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-1027 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 29 日

V-3-9-1-3-2　　所員用エアロックの強度計算書

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

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 ･･･ 8
5.1　応力評価点 ･･･ 8
5.2　計算方針 ･･･ 10
6.　評価結果 ･･･ 22
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ･････････････････････････ 22
7.　引用文献 ･･･ 26

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

1.　概要

本計算書は，所員用エアロックの強度計算書である。

所員用エアロックは，設計基準対象施設の所員用エアロック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-3-3-8　パーソネルエアロック強度計算書」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。

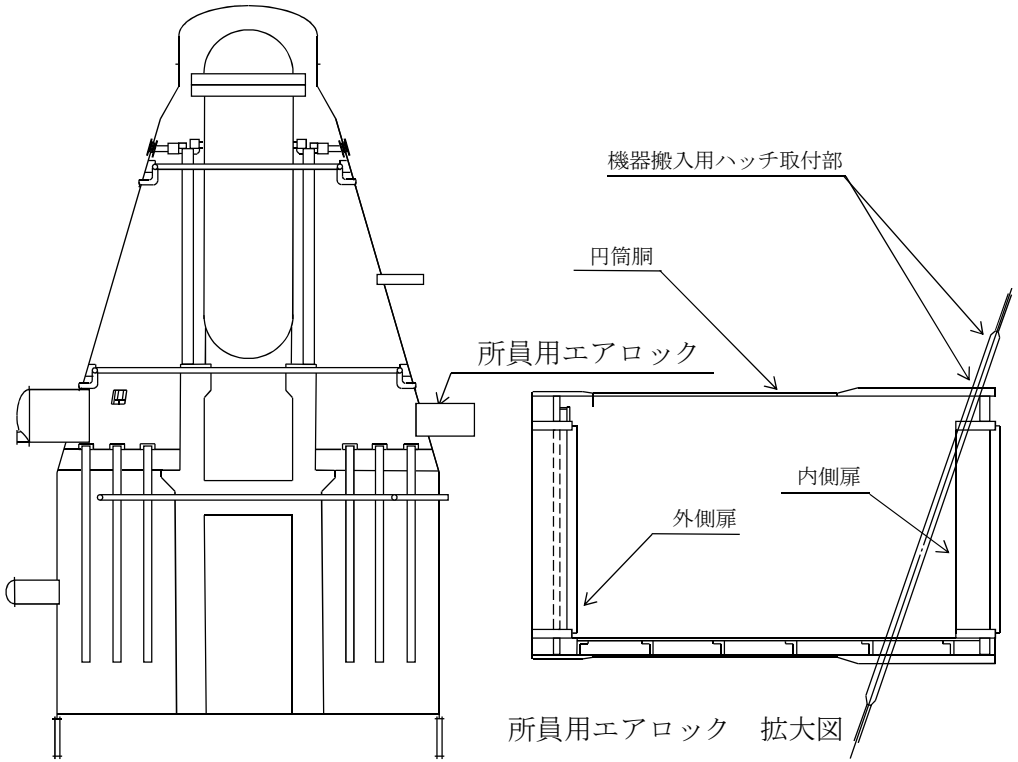
以下，重大事故等クラス２容器としての強度評価を示す。

2.　構造説明

2.1　構造計画

所員用エアロックの構造計画を表 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	
・所員用エアロックは原子炉格納容器に支持される。	・内径[redacted]，板厚[redacted]，長さ[redacted]の円筒胴及び板厚[redacted]の扉板で構成される鋼製構造物である。	

