

製造設備等耐震設計指針
静的震度法 (レベル1)

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t未満
($\alpha_5 = 2.0$) のもの]

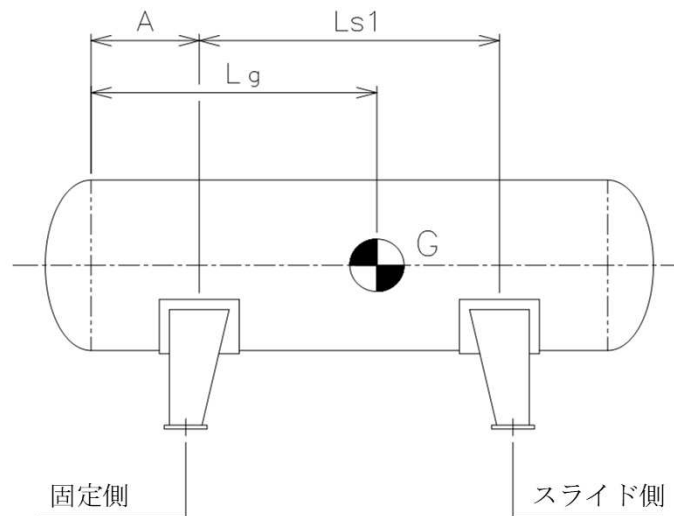
1. 応答解析等

設 計 条 件	貯蔵能力 (詳細は 頁による)	W	t	---	
	事業所境界線までの最短距離	X	m	---	
	内 容 物			天然ガス	
	製造・送出上の重要度			Gb	
	製造・送出上の重要度係数	$\alpha 1a$		0.65	
	災害危険度による重要度			II	
	災害危険度による重要度係数	$\alpha 1b$		0.65	
	設 置 場 所			新潟県	
	地 域 区 分			B	
	地 域 係 数	$\alpha 2$		0.6	
	地 盤 種 別			第3種地盤	
	表層地盤増幅係数	$\alpha 3$		2.0	
	耐震設計設備の地表面からの高さ	H_G	m	2.062	
	貯槽本体重量	W_2	N	26213	
	サドル重量	W_3	N	3481	
附属品重量	W_4	N	2511		
温水重量	W_5	N	1138		
積雪荷重 (注3.)	W_6	N	---		
応 答 解 析 等	貯蔵能力 $W < 100t$ の検討			---	
	内容液重量 $9.80665 \times 1000 \times W$	W_1	N	---	
	胴に生じる応力算定用運転重量 (注2.) $W_1 + W_2 + W_4 + W_5 + W_6$	W_{H1} W_{V1}	N	42542	
	サドル及び基礎ボルトに生じる応力算定用運転重量 (注2.) $W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6$	W_{H2} W_{V2}	N	47502	
	$\alpha 1 \alpha 2$ (0.33未満の場合は0.33)	αx		0.390	
	地震動のレベルに基づく係数	$\alpha 0$		1.000 (レベル1地震動)	
	加 速 度 型 設 計 地 震 動	水平震度 $0.150 \alpha_0 \alpha_x \alpha_3$	K_H		0.117
		鉛直震度 $0.075 \alpha_0 \alpha_x \alpha_3$	K_V		0.0585
		水 平 方 向 応 答 倍 率	$H_G \leq 16$ の場合 $\alpha_4 = 2.0$	α_4	
	$16 < H_G \leq 35$ の場合 $\alpha_4 = 1.04 + 0.06H_G$				-
	$35 < H_G$ の場合 $\alpha_4 = 3.14$				-
	設計静的水平震度 $\alpha_4 K_H$ (0.2を下回る場合は0.2)	K_{SH}			0.234
	設計静的鉛直震度 $\alpha_4 K_V$	K_{SV}			0.117
	設 計 静 的 水 平 地 震 力	$K_{SH} \cdot W_{H1}$	F_{H1}	N	9955
		$K_{SH} \cdot W_{H2}$	F_{H2}	N	11115
設 計 静 的 鉛 直 地 震 力	$K_{SV} \cdot W_{V1}$	F_{V1}	N	4977	
	$K_{SV} \cdot W_{V2}$	F_{V2}	N	5558	

注 1. $\alpha 1$ は ($\alpha 1a, \alpha 1b$) のうち大きい値とする。

注 2. 応力算定用運転重量は、機器の重心位置を考慮し、負荷の大きい方のサドルに加わる鉛直荷重の2倍の値を用いることとする。(2,3頁参照)

サドルの荷重条件



サドルに加わる鉛直荷重は、下記のようにして求める。

機器運転重量 (サドルを除く)	$W_{11} =$	29862	N
機器運転重量 (サドルを含む)	$W_{12} =$	33343	N
固定側T.L. ~ 固定側サドル中心	$A =$	1080	mm
サドル中心間距離	$Ls1 =$	2440	mm
固定側T.L. ~ 機器重心	$Lg =$	1782	mm

固定側サドルとスライド側サドルに加わる鉛直荷重の比

$$\begin{aligned} \frac{W_f}{W_s} &= \frac{LS1 - (Lg - A)}{Lg - A} \\ &= \frac{2440 - (1782 - 1080)}{1782 - 1080} \\ &= 2.476 \end{aligned}$$

したがって、固定側サドルに加わる鉛直荷重が大きく

サドルを除く機器運転重量は

$$\begin{aligned} W_{f1} &= \frac{2.476}{1 + 2.476} W_{11} \\ &= \frac{2.476}{1 + 2.476} \times 29862 \\ &= 21271 \text{ N} \end{aligned}$$

