

応力計算に使用する材料を表 4-1 に示す。

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*
ドライウェル円錐部シェル	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		
ピン	SNCM439 相当		

注記 * : 新 JIS を示す。

3.4 荷重の組合せ及び許容限界

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 3-2 に、供用状態に対する許容限界を表 3-3 及び表 3-4、許容応力を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表3-2 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	機器搬入用ハッチ	重大事故等クラス 2 容器	$D + P_{SA}$	E (EとしてDの許容限界を用いる)

D : 死荷重

P_{SA} : 運転状態Vにおける圧力荷重

表 3-3 許容限界(ボルトを除く)

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 3-4 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3-5 許容応力 (ボルトを除く)

(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3-6 許容応力 (ボルト)

(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	865*

注記 * : 曲げ応力が発生しないため評価は省略する。

4. 荷重条件

4.1 設計条件

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

- (1) 内圧 P_{SA} 620 kPa
- (2) 温度 T_{SA} 200 °C
- (3) 死荷重

a. 機器搬入用ハッチの自重

b. ドライウェルの自重

機器搬入用ハッチより上部のドライウェルの自重及びシェルに取付くアタッチメントの自重の重量を死荷重とする。

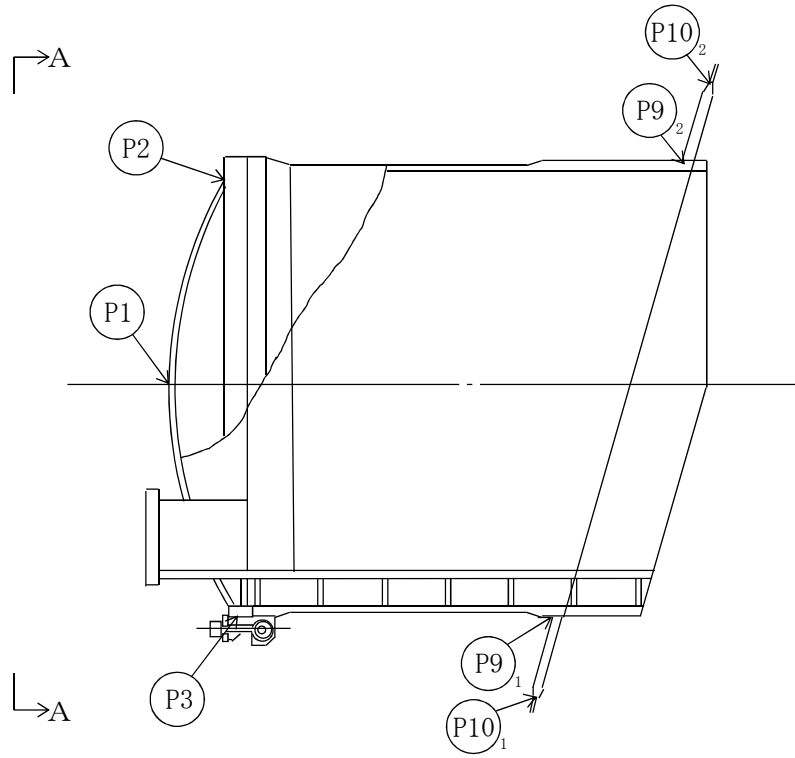
5. 応力計算

5.1 応力評価点

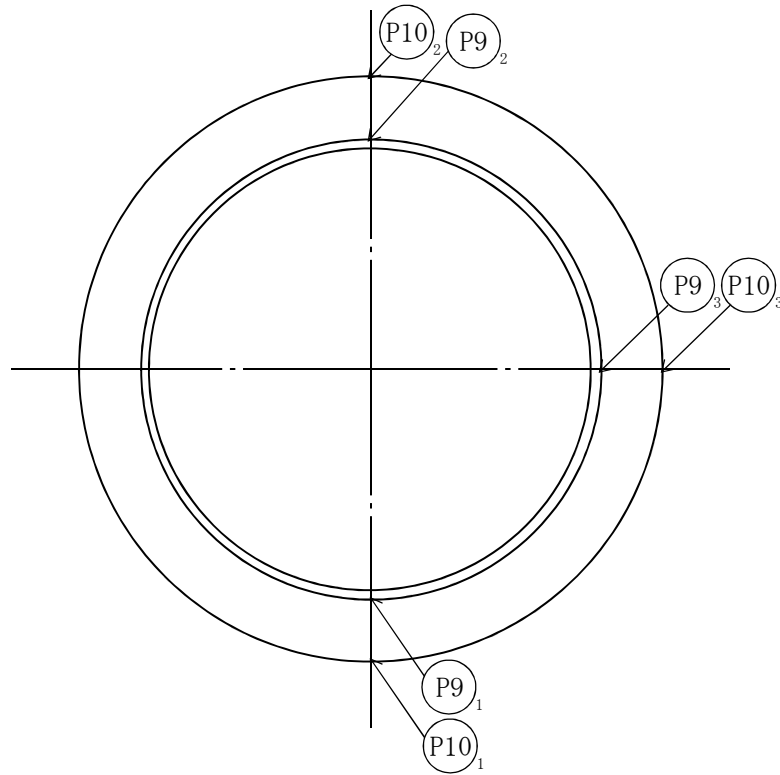
機器搬入用ハッチの応力評価点は、機器搬入用ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

