

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-1005 改4
提出年月日	平成30年9月13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
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	23
4.5 応力の評価	23
5. 評価結果	24

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。

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示す。

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ェル円錐部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>	

2.2 評価方針

機器搬入用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」に基づき「2.1 構造計画」にて示す機器搬入用ハッチの部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、供用状態Eにおける温度、圧力の条件により評価部位に作用する荷重で発生す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。

機器搬入用ハッチの強度評価フローを図 2-1 に示す。

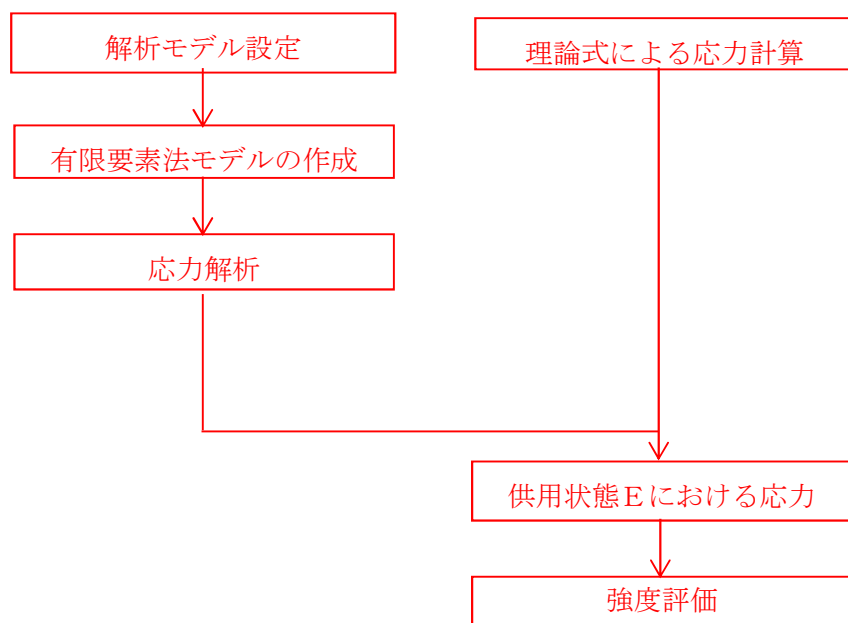


図 2-1 機器搬入用ハッチの強度評価フロー

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 S M E S N C 1-2005/2007（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, ガasket座面の基本幅	mm
d _i	各部位の直径 (i=1, 2, b, h, p)	mm
d	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
i	各部位の長さ (i=1, 2, 3…)	mm
n	ボルトの本数	—
M _p	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	長さ	mm
R _{in}	各部位の半径 (n=0, 1, 2)	mm
R _h	鏡板の半径	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	°C
t _i	各部位の板厚 (i=1, 2, 3…)	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 _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

記号	記号の説明	単位
σ	引張応力, 応力強さ	MPa
θ	角度	°

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は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
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. 評価部位