サドルを含む機器運転重量は

$$\begin{aligned}W_{f2} &= \frac{2.476}{1 + 2.476} W_{12} \\ &= \frac{2.476}{1 + 2.476} \times 33343 \\ &= 23751 \text{ N}\end{aligned}$$

上記の結果より

胴に生じる応力算定用運転重量は、

$$\begin{aligned}W_{H1}, W_{V1} &= 2W_{f1} \\ &= 2 \times 21271 \\ &= 42542 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{H2}, W_{V2} &= 2W_{f2} \\ &= 2 \times 23751 \\ &= 47502 \text{ N}\end{aligned}$$

同様に、シャットダウン時重量、水圧試験時重量は、以下の通りとする。

シャットダウン重量 (9 頁参照)

$$W_{13} = 32205 \text{ N}$$

スライド側サドルに加わる鉛直荷重は、

$$\begin{aligned}W_{f3} &= \frac{2.476}{1 + 2.476} W_{13} \\ &= \frac{2.476}{1 + 2.476} \times 32205 \\ &= 22941 \text{ N}\end{aligned}$$

サドルに生じる応力算定用のシャットダウン重量は、

$$\begin{aligned}W_s &= 2W_{f3} \\ &= 2 \times 22941 \\ &= 45882 \text{ N}\end{aligned}$$

水圧試験重量 (9 頁参照)

$$W_{14} = 100792 \text{ N}$$

スライド側サドルに加わる鉛直荷重は、

$$\begin{aligned}W_{f4} &= \frac{2.476}{1 + 2.476} W_{14} \\ &= \frac{2.476}{1 + 2.476} \times 100792 \\ &= 71796 \text{ N}\end{aligned}$$

サドルに生じる応力算定用の水圧試験重量は、

$$\begin{aligned}W_w &= 2W_{f4} \\ &= 2 \times 71796 \\ &= 143592 \text{ N}\end{aligned}$$

製造設備等耐震設計指針
静的震度法 (レベル1)

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

2. 胴のサドル部及び中央部に生じる応力, 許容応力及びその判定

設 計 条 件	最高使用温度		℃	90	許 容 応 力 等	胴の平均直径 Di+t		Dm	mm	1513.0											
	最高使用圧力		Po	MPa		0.49	胴の平均直径の1/2の値		Rm	mm	756.5										
	使用材料名					SB410	表(a)により得られる値		S	N/mm ²	182.7										
	材料の区分(表(a)による)					(3)	許容引張応力 Sη		ft	N/mm ²	173.5										
	設計 温 度	材料の引張強さ		Su		N/mm ²	410.0	Sy又はSyoの小なる値		Sy'	N/mm ²	203.0									
		材料の降伏点又は 0.2%耐力		Sy		N/mm ²	203.0	0.6Et/((1+0.004E/Sy')Dm)		S'	N/mm ²	176.3									
	常 温	材料の最小引張強さ		Suo		N/mm ²	410.0	許容圧縮応力 S又はS'の小なる値		fc	N/mm ²	176.3									
		材料の最小降伏点 又は0.2%耐力		Syo		N/mm ²	225.0	等価鉛直荷重		軸方向 FH1・Hv/Ls1	Fvx	N	4080								
	板厚(腐れしをを除く)		t	mm		11	軸直角方向 3FH1・Hv/4B		Fvy	N	5640										
	内径(腐れしをを除く)		Di	mm		1502	Fvx又はFvyの大なる値		Fev	N	5640										
	図(a)に示す正接線間距離		L	mm		3600	サドルから受ける反力 (Wv1+Fv1)/2+Fev		Q	N	29400										
	胴が鏡により補強される (A/Rm ≤ 0.5に限る)					否	① 6A(L-A)+3(Rm ² -H ²)				17597170										
	胴が強め輪により補強 されることの有無					否	曲げモーメント Q(A-①/(2(3L+4H)))		M _{LS1}	N・mm	10802989										
	溶接効率		η			0.95	図(b)により得られる値		G		0.308										
	図(a)に示す鏡板の深さ		H	mm		387.0	胴が鏡により補強される (A/Rm ≤ 0.5に限る) π Rm ² t		Zs	mm ³	-										
	図(a)に示す距離		Hv	mm		1000	胴が強め輪により 補強される場合 π Rm ² t				-										
	図(a)に示す中心間距離		Ls1	mm		2440	上記以外 GRm ² t				1938926										
	図(a)に示すサドル中心から 正接線までの長さ		A	mm		1080	算定引張応力 PoDm/4t+MLS1/Zs		σ t ₁	N/mm ²	22.5										
	図(a)に示すY方向長さ		B	mm		1324	判定 σ t ₁ ≤ ft			N/mm ²	22.5 ≤ 173.5										
	図(a)に示すサドルの幅		b	mm		340	図(c)により得られる値		K ₁		0.784										
図(a)に示す支持角		θ	°	114.2	有当 の場 合 合板		b+1.56√Rmt < Cの検討		否												
当て板の有無				有	適の場合 t+t _s		t ₁	mm	-												
有当 の場 合 合板		当て板の板厚	ts	mm	否の場合 t				11												
当て板の幅		C	mm	420	算定圧縮応力 K1Q/((b+1.56√Rmt ₁)t ₁)		σ c ₁	N/mm ²	4.4												
図(a)に示すボルト穴 中心間距離		Ls2	mm	2600	判定 σ c ₁ ≤ fc			N/mm ²	4.4 ≤ 176.3												
					胴の サ ド ル 部 の 算 定 応 力 及 び 判 定		② 3L ² +6(Rm ² -H ²) 曲げモーメント Q(②/(4(3L+4H))-A) M _{LC2} N・mm -7100131 π Rm ² t Zc mm ³ 19777000 算定引張応力 PoDm/4t+MLC2/Zc σ t ₂ N/mm ² 16.5 判定 σ t ₂ ≤ ft N/mm ² 16.5 ≤ 173.5 算定圧縮応力 MLC2/Zc σ c ₂ N/mm ² -0.4 判定 σ c ₂ ≤ fc N/mm ² -0.4 ≤ 176.3														
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>材 料 の 種 類</th> <th>S(下記の小なる値)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>室温以下の温度で使用する低温用 アルミニウム合金及び9%ニッケル鋼</td> <td>0.6Su, 0.9Sy</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>室温以上の高温で使用する オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金</td> <td>0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 1.0Sy</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>上 記 以 外</td> <td>0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 0.9Sy</td> </tr> </tbody> </table>					区分	材 料 の 種 類	S(下記の小なる値)	1	室温以下の温度で使用する低温用 アルミニウム合金及び9%ニッケル鋼	0.6Su, 0.9Sy	2	室温以上の高温で使用する オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 1.0Sy	3	上 記 以 外	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 0.9Sy
区分	材 料 の 種 類	S(下記の小なる値)																			
1	室温以下の温度で使用する低温用 アルミニウム合金及び9%ニッケル鋼	0.6Su, 0.9Sy																			
2	室温以上の高温で使用する オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 1.0Sy																			
3	上 記 以 外	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 0.9Sy																			