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	円筒胴と補強板との結合部 (P 9-1 ~ P 9-3)
P 10	ドライウェ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 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

5.2.1 応力解析の概要

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は理論解で計算し算出する。応力評価点P 9及びP 10の応力の算出には、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。

5.2.2 荷重条件

応力解析においては4. 荷重条件で示した荷重で計算を行う。

5.2.3 応力計算方法

5.2.3.1 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。

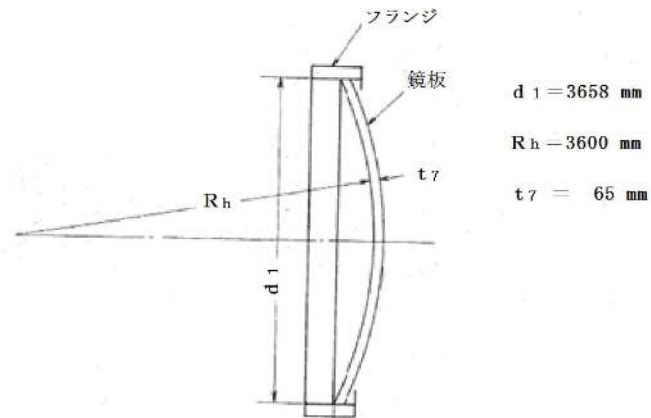


図5-2 鏡板の形状及び寸法（単位：mm）

(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。

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

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 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、