機器搬入用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。

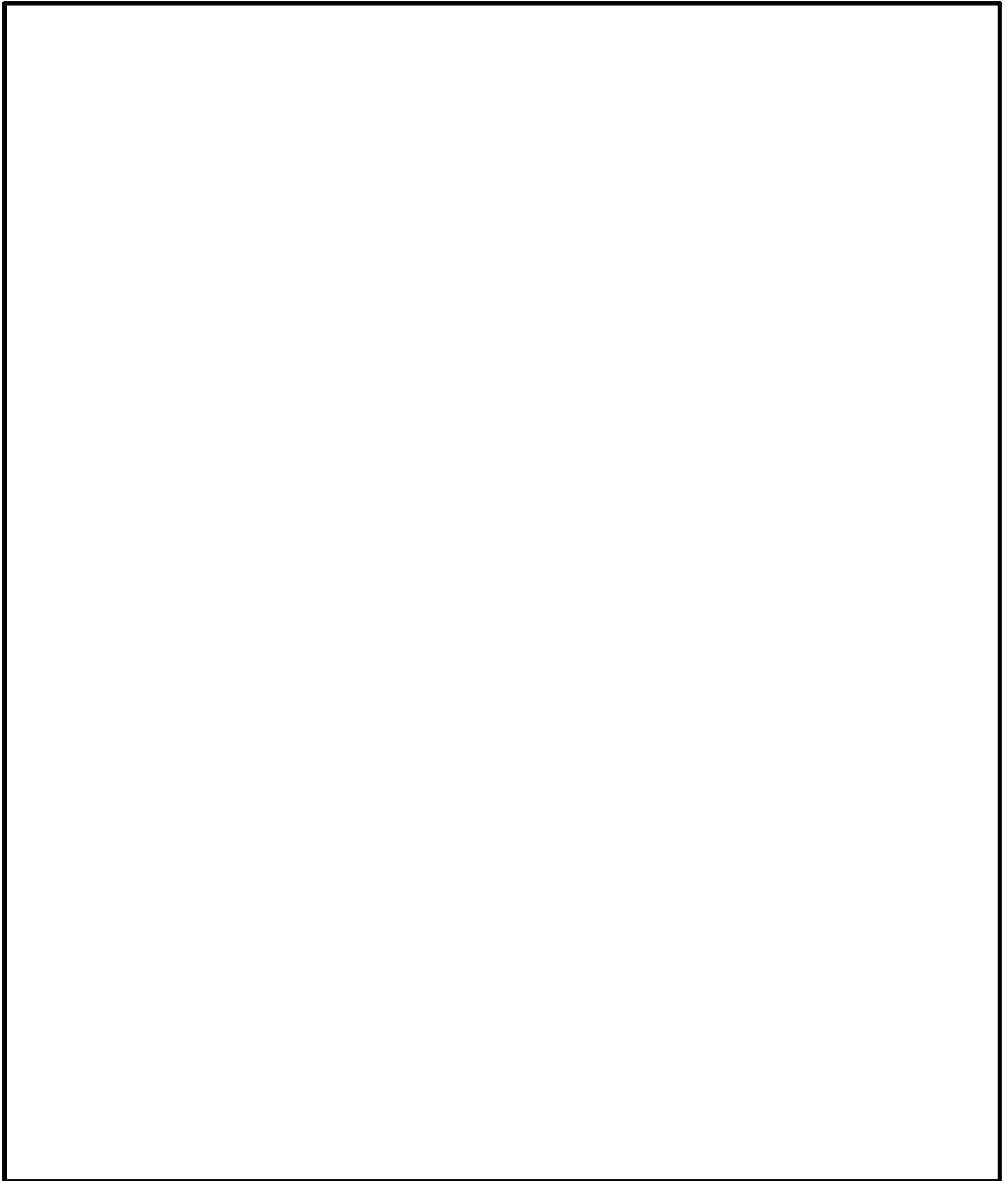


図 3-1 機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法

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*
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。

4. 強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 機器搬入用ハッチは、原子炉格納容器のドライウェル円錐部に支持される構造物である。機器搬入用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

機器搬入用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

機器搬入用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

機器搬入用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	機器搬入用ハッチ	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA}$	E^*

D : 死荷重

P_{SA} : 運転状態Vにおける圧力荷重

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^*	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

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 4-4 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	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 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	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 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ドライウエルの自重及びシエ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。