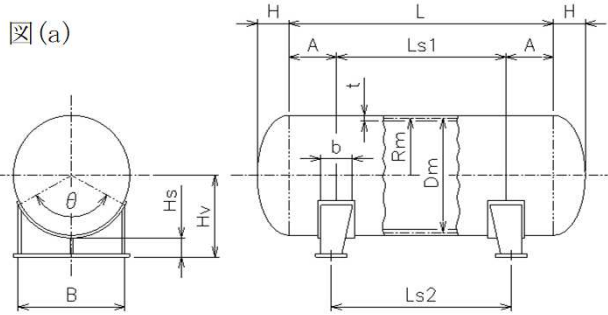
製造設備等耐震設計指針
静的震度法 (レベル1)

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

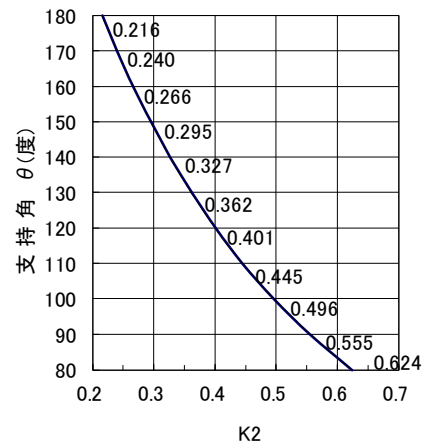
3. 鏡(胴が鏡により補強される場合に限る)及びサドルに生じる応力, 許容応力及びその判定

設計	使用材料名			-			鏡板の算定応力・許容応力及び判定	表(a)により得られる値	S_3	N/mm^2	-		
	材料の区分(表(a)による)			-				許容引張応力 $S_3 \cdot \eta$	f_{t3}	N/mm^2	-		
	鏡 (胴が鏡により補強される場合に限る)	設計温度	材料の引張強さ	Su_3	N/mm^2	-		図(b)により得られる値	K_2		-		
			材料の降伏点又は0.2%耐力	Sy_3	N/mm^2	-		① $PoD_h/4t_h$			-		
	常温	材料の最小引張強さ	材料の最小引張強さ	Su_{o3}	N/mm^2	-		半円体 ① $\times (2+(D_h/2h)^2)/3$			-		
			材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Sy_{o3}	N/mm^2	-		全半球 ①	σ'	N/mm^2	-		
	板厚(腐れしろを除く)			t_h	mm	-		さら形 ① $\times (3+D_h/2r)/4$			-		
	鏡板の種類			-				算定引張応力 $K_2Q/Rmt_h + \sigma'$	σ_{t3}	N/mm^2	-		
	半円体	だ円体の長径		D_h	mm	-		判定 $\sigma_{t3} \leq f_{t3}$		N/mm^2	$- \leq -$		
		だ円体短径1/2の値		h	mm	-							
全半球		鏡板の内径	D_h	mm	-								
さら形	中央部の内径		D_h	mm	-								
	ナックル部の内半径		r	mm	-								
条件	固定の方式			片固定			サドルの算定応力・許容応力及び判定	表(a)により得られる値	S_4	N/mm^2	201.6		
	使用材料名			SS400				Sy_4 又は Sy_{o4} の小なる値	Sy_4'	N/mm^2	224.0		
	材料の区分(表(a)による)			(3)				座屈許容応力	S_4'	N/mm^2	-		
	設計温度	材料の引張強さ	材料の引張強さ	Su_4	N/mm^2	400.0		Sy_{o4} 又は $0.7Su_{o4}$ の小なる値	F_4	N/mm^2	245.0		
			材料の降伏点又は0.2%耐力	Sy_4	N/mm^2	224.0		許容圧縮応力	当て板のある場合 F_4 当て板のない場合 S_4, S_4', F_4 の小なる値	f_{c4}	N/mm^2	245.0	
	常温	材料の縦弾性係数	材料の縦弾性係数	E_4	N/mm^2	198600		② $(Wv_2 + Fv_2) / 2A_{SD}$				1.2	
			材料の最小引張強さ	Su_{o4}	N/mm^2	400.0		③ $Hs / 2Z_{SD}$					0.00028
			材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Sy_{o4}	N/mm^2	245.0		④ $2F_{H2} - 0.1(Wv_2 + Fv_2)$					16924
	板厚			t_4	mm	12		⑤ $F_{H2} \cdot Hv / A_{SD} \cdot Ls_2$					0.18
	図(a)に示す値			Hs	mm	238		算定圧縮応力	片固定 ②+③×④+⑤ 両固定 ②+③×FH2+⑤	σ_{c4}	N/mm^2	6.2	
有効断面積(注1)			A_{SD}	mm^2	23950	判定 $\sigma_{c4} \leq f_{c4}$			N/mm^2	6.2 ≤ 245.0			
有効断面係数(注2)			Z_{SD}	mm^3	434819								