2.2　評価方針

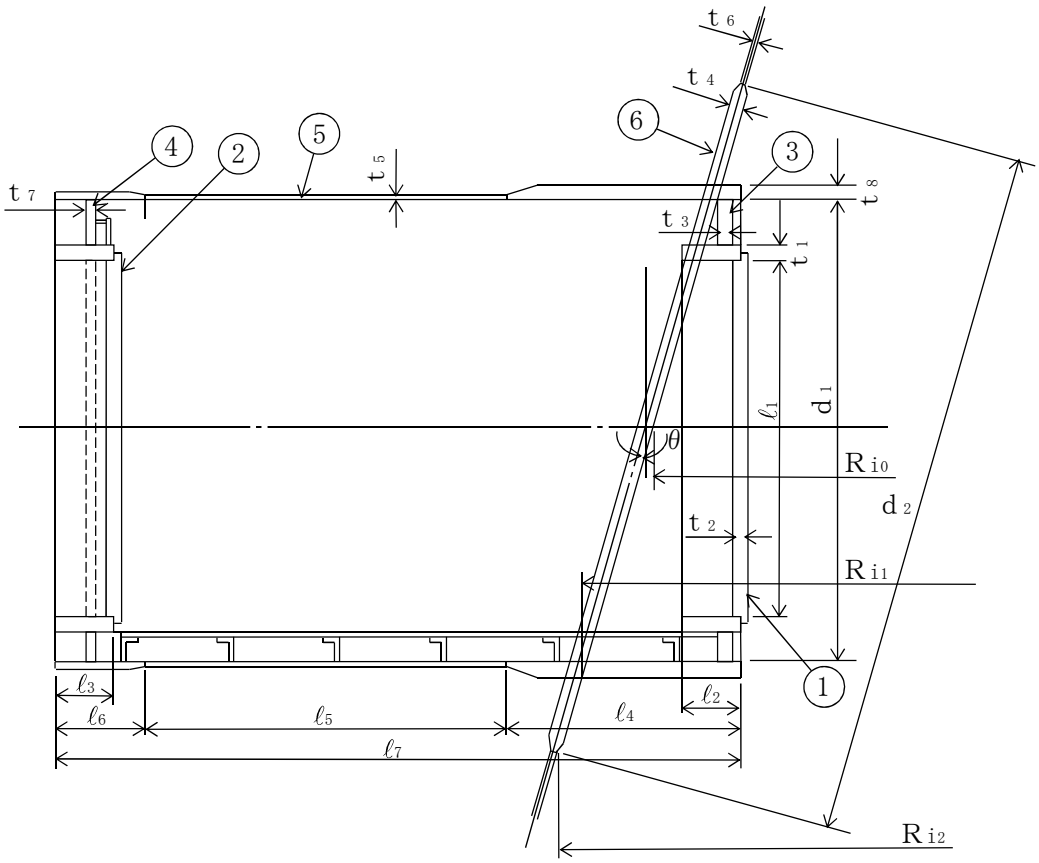
(1)　所員用エアロックの応力評価は，東海第二発電所　昭和48年4月9日付け47公第12076号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は，実績のある３次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

(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，所員用エアロックの形状及び応力レベルを考慮し，内側扉，外側扉，内側隔壁板，内側隔壁垂直ビーム，内側隔壁上部水平ビーム，内側隔壁下部水平ビーム，外側隔壁板，外側隔壁垂直ビーム，外側隔壁上部垂直ビーム，外側隔壁下部水平ビーム，所員用エアロック本体と補強板との接合部，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

所員用エアロックの形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。



①内側扉　②外側扉　③内側隔壁　④外側隔壁　⑤円筒胴　⑥補強板

図 3－1　所員用エアロックの形状及び主要寸法（単位：mm）

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

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 ℃

(2)　死荷重

a.　所員用エアロックの自重 [redacted]

b.　ドライウェルの自重

所員用エアロック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。

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

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
内側・外側扉	SGV49 相当	SGV480*
内側・外側隔壁板	SGV49 相当	SGV480*
垂直・水平ビーム	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*

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 に，許容応力を表 4-4 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	所員用エアロック	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）

表4-3　許容限界（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）	$D+P_{SA}$	$2/3S_u$	$1.5\times2/3S_u$