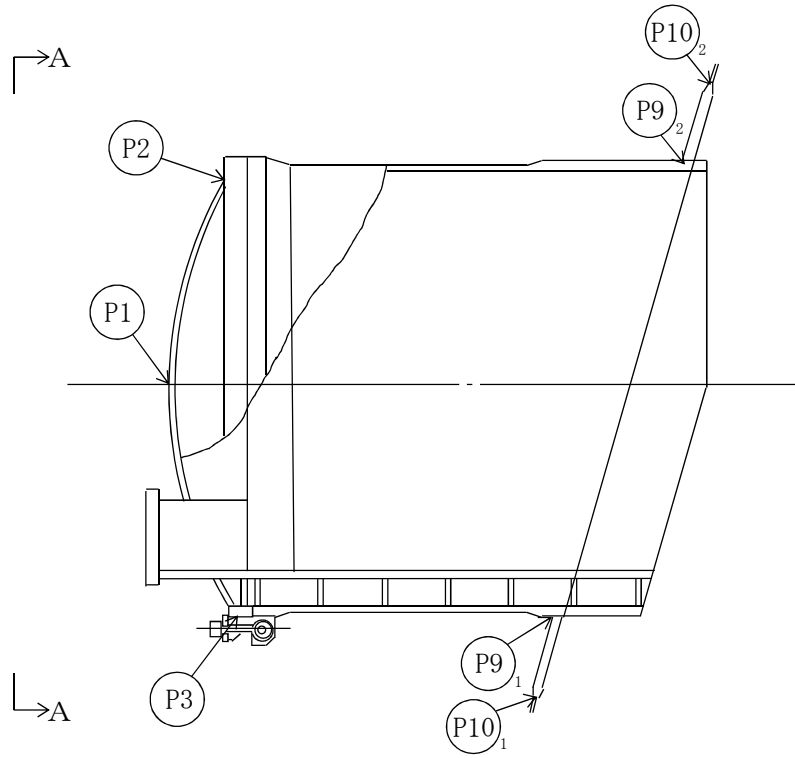
4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

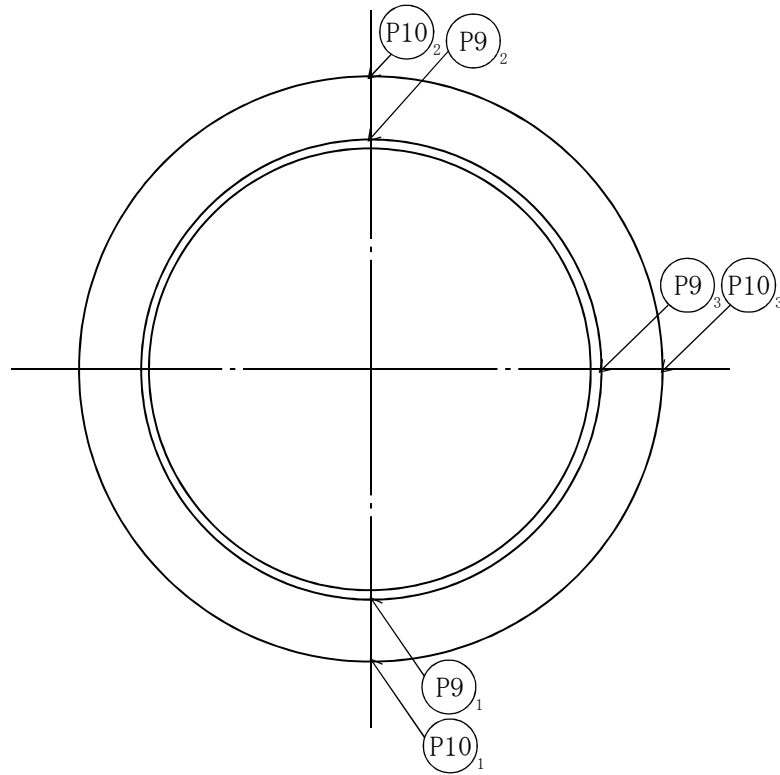
機器搬入用ハッチの応力評価点は、機器搬入用ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-7 及び図 4-1 に示す。

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	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 4-5 に示す。



A-A 視図

図 4-1 機器搬入用ハッチの応力評価点

4.3.2 応力計算方法

荷重により機器搬入用ハッチに生じる応力の算出には、応力評価点P 1～P 8は理論式により計算する。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。