注：F_H及びF_Vは、静的震度法ではF_{SH}及びF_{SV}に、修正震度法ではF_{MH}及びF_{MV}(重要度がⅡ又はⅢの場合にあっては0としてもよい)と読み替えること。



図(b)



表(a) 備考：Sの欄は、鏡にあってはSu3, Sy3...サドルにあってはSu4, Sy4...と読み替えること。

区分	材料の種類	S(下記の小なる値)
1	室温以下の温度で使用する低温用アルミニウム合金及び9%ニッケル鋼	0.6Su, 0.9Sy
2	室温以上の高温で使用するオーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 1.0Sy
3	上記以外	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 0.9Sy

製造設備等耐震設計指針
静的震度法 (レベル1)

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

4. シアープレート, 基礎ボルトの算定応力, 許容応力及びその判定

設計 条件	シアープレート	シアープレートの有無			無	シアープレートの算定応力・許容応力及び判定	Syo5又は0.7Suo5の小なる値	F5	N/mm ²	—		
		使用材料名			—		許容曲げ応力 F5	fb5	N/mm ²	—		
		常温	材料の最小引張強さ	Suo5	N/mm ²		—	胴の軸方向	許容せん断応力 F5/√3	Fs5	N/mm ²	—
			材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Syo5	N/mm ²		—		算定曲げ応力 ※1	σ cpy	N/mm ²	—
		板厚	tsp	mm	—		判定 σ cpy ≤ fb5		N/mm ²	—		
		高さ	h5	mm	—		算定せん断応力 FH2/bx・tsp	τ sy	N/mm ²	—		
		軸方向の長さ	bx	mm	—		判定 τ sy ≤ fs5		N/mm ²	—		
		軸直角方向の長さ	by	mm	—		胴の軸直角方向	算定曲げ応力 ※2	σ cpx	N/mm ²	—	
	使用材料名			SS400	判定 σ cpx ≤ fb5			N/mm ²	—			
	常温	材料の最小引張強さ	Suo6	N/mm ²	400.0	基礎ボルトの算定応力、許容応力及び判定	算定せん断応力 FH2/by・tsp	τ sx	N/mm ²	—		
		材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Syo6	N/mm ²	235.0		判定 τ sx ≤ fs5		N/mm ²	—		
	ボルトの谷径	d1	mm	26.211	Syo6又は0.7Suo6の小なる値	F6	N/mm ²	235.0				
	ボルトの軸径	d2	mm	30	許容引張応力 F6	ft6	N/mm ²	235.0				
	サドル一個当りの基礎ボルトの数	N	本	2	許容せん断応力 F6/√3	fs6	N/mm ²	135.6				
固定側サドルの基礎ボルトの数	n	本	2	断面積	谷径 π d1 ² /4	Ab1	mm ²	539.5				
基礎ボルトの軸直角方向の間隔	Cb	mm	1080		軸径 π d2 ² /4	Ab2	mm ²	706.8				
				算定引張応力 ※3	σ t6	N/mm ²	-9.9					
				判定 σ t6 ≤ ft6		N/mm ²	-9.9 ≤ 235.0					
				算定せん断応力	片固定 ※4	τ 6	N/mm ²	2.0				
								両固定 ※5	—			
				判定 τ 6 ≤ fs6		N/mm ²	2.0 ≤ 135.6					
				組合せ応力 (σ t6 + 1.6 τ 6) / 1.4	σ t τ	N/mm ²	—					
				判定 σ t τ ≤ ft6		N/mm ²	—					

注：FH及びFvは、静的震度法にあつてはF_{SH}及び0に、修正震度法にあつてはF_{MH}及びF_{Mv}に読み替えること。

$$※1 \frac{3 h_5^2}{t s p^2} \left(\frac{F_{H2}}{b_y h_5} \right)$$

$$※2 \frac{3 h_5^2}{t s p^2} \left(\frac{F_{H2}}{b_x h_5} \right)$$

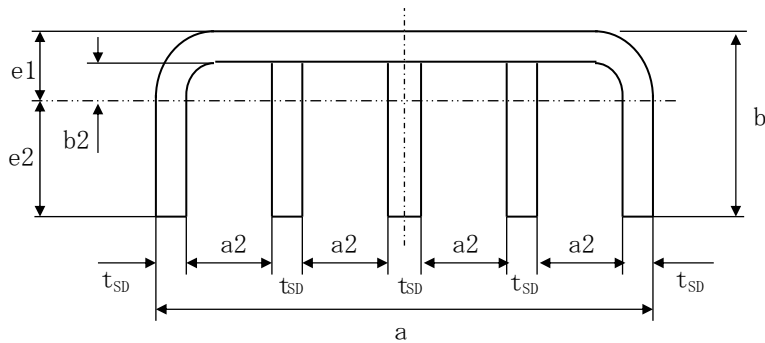
$$※3 \frac{F_{H2} H_v}{N A_{b1} C_b} - \frac{W_{v2} - F_{v2}}{2 N A_{b1}}$$