表4-4　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

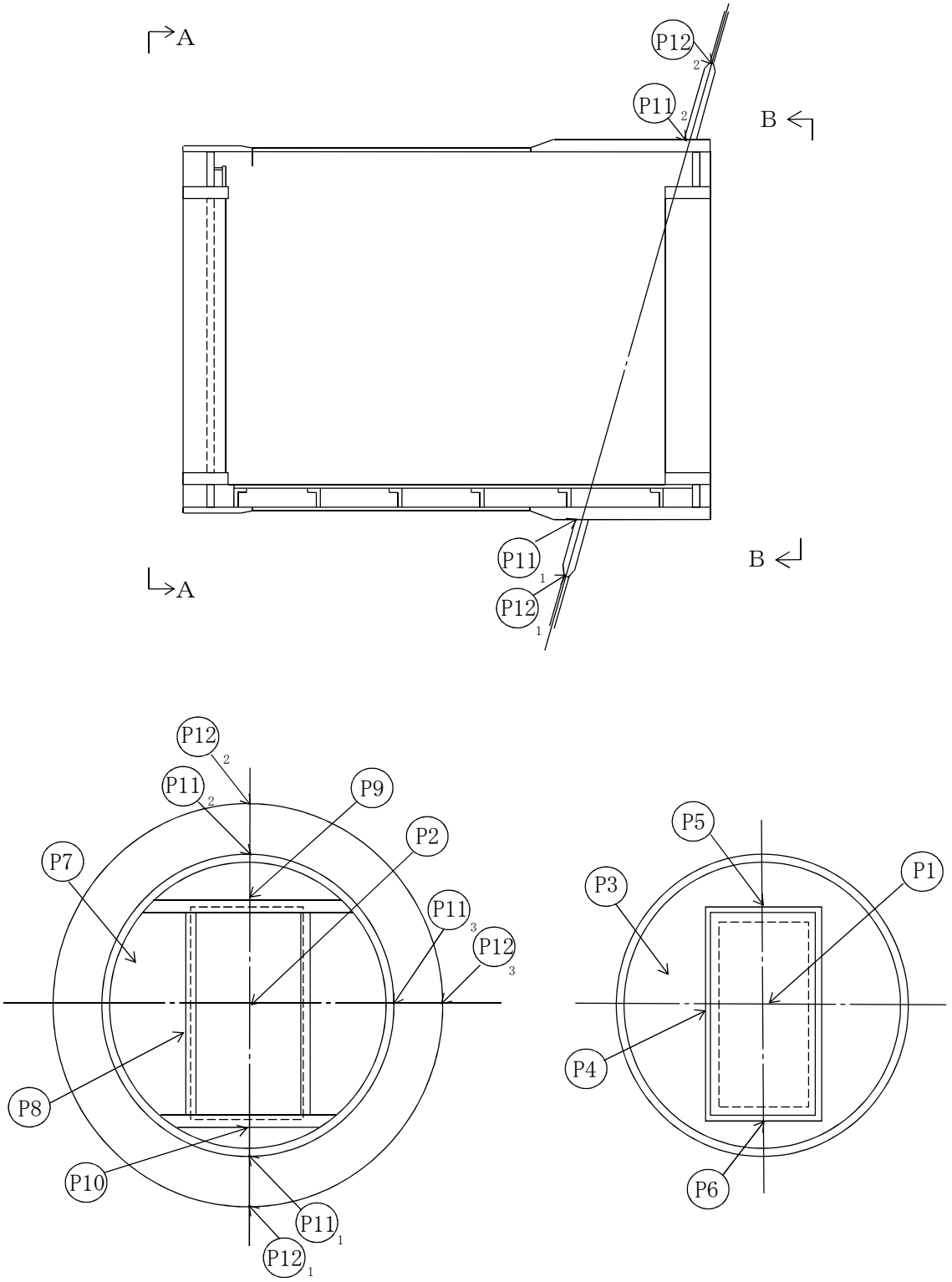
5.　応力計算

5.1　応力評価点

所員用エアロック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
Ｐ１	内側扉
Ｐ２	外側扉
Ｐ３	内側隔壁板
Ｐ４	内側隔壁垂直ビーム
Ｐ５	内側隔壁上部水平ビーム
Ｐ６	内側隔壁下部水平ビーム
Ｐ７	外側隔壁板
Ｐ８	外側隔壁垂直ビーム
Ｐ９	外側隔壁上部水平ビーム
Ｐ１０	外側隔壁下部水平ビーム
Ｐ１１	所員用エアロック本体と補強板との結合部 （Ｐ１１－１～Ｐ１１－３）
Ｐ１２	ドライウェル円錐部シェルと補強板との接合部 （Ｐ１２－１～Ｐ１２－３）