4.3.2.1 鏡板及びヒンジ部に生じる応力の算出（応力評価点P 1～P 8）

(1) 鏡板（応力評価点P 1及びP 2）

a. 形状及び法

鏡板の形状及び寸法を図 4-2 に示す。

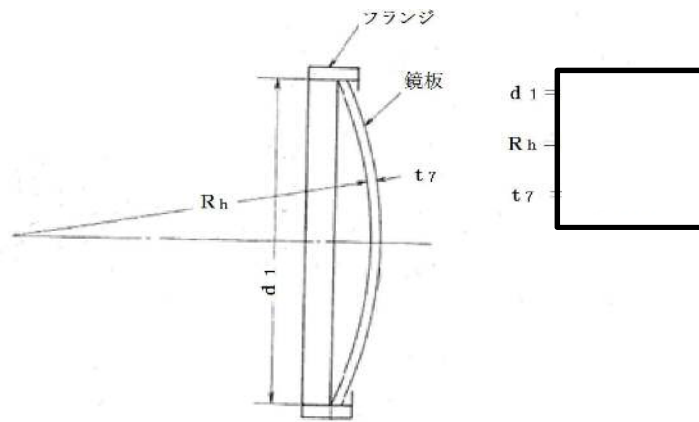


図4-2 鏡板の形状及び寸法（単位：mm）

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、

$$R_m = R_h + t_7 / 2$$

$$t_7 = \boxed{}$$

$$\alpha = \boxed{}$$

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

ν : ポアソン比=0.3

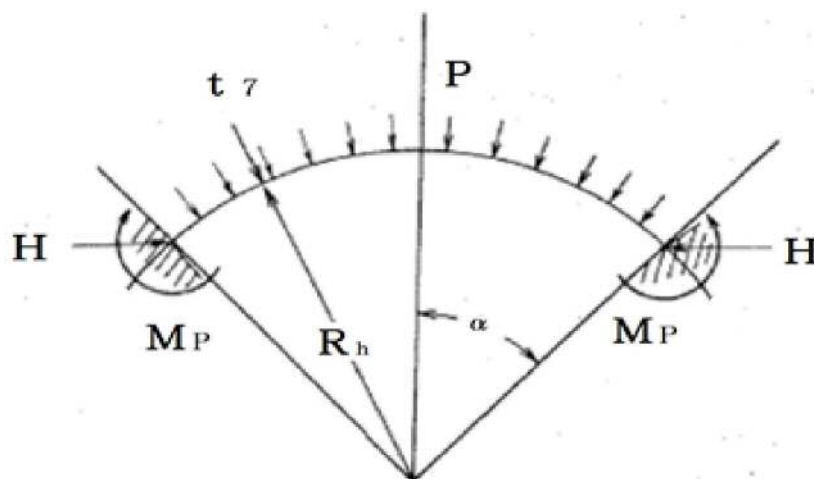
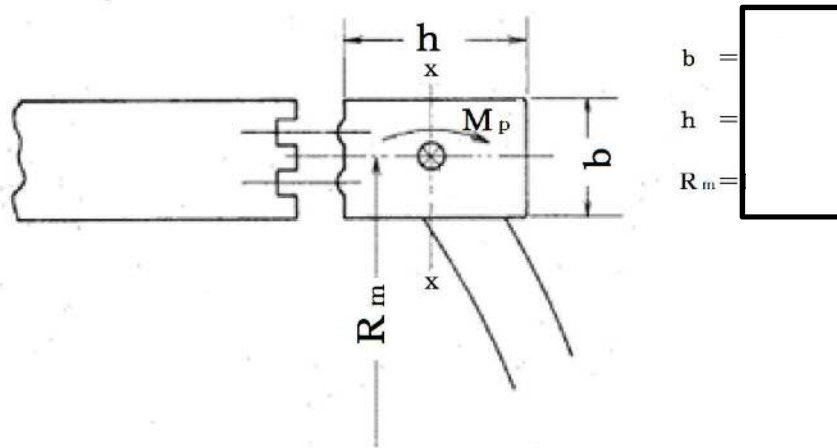


図 4-3 計算モデル

(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 4-4 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