$$※4 \frac{F_{H2} - 0.2 (W_{v2} - F_{v2})}{n A_{b2}}$$

$$※5 \frac{F_{H2} - 0.3 (W_{v2} - F_{v2})}{2 n A_{b2}}$$

基礎ボルトの引張応力が負の値の場合は、基礎ボルトに引張応力が生じないため、組み合わせ応力の評価は行わない。

サドルの断面積、断面係数の算出



支え板の実際幅	a'	=	1324	mm
支え板の実際長さ	b'	=	180	mm
支え板及びリブの板厚	t_{SD}	=	12	mm
リブの数	m	=	2	本

有効幅	b	=	180	mm	b' と $15t_{SD}$ の内小さいほうの値
有効幅	a_2	=	425.3	mm	$\{a' - (m + 2) \cdot t_{SD}\} / (m + 1)$ と $50t_{SD}$ の内小さい方の値
有効幅	a	=	1323.9	mm	$(m + 2) \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a_2$

断面積

$$A_{SD} = (m + 2) \cdot b \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a_2 \cdot t_{SD} = (2 + 2) \times 180 \times 12 + (2 + 1) \times 425.3 \times 12$$

$$= \underline{23950} \text{ mm}^2$$

断面係数

$$Z_{SD} = \frac{1}{3} \times \frac{a \cdot e_1^3 - (m + 1) \cdot a_2 \cdot b_2^3 + (m + 2) \cdot t_{SD} \cdot e_2^3}{e_2}$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{1323.9 \times 36.3^3 - (2 + 1) \times 425.3 \times 24.3^3 + (2 + 2) \times 12 \times 143.7^3}{143.7}$$

$$= \underline{434819} \text{ mm}^3$$

$$e_2 = \frac{t_{SD}}{A_{SD}} \left[(m + 2) \frac{b^2}{2} + (m + 1) \left(b - \frac{t_{SD}}{2} \right) a_2 \right]$$

$$= \frac{12}{23950} \left[(2 + 2) \frac{180^2}{2} + (2 + 1) \left(180 - \frac{12}{2} \right) \times 425.3 \right]$$

$$= \underline{143.7} \text{ mm}$$

$$e_1 = b - e_2 = 180 - 143.7$$

$$= \underline{36.3} \text{ mm}$$

$$b_2 = e_1 - t_{SD} = 36.3 - 12$$

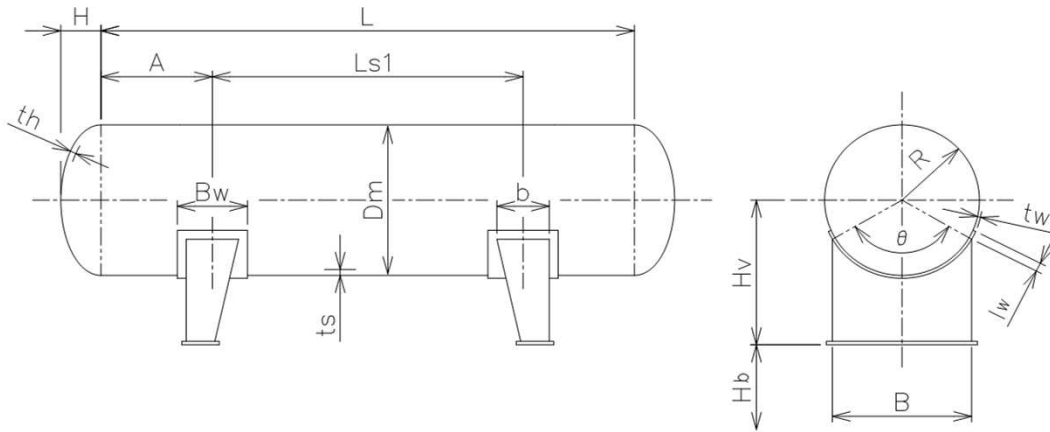
$$= \underline{24.3} \text{ mm}$$

解説参考

JPI-7R-52-2014 横置容器サドル周り強度計算による強度計算書

1. 設計条件及び許容応力

1.1 設計条件及び主要寸法



	水圧試験状態	正常運転状態	休止状態
圧力	- MPa	0.490 MPa	- MPa
温度	- °C	90 °C	- °C
設置場所	設置地域：新潟県		地表面粗度区分：III

胴長さ	L = 3600 mm	サドル支持角	θ = 114.2 deg
胴の平均直径	Dm = 1513 mm	サドル位置	A = 1080 mm
胴の平均半径	R = 756.5 mm	サドル幅	b = 340 mm
胴板の実際厚さ	ts = 12 mm	当て板幅	Bw = 420 mm
腐れ代	C = 1.0 mm	当て板厚さ	tw = 12 mm
鏡のTYPE	2:1半だ円	サドルの横幅	B = 1300 mm
鏡板の実際厚さ	th = 12 mm	2個のサドル間隔	Ls1 = 2440 mm
鏡板深さ	H = 387.0 mm	当て板延長長さ	lw = 50 mm
溶接効率(胴)	ηs = 95 %	サドル下面から	
溶接効率(鏡)	ηh = 100 %	容器中心までの高さ	Hv = 1000 mm
		地表面からサドル下面	
		までの高さ	Hb = 300 mm