A－A視図　　B－B視図

図 5－1　所員用エアロックの応力評価点

5.2　計算方針

各荷重により所員用エアロックに生じる応力は，応力評価点Ｐ１～Ｐ１０は理論解で計算し，応力評価点Ｐ１１及びＰ１２は解析コードＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮを使用して計算する。

5.2.1　内側扉（応力評価点Ｐ１）

(1)　形状及び寸法

内側扉の形状及び寸法を図 5－2 に示す。

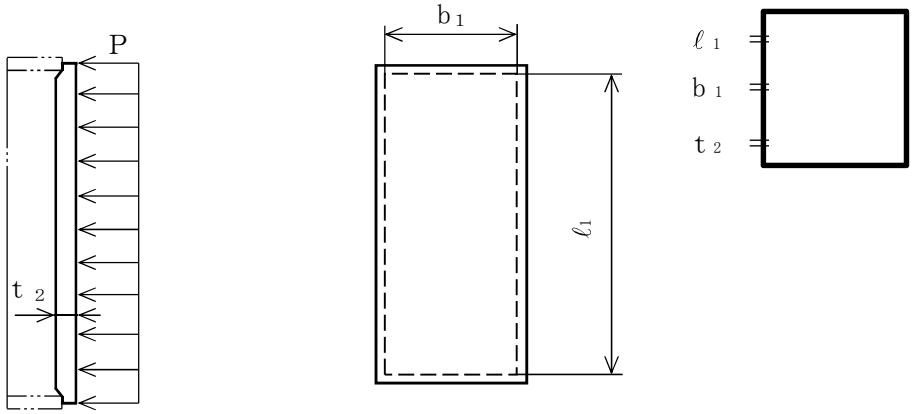


図 5－2　内側扉の形状及び寸法（単位：mm）

(2)　評価圧力による応力

評価圧力による内側扉の応力は，引用文献(1)により，4 辺支持の矩形板に等分布荷重を受けるものとして次のように計算する。最大応力は扉の中央に発生し，その応力は次のようになる。

$$\sigma b = \pm \beta \cdot \frac{q \cdot b^2}{t^2} = \pm \beta \cdot \frac{P \cdot b_1^2}{t_2^2}$$