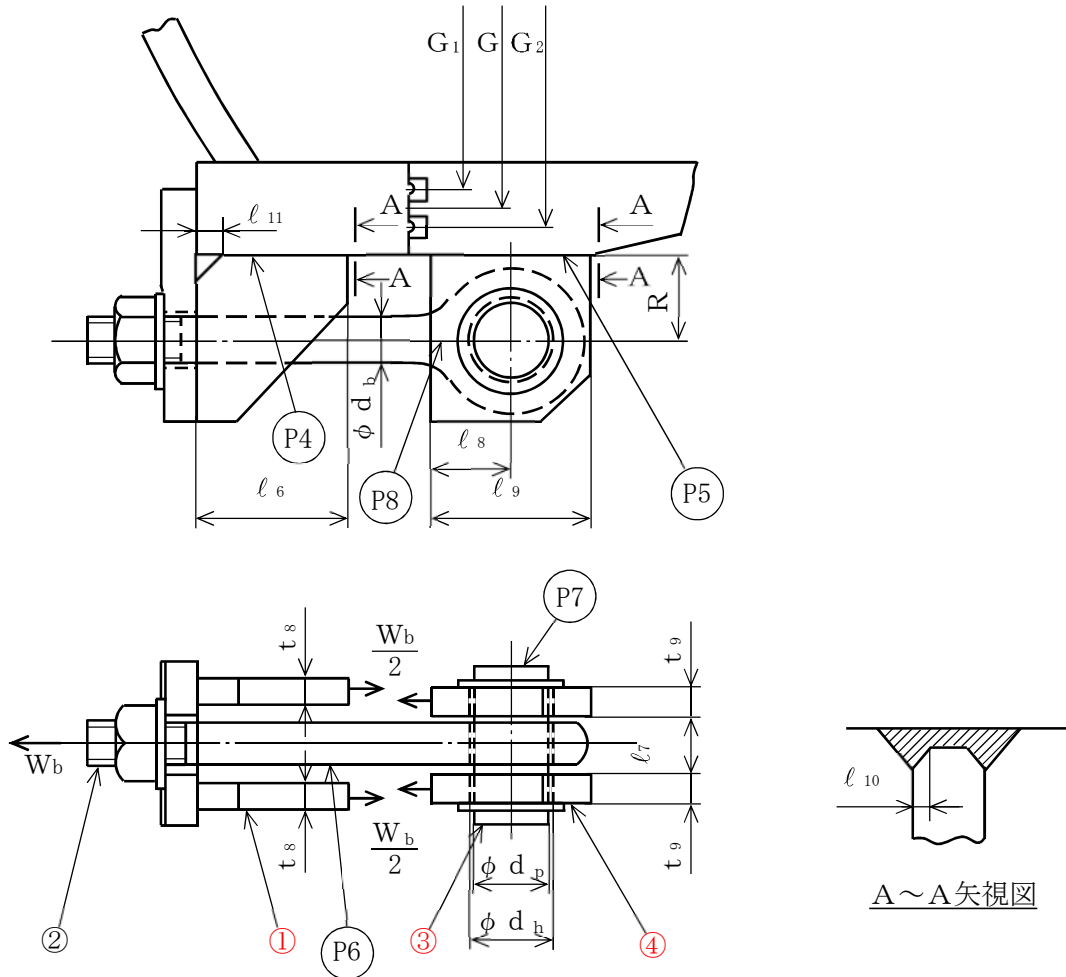
$$\sigma_m = \frac{M_p \cdot R_m \cdot h}{2 \cdot I}$$

ここに、 I : フランジの X-X 軸に関する断面二次モーメント $= \frac{b \cdot h^3}{12}$

(3) ブラケット、ヒンジボルト及びピン（応力評価点P4～P8）

a. 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4-5に示す。



- ① ブラケット ② ヒンジボルト ③ ピン
- ④ ブラケット

(単位：mm)

図4-5 ブラケット、ヒンジボルト及びピンの形状及び寸法

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*

d

ハ. ボルトの本数

n

ニ. 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

イ. 材料

ロ. ガスケット係数

m

ハ. 設計締付圧力

y

ニ. シート面の接触幅

w

ホ. ガスケットの幅

N

ヘ. ガスケットの厚さ

T

ト. ガスケット座面の基本幅

b

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

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

ゆえに,

$$b_0 =$$

$$b = b_0 =$$

(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

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

ロ. ガスケットに加える圧縮力

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

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)

(イ) 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 =

$$M = W_b \cdot R$$

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

(ロ) 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 = $2 \cdot l_{10} \cdot l_9$

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

ハ. 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 = $\frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$

ニ. 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。

ホ. 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,

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

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 4-6 に示す機器搬入用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) 原子炉格納容器本体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 4-7 及び図 4-1 で示した応力評価点P 9及びP 10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本体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。