胴材質 SB410

常温時の材料の

許容引張応力	Sca = 103.0 N/mm ²
引張強さ	Sua = 410.0 N/mm ²
降伏点又は0.2%耐力	Sya = 225.0 N/mm ²
縦弾性係数	Ea = 203000 N/mm ²

設計温度時の材料の

許容引張応力	Sc = 103.0 N/mm ²
引張強さ	Su = 410.0 N/mm ²
降伏点又は0.2%耐力	Sy = 203.0 N/mm ²
縦弾性係数	E = 198600 N/mm ²

1.2 許容応力

1.2.1 長期の複合引張及び圧縮応力に対する許容基準応力 (σL)

$$Sca = 103.0 \text{ N/mm}^2 \quad Sc = 103.0 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma L : \text{左記の値の最小値} = 103.0 \text{ N/mm}^2$$

1.2.2 長期の許容座屈応力 (σEL)

$$\sigma_{EL} = \frac{0.3 E (ts - C)}{Dm (1 + 0.004 E / Sy)} = \frac{0.3 \times 198600 \times (12 - 1)}{1513 \times (1 + 0.004 \times 198600 / 203.0)} = 88.1 \text{ N/mm}^2$$

1.2.3 短期の複合引張及び圧縮応力に対する許容基準応力 (σS)

$$0.6 S_{ua} = 0.6 \times 410.0 = \underline{246.0} \text{ N/mm}^2 \quad 0.6 S_u = 0.6 \times 410.0 = \underline{246.0} \text{ N/mm}^2$$

$$0.9 S_{ya} = 0.9 \times 225.0 = \underline{202.5} \text{ N/mm}^2 \quad 0.9 S_y = 0.9 \times 203.0 = \underline{182.7} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma S : \text{左記の値の最小値} = \underline{182.7} \text{ N/mm}^2$$

1.2.4 短期の許容座屈応力 (σES)

$$\sigma_{ES} = \frac{0.6 E (t_s - C)}{D_m (1 + 0.004 E / S_y)} = \frac{0.6 \times 198600 \times (12 - 1)}{1513 \times (1 + 0.004 \times 198600 / 203.0)} = 176.3 \text{ N/mm}^2$$

2. 荷重計算

2.1 重量計算

	水圧試験状態	正常運転状態	休止状態
本体	20368 N	20368 N	20368 N
サドル	3481 N	3481 N	3481 N
マンホール、ハンドホール	3236 N	3236 N	3236 N
ノズル	1069 N	1069 N	1069 N
機器付着物	20 N	20 N	20 N
保温保冷材	--- N	2511 N	2511 N
プラットフォーム	--- N	0 N	0 N
ラダー	--- N	0 N	0 N
配管	--- N	0 N	0 N
作業用の液重量	---	1138 N	--- N
積雪	--- N	--- N	--- N
その他	1520 N	1520 N	1520 N
(試験時の水重量)	71098 N	---	---
合計重量 W	100792 N	33343 N	32205 N
強度計算に用いる各重量 (注.)	143592 N	47502 N	45882 N

注. 機器重心位置を考慮して、負荷が大きい方のサドルに加わる鉛直荷重の2倍の値を、機器重量として用いる。(2, 3頁参照)

2.2 風荷重及び地震荷重の計算

2.2.1 風荷重

$$F_w = \underline{3937} \text{ N} \quad \text{※風荷重の算出詳細は 11 頁による。}$$

2.2.2 地震荷重

地震荷重 $k = 0.234$ (B地区、第3種地盤)

$$F_e = k \cdot W = 0.234 \times 1.425 \times 33343 = \underline{11115} \text{ N}$$

2.2.3 短期荷重

$$F_w、F_e \text{ のうち、大きいほう} \quad F_s = \underline{11115} \text{ N}$$

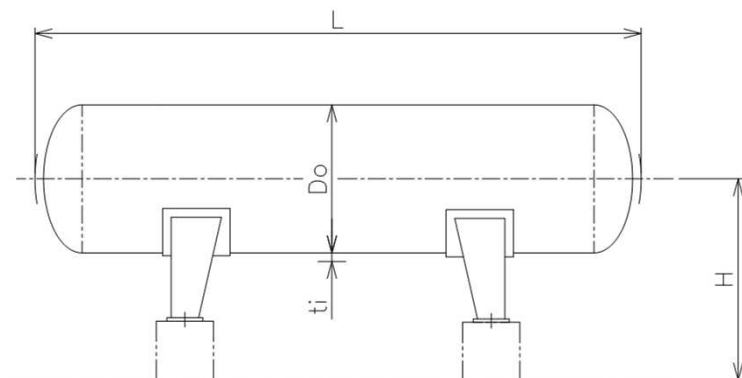
風に対する基本設計条件

地表面粗度区分 :	III
Z _b =	5 m
Z _G =	450 m
α =	0.20

風速 (V ₀) :	30	m/sec
サドル下面から容器中心までの高さ :	1.000	m
地表面からサドル下面までの高さ :	0.300	m

風荷重の算出

設計条件	地表面より容器中心までの高さ	H	m	1.300	
	機器の長さ (鏡深さを含む)	L	mm	4474.0	
	本体内径	D _i	mm	1500	
	板厚	t	mm	12	
	本体外径	D _o	mm	1524	
	保温厚さ	t _i	mm	50	
	保温された機器の外径	B	m	1.624	
	計算に採用する相当直径 (1.2・B)	D	m	1.9488	
	kz = 1.0	kz	—	1.0	
	風力係数 (0.7・kz)	C _f	—	0.7	
計算	有効面積 (D・L)	A	m ²	8.719	
	平均風速の高さ方向の分布を表す係数	H ≤ Z _b の場合 = 1.7 (Z _b /Z _G) ^α	E _r	—	0.6912
		Z _b < H の場合 = 1.7 (H/Z _G) ^α			—
	ガスト影響係数	G _f	—	2.5	
	風速の鉛直分布係数 (E _r ² ・G _f)	E	—	1.194	
	速度圧 (0.6E・V ₀ ²)	q	N/m ²	645	
	各セクション風荷重 (q・C _f ・A)	F _w	N	3937	
風荷重による転倒モーメント	M _w	N・m	3937		