ここでβは a／b によって定まる係数である。

$$\frac{a}{b} = \frac{\ell_1}{b_1}$$

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

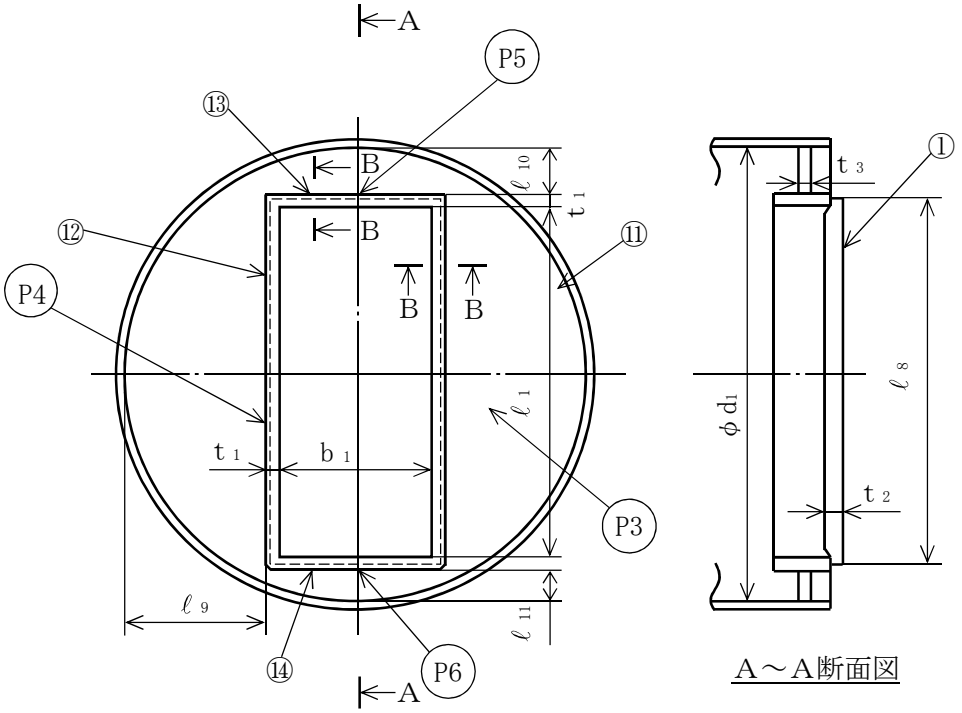
5.2.2　外側扉（応力評価点Ｐ２）

外側扉は内側扉と同じ形状であり，荷重としては，評価圧力しか受けることがないので，5.2.1 項と同じ結果となる。

5.2.3　内側隔壁（応力評価点Ｐ３～Ｐ６）

(1)　形状及び寸法

内側隔壁の形状及び寸法を図 5－3 に示す。



① 内側扉　⑪ 隔壁板　⑫ 垂直ビーム

⑬ 上部水平ビーム　⑭ 下部水平ビーム

図 5－3　内側隔壁の形状及び寸法（単位：mm）

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

(2)　隔壁板（応力評価点　Ｐ３）

a.　評価圧力による応力

評価圧力による隔壁板の応力は，引用文献(1)により，周辺固定の円板に等分布荷重を受けるものとして次のように計算する。

最大曲げモーメント

$$Mr = \frac{q \cdot a^2}{8} = \frac{P \cdot (d_1/2)^2}{8}$$

曲げ応力

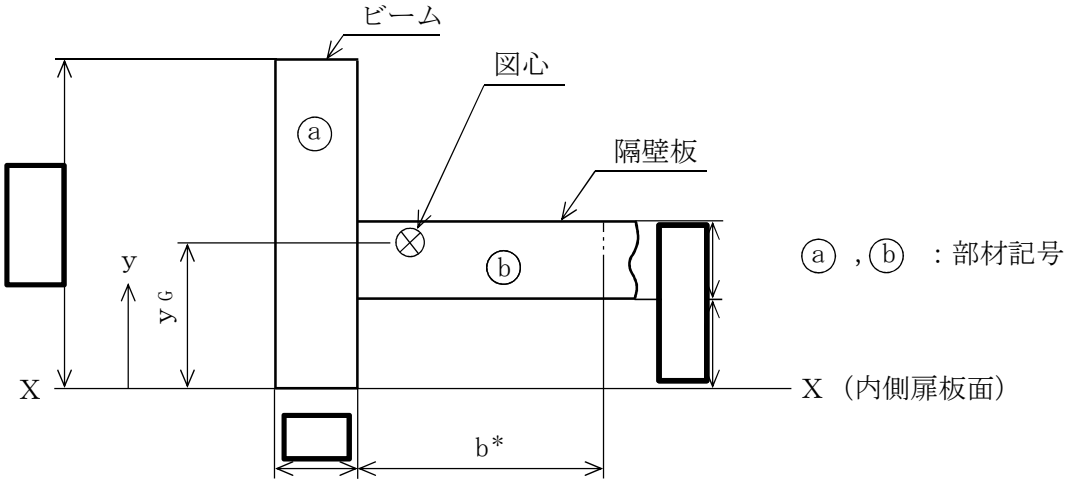
$$\sigma_b = \frac{Mr}{Z}$$

ここに，

$$Z = \frac{t_3^2}{6}$$

(3)　ビーム（応力評価点　Ｐ４～Ｐ６）

a.　断面係数



注記　＊：ｂ寸法は表 5－2 に示す。

図 5－4　ビームの断面（図 5－3　Ｂ～Ｂ断面図）（単位：mm）

垂直ビーム，上部及び下部水平ビームの断面係数は，次により求められる。計算結果は表 5－2 に示す。

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

$$Z = \frac{\Sigma\left[b \cdot h^3 / 12 + A \cdot (y - y_G)^2\right]}{\ell' - y_G}$$