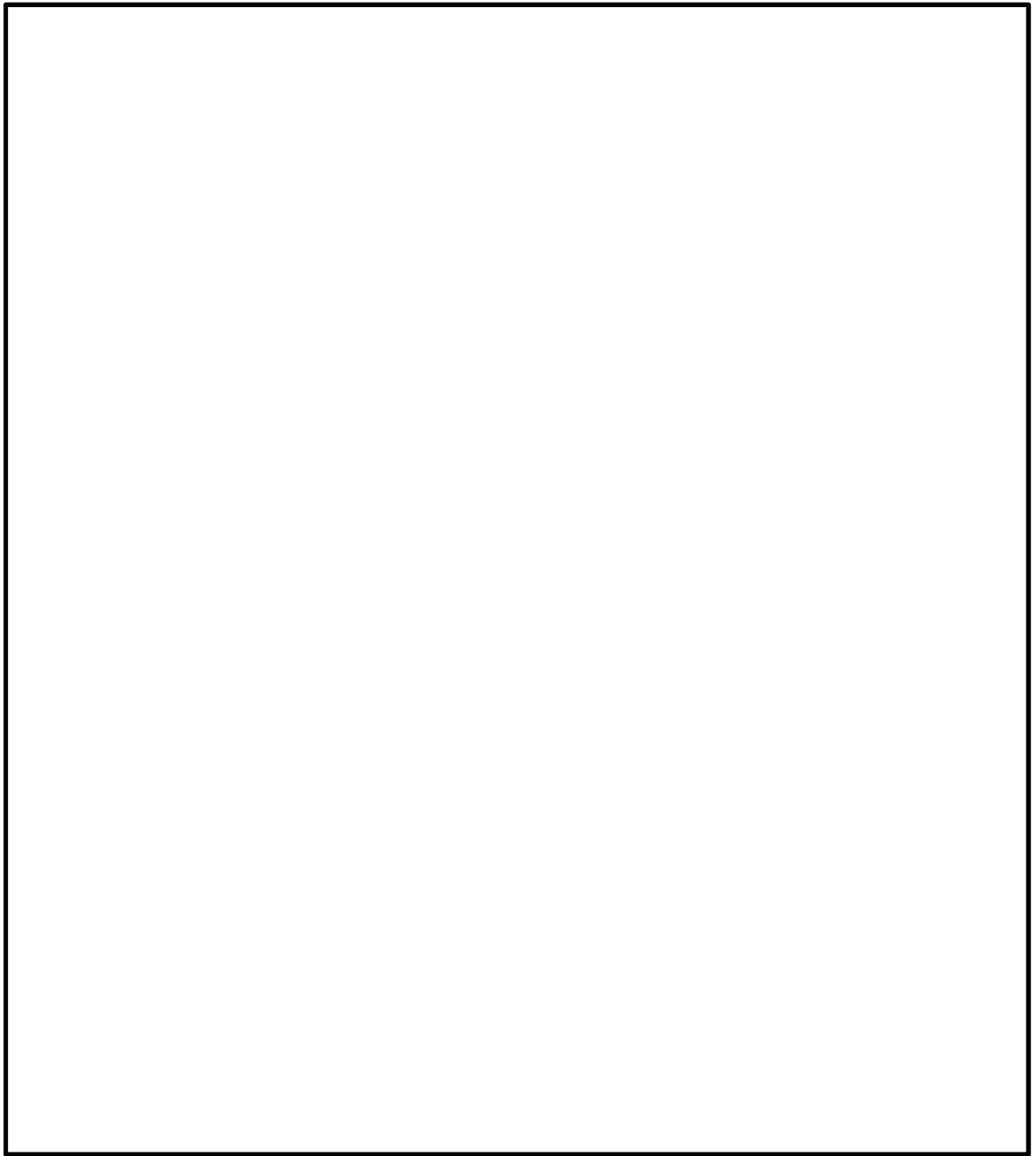


図 4-6 機器搬入用ハッチ解析モデル

表 4-8 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"/>

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

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 5-1 に示す。

表 5-1(1) 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{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		
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 5-1(2) 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{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		
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結合部	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結合部	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結合部	一次膜応力強さ+一次曲げ応力強さ	239	422	○	