(1) Z_b, Z_G, α の地表面粗度区分に応じた値

地表面粗度区分	Z _b (m)	Z _G (m)	α
I	5	250	0.10
II	5	350	0.15
III	5	450	0.20
IV	10	550	0.27

(2) G_f の地表面粗度区分に応じた値

地表面粗度区分	H ≤ 10m	10m < H < 40m	40m ≤ H
I	2.0	比例補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

2.3 風及び地震による等価垂直荷重の計算

2.3.1 軸に直角方向荷重

$$F_v = \frac{3 F_s H_v}{4 B} = \frac{3 \times 11115 \times 1000}{4 \times 1300} = \underline{\underline{6413}} \quad \text{N}$$

2.3.2 軸方向荷重

$$F_v = \frac{F_s H_v}{L_{s1}} = \frac{11115 \times 1000}{2440} = \underline{\underline{4555}} \quad \text{N}$$

2.3.3 等価垂直荷重

上記荷重のうち大きいほう $F = \underline{\underline{6413}} \quad \text{N}$

2.4 サドル反力の計算

風荷重、地震荷重を考慮しない場合 $Q = \frac{W}{2}$

風荷重、地震荷重を考慮する場合 $Q = \frac{W}{2} + F$

反力Q	水圧試験状態	正常運転状態	休止状態
風荷重、地震荷重を考慮しない場合	- N	16672 N	- N
風荷重、地震荷重を考慮する場合	- N	23084 N	- N

3. 胴及びサドル部の強度計算

3.1 圧力による軸方向応力の計算

$$\sigma_p \text{ (最高)} = \frac{P D_m}{4 (t_s - C)} = \frac{0.49 \times 1513}{4 \times (12-1)} = \underline{\underline{16.9}} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_p \text{ (負圧)} = \frac{P D_m}{4 (t_s - C)} = \frac{0 \times 1513}{4 \times (12-1)} = \underline{\underline{0.0}} \quad \text{N/mm}^2$$

3.2 全体曲げによる軸方向応力の計算

3.2.1 サドル部の全体曲げによる軸方向応力

a) サドル部における曲げモーメント

$$M_{Ls} = Q A \left[1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2A L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right]$$

$$= \begin{matrix} [23084] \\ 16672 \end{matrix} \times 1080 \times \left[1 - \frac{1 - \frac{1080}{3600} + \frac{756.5^2 - 387^2}{2 \times 1080 \times 3600}}{1 + \frac{4 \times 387}{3 \times 3600}} \right]$$

$$= \begin{matrix} [8482248] \text{ (短期)} \\ 6125919 \text{ (長期)} \end{matrix} \quad \text{N}\cdot\text{mm}$$

b) サドル上の胴の断面係数

1) 胴がリング、又は鏡 によって補強された場合 ($A/R \leq 0.5$)

$$Z_s = \pi R^2 (t_s - C) = \text{---} = \text{---} \text{ mm}^3$$

2) サドル上の胴が補強されない場合

$$Z_s = G R^2 (t_s - C) = 0.3069 \times 756.5^2 \times (12-1) = 1932001 \text{ mm}^3$$

$$G = \frac{\Delta + \sin \Delta \cos \Delta - 2 \frac{\sin^2 \Delta}{\Delta}}{\frac{\sin \Delta}{\Delta} - \cos \Delta}, \quad \Delta = \frac{\pi}{180} \left(\frac{5\theta}{12} + 30 \right)$$

$$= 0.3069, \quad = 1.3541 \text{ (rad)}$$

c) 曲げ応力

$$\sigma_{bs} = \pm \frac{M_{LS}}{Z_s} = \frac{[8482248]}{1932001} = \pm [4.4] \text{ (短期)}$$

$$\pm 3.2 \text{ (長期)} \text{ N/mm}^2$$

3.2.2 中央部の全体曲げによる軸方向応力

a) 中央部における曲げモーメント

$$M_{LC} = \frac{Q L}{4} \left[\frac{1 + 2 \left(\frac{R^2 - H^2}{L^2} \right)}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right]$$

$$= \frac{[23084]}{4} \times \frac{3600}{4} \times \left[\frac{1 + 2 \left(\frac{756.5^2 - 387^2}{3600^2} \right)}{1 + \frac{4 \times 387}{3 \times 3600}} - \frac{4 \times 1080}{3600} \right]$$

$$= \begin{matrix} -[5574853] & \text{(短期)} \\ -4026185 & \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

b) 中央部の断面係数

$$Z_c = \pi R^2 (t_s - C) = \pi \times 756.5^2 \times (12-1) = 19777000 \text{ mm}^3$$

c) 曲げ応力

$$\sigma_{bc} = \pm \frac{M_{LC}}{Z_c} = \pm \frac{\begin{bmatrix} -5574853 \\ -4026185 \end{bmatrix}}{19777000} = \pm \begin{matrix} [0.3] & \text{(短期)} \\ 0.3 & \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