ここに，

b：部材の幅（mm）

h：部材の高さ（mm）

A：部材の面積（mm^2）

y：X－X軸から各部材の図心までの距離（mm）

y_G：X－X軸から部材全体の図心までの距離（mm）

$= \Sigma(A \times y) / \Sigma A$

ℓ'：ビームの高さ（mm）

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

表 5-2　ビームの断面係数

名称	部材	部材の幅	面積	部材図心	面積×図心	全体の図心	部材の断面二次モーメント		断面係数
		b *1 (mm)	A (×10^3mm^2)	y (mm)	A×y (×10^6mm^3)	y_G (mm)	b・h^3/12 (×10^6mm^4)	A・$(y-y_G)^2$ (×10^6mm^4)	Z (×10^6mm^3)
垂直ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								
上部水平ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								
下部水平ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								

注記　＊1：寸法は仮定した長さを示す。

＊2：寸法は図 5-3 を参照。

b.　評価圧力による応力

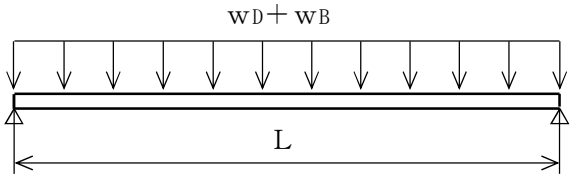


図 5－5　内圧によりビームに加わる荷重

評価圧力により扉にかかる荷重が垂直ビーム，上部及び下部水平ビームに加わるものとすると各ビームの単位長さ当たりに加わる荷重，w_Dは次のようになる。

$$w_D=\frac{P\cdot(\ell_1+2\cdot t_1)\cdot(b_1+2\cdot t_1)}{2\cdot(\ell_1+b_1+2\cdot t_1)}$$