$$R_m = R_h + t_7 / 2$$

$$t_7 = \boxed{}$$

$$\alpha = \boxed{}$$

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

ν : ポアソン比 = 0.3

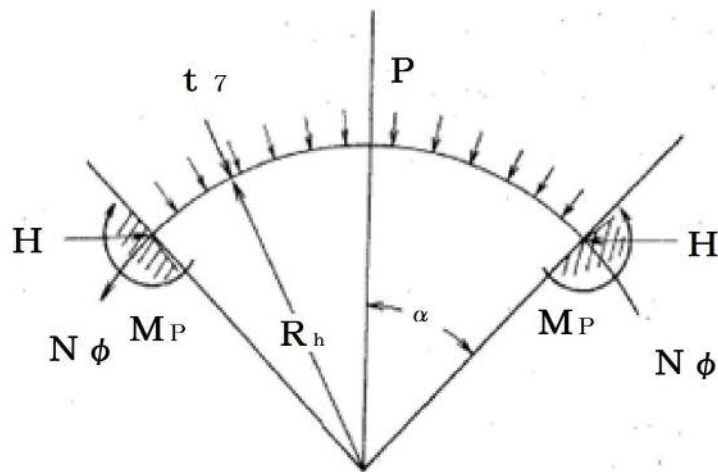


図 5-3 計算モデル

5.2.3.2 フランジ（応力評価点P3）

(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。

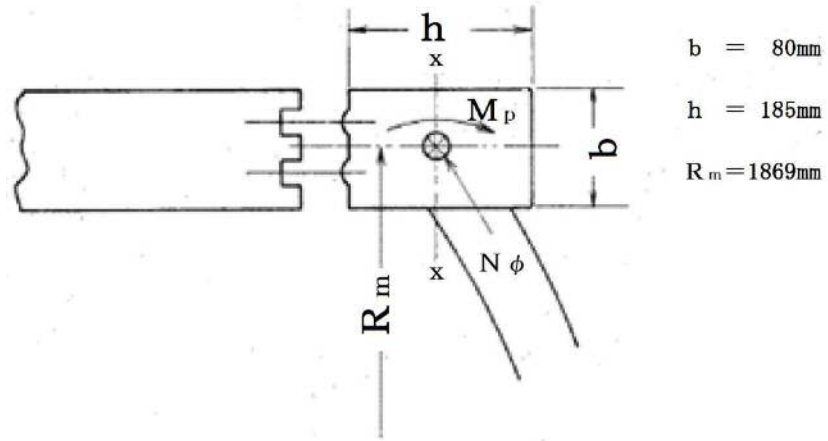


図 5-4 計算モデル（単位：mm）

(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

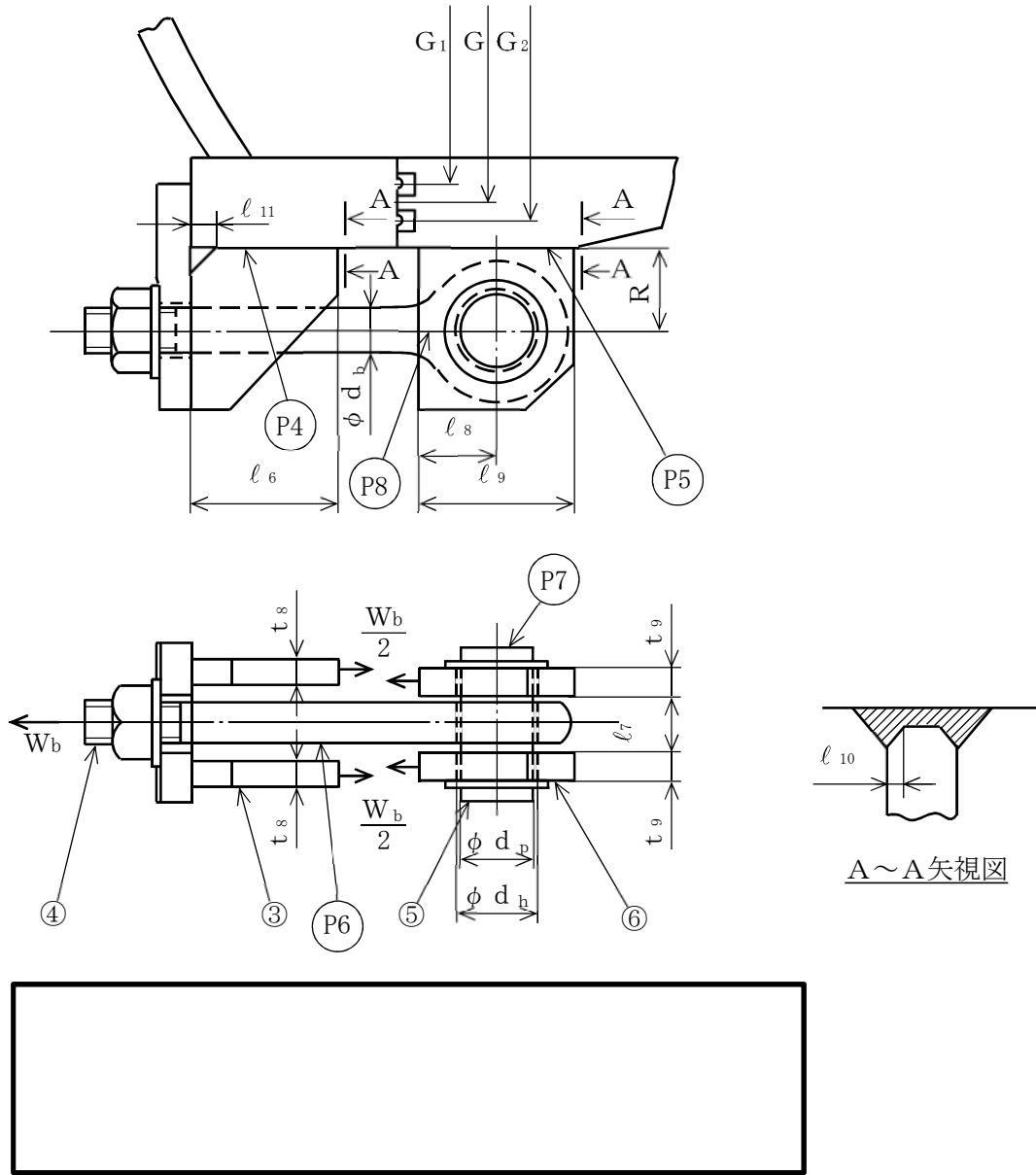
$$\sigma_m = \frac{M_p \cdot R_m \cdot h}{2 \cdot I}$$

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 $= \frac{b \cdot h^3}{12}$

5.2.3.3 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。



- ③ ブラケット ④ ヒンジボルト ⑤ ピン
- ⑥ ブラケット

(単位：mm)

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

(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_b

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot n =$$

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. ガスケット

(a) 材料

(b) ガスケット係数

m

(c) 設計締付圧力

y

(d) シート面の接触幅

w

(e) ガスケットの幅

N

(f) ガスケットの厚さ

T

(g) ガスケット座面の基本幅

b

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

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

ゆえに、

$$b_0 =$$
$$b = b_0 =$$

(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. ガスケットに加える圧縮力

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

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 = $2 \cdot l_{10} \cdot (l_6 - l_{1HP1})$

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 = $2 \cdot l_{10} \cdot l_9$

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

注記* : 溶接部の継ぎ手効率 は 1.0

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 $= \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$

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

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

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、

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

5.2.3.4 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接合部 (応力評価点P 9及びP 10)