評価圧力により隔壁板に加わる荷重の半分が各ビームに加わるものとすると各ビームの単位長さ当たりに加わる荷重，w_Bは次のようになる。

・垂直ビームに対して，

$$w_B=\frac{P\cdot\ell_9}{2}$$

・上部水平ビームに対して，

$$w_B=\frac{P\cdot\ell_{10}}{2}$$

・下部水平ビームに対して，

$$w_B=\frac{P\cdot\ell_{11}}{2}$$

・最大曲げモーメントは次により求められる。計算結果は表 5－3 に示す。

$$M_{max}=\frac{(w_D+w_B)\cdot L^2}{8}$$

ここに，L：ビームのスパン

$=\ell_1+2\cdot t_1$（垂直ビームに対して）

$=b_1+2\cdot t_1$（上部，下部水平ビームに対して）

・最大曲げ応力は次により求められる。計算結果は表 5－3 に示す。

$$\sigma_b=\frac{M_{max}}{Z}$$

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

表 5－3　ビームの評価圧力による応力

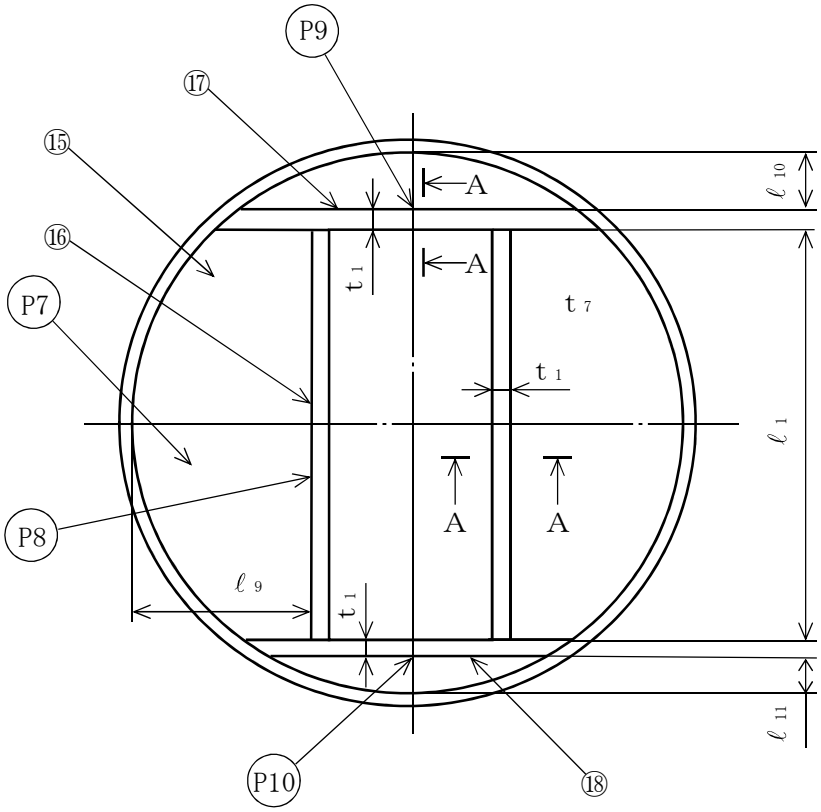
応　力 評価点	名　称	$w_D + w_B$ (N/mm)	L (mm)	M_{max} ($\times 10^6$Nmm)	Z ($\times 10^6 mm^3$)	σ b (MPa)
Ｐ４	垂　直 ビーム					184
Ｐ５	上部水平 ビーム					25
Ｐ６	下部水平 ビーム					22

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

5.2.4　外側隔壁（応力評価点Ｐ７～Ｐ１０）

(1)　形状及び寸法

外側隔壁の形状及び寸法を図 5－6 に示す。



⑮　隔壁板　　⑯　垂直ビーム　　⑰　上部水平ビーム

⑱　下部水平ビーム

図 5－6　外側隔壁の形状及び寸法（単位：mm）

(2)　隔壁板（応力評価点　Ｐ７）

a.　評価圧力による応力

評価圧力による隔壁板の応力は，引用文献(1)により，隔壁板を長径ℓ_1, 短径ℓ_9であるような周辺固定の楕円板であるとして計算する。

$$\alpha = \frac{b}{a} = \frac{\ell_9 / 2}{\ell_1 / 2} = \frac{\ell_9}{\ell_1}$$

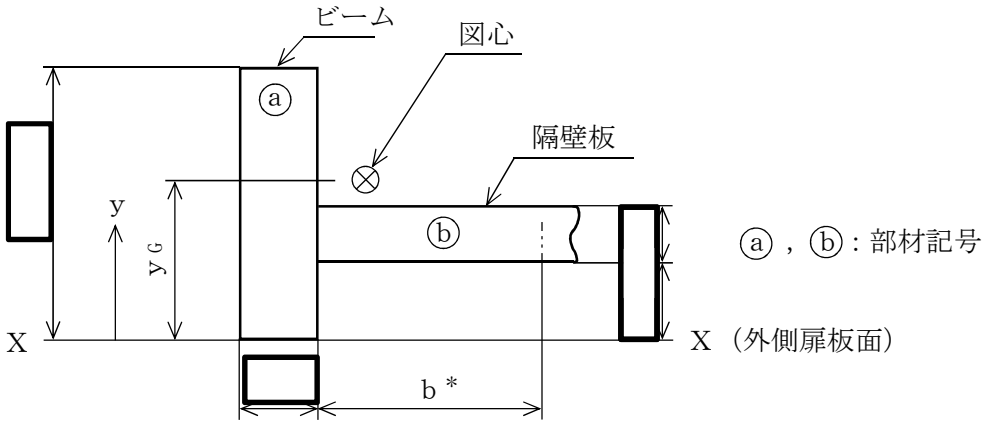
NT2 補③ V-3-9-1-3-2 R0

最大応力は次のように計算される。

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot q \cdot b^2}{t^2 \cdot (3+2 \cdot \alpha^2+3 \cdot \alpha^4)} = \frac{6 \cdot P \cdot (\ell_9/2)^2}{t_7^2 \cdot (3+2 \cdot \alpha^2+3 \cdot \alpha^4)}$$

(3)　ビーム（応力評価点　Ｐ８～Ｐ１０）

a.　断面係数



注記　＊：b 寸法は表 5－4 に示す。

図 5－7　ビームの断面（図 5－6　A～A断面図）（単位：mm）

垂直ビーム，上部及び下部水平ビームの断面係数は，5.2.3 (3) 項と全く同じ方法で求めることが出来る。計算結果は表 5－4 に示す。

表 5-4　ビームの断面係数

名称	部材	部材の幅	面積	部材図心	面積×図心	全体の図心	部材の断面二次モーメント		断面係数
		b *1 (mm)	A (×10^3mm^2)	y (mm)	A×y (×10^6mm^3)	y_G (mm)	b・h^3/12 (×10^6mm^4)	A・$(y-y_G)^2$ (×10^6mm^4)	Z (×10^6mm^3)
垂直ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								
上部水平ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								
下部水平ビーム	ⓐ								
	ⓑ								
	Σ								

注記　＊1：寸法は仮定した長さを示す。

＊2：寸法は図 5-6 を参照。

b.　評価圧力による応力

評価圧力により各ビームに生じる最大曲げモーメントは5.2.3(3)b．項で計算した値と同じになる。

最大曲げ応力は同項と同様にして求められる。計算結果は表5－5に示す。

表5－5　ビームの評価圧力による応力

応　力 評価点	名　称	M_{max} （$\times 10^6$Nmm）	Z （$\times 10^6$mm^3）	σ b （MPa）
Ｐ８	垂直ビーム			226
Ｐ９	上部水平ビーム			30
Ｐ１０	下部水平ビーム			27

5.2.5　所員用エアロック本体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Ｐ１１及びＰ１２）

所員用エアロック本体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5－8に示す。

NT2 補③ Ｖ-3-9-1-3-2 R0

図 5－8　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

所員用エアロック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。

NT2 補③ Ｖ-3-9-1-3-2 R0

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	評価基準値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	Ｐ１	内側扉	一次膜応力＋一次曲げ応力	41	422	○	
	Ｐ２	外側扉	一次膜応力＋一次曲げ応力	41	422	○	
	Ｐ３	内側隔壁板	一次膜応力＋一次曲げ応力	119	422	○	
	Ｐ４	内側隔壁垂直ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	184	422	○	
	Ｐ５	内側隔壁上部水平ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	25	422	○	
	Ｐ６	内側隔壁下部水平ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	22	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	評価基準値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	Ｐ７	外側隔壁板	一次膜応力＋一次曲げ応力	107	422	○	
	Ｐ８	外側隔壁垂直ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	226	422	○	
	Ｐ９	外側隔壁上部水平ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	30	422	○	
	Ｐ１０	外側隔壁下部水平ビーム	一次膜応力＋一次曲げ応力	27	422	○	

表６－１　供用状態Ｅに対する評価結果（Ｄ＋Ｐ$_{SA}$）（その３）

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		
所員用エアロック	Ｐ１１－１	所員用エアロック本体と補強板との結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	236	422	○	
	Ｐ１１－２	所員用エアロック本体と補強板との結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	243	422	○	
	Ｐ１１－３	所員用エアロック本体と補強板との結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	240	422	○	
	Ｐ１２－１	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	237	422	○	
	Ｐ１２－２	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	243	422	○	
	Ｐ１２－３	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	○	

7.　引用文献

(1)　WARREN C.YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 8th Edition

NT2 補③ V-3-9-1-3-2 ROE