(1) 機器搬入用ハッチに作用する荷重による応力

機器搬入用ハッチに作用する死荷重による応力は、図 5-6 に示す機器搬入用ハッチの解析モデルを用いて算出する。解析モデルの諸元を表 5-2 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 5-1 及び図 5-1 で示した応力評価点での応力は、(1)で求めた機器搬入用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。

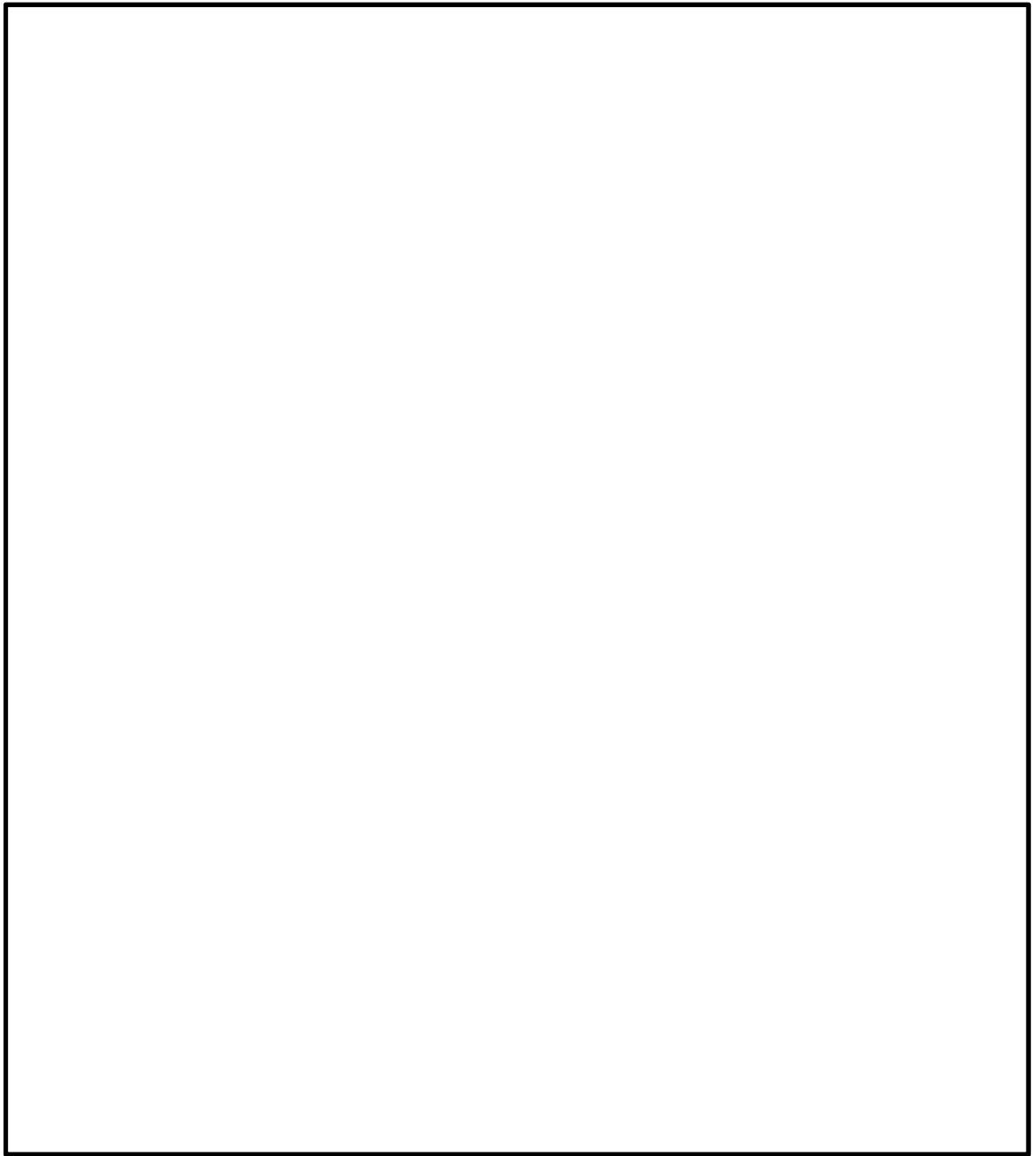


図 5-6 機器搬入用ハッチ解析モデル

表 5-2 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	<input type="text"/>
温度条件	T	°C	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
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

6. 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 6-1 に示す。

表 3-2 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_{SA}) (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	許容値		
				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	25	422	○	
	P 3	フランジ	一次膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ	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_{SA}) (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	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 9 - 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	235	422	○	
	P 9 - 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	243	422	○	
	P 9 - 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	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	一次膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ	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	一次膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ	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	一次膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ	239	422	○	