3.3 複合応力の計算

3.3.1 サドル部における複合応力

a) 引張側

$$(\sigma 1) \text{引張} = (\sigma p) \text{最高} + (\sigma bs) \text{引張} = 16.9 + \begin{matrix} [4.4] \\ 3.2 \end{matrix} = \begin{matrix} [21.3] \\ 20.1 \end{matrix} \begin{matrix} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

b) 圧縮側

$$(\sigma 1) \text{圧縮} = (\sigma p) \text{負圧} + (\sigma bs) \text{圧縮} = 0.0 + \begin{matrix} [-4.4] \\ (-3.2) \end{matrix} = \begin{matrix} [-4.4] \\ -3.2 \end{matrix} \begin{matrix} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

c) 応力評価

長期：

$$(\sigma 1) \text{引張} \quad \underline{20.1} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L \times \eta = 103.0 \times 0.95 = \underline{97.8} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 1) \text{圧縮}| \quad \underline{3.2} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L = \underline{103.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\leq \sigma EL = \underline{88.1} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

短期：

$$(\sigma 1) \text{引張} \quad \underline{21.3} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S \times \eta = 182.7 \times 0.95 = \underline{173.5} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 1) \text{圧縮}| \quad \underline{4.4} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S = \underline{182.7} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\leq \sigma ES = \underline{176.3} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

3.3.2 中央部における複合応力

a) 引張側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma_2 \text{ (長期)}) \text{引張} = (\sigma P) \text{最高} + (\sigma bc \text{ (長期)}) \text{引張} = 16.9 + 0.3 = \underline{17.2} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma_2 \text{ (短期)}) \text{引張} = (\sigma P) \text{最高} + (\sigma bc \text{ (短期)}) \text{引張} = 16.9 + 0.3 = \underline{17.2} \text{ N/mm}^2$$

b) 圧縮側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma_2 \text{ (長期)}) \text{圧縮} = (\sigma P) \text{負圧} + (\sigma bc \text{ (長期)}) \text{圧縮} = 0.0 - 0.3 = \underline{-0.3} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma_2 \text{ (短期)}) \text{圧縮} = (\sigma P) \text{負圧} + (\sigma bc \text{ (短期)}) \text{圧縮} = 0.0 - 0.3 = \underline{-0.3} \text{ N/mm}^2$$

c) 応力評価

長期：

$$(\sigma_2) \text{引張} \underline{17.2} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L \times \eta = 103.0 \times 0.95 = \underline{97.8} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma_2) \text{圧縮}| \underline{0.3} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L = \underline{103.0} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$\leq \sigma EL = \underline{88.1} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

短期：

$$(\sigma_2) \text{引張} \underline{17.2} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S \times \eta = 182.7 \times 0.95 = \underline{173.5} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma_2) \text{圧縮}| \underline{0.3} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S = \underline{182.7} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$\leq \sigma ES = \underline{176.3} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

3.4 サドル部における接線せん断応力の計算

3.4.1 サドル部に補強リングが無い場合

a) サドル上の断面が補強されない場合 ($A/R > 0.5$)

i) せん断応力

$$\tau_1 = \frac{K_1 Q}{R (ts - C)} \left[\frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3} H} \right]$$

$$= \frac{1.272 \times 16672}{756.5 \times (12-1)} \times \left[\frac{3600 - 2 \times 1080}{3600 + \frac{4}{3} \times 387} \right]$$

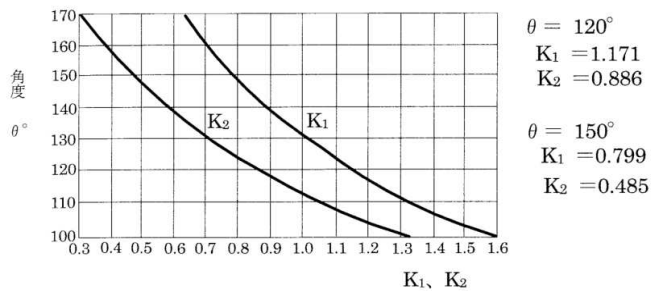
[23084]

$$= \frac{1.3}{0.9} \text{ (短期)} \text{ (長期)} \text{ N/mm}^2$$

ii) 応力評価

長期： $\tau_1 = 0.9 \text{ N/mm}^2 \leq 0.8 \sigma_L = 0.8 \times 103.0 = 82.4 \text{ N/mm}^2$ **OK!**
 短期： $\tau_1 = 1.3 \text{ N/mm}^2 \leq 0.6 \sigma_S = 0.6 \times 182.7 = 109.6 \text{ N/mm}^2$ **OK!**

図3 K_1 、 K_2 の値



ここで、

$$K_1 = \frac{\sin \alpha}{(\pi - \alpha + \sin \alpha \cos \alpha)} = 1.272$$

$$\alpha = \pi - \frac{\theta}{2} \left(\frac{\pi}{180} \right) - \left(\frac{\beta}{20} \right) = 0.95 \beta = 2.038 \text{ (rad)}$$

$$\beta = \pi - \frac{\theta}{2} \left(\frac{\pi}{180} \right) = 2.145 \text{ (rad)} \quad \theta : \text{サドルの支持角} = 114.2^\circ$$

3.5 サドルホーン部における円周方向応力の計算

3.5.1 サドル部に補強リング無しの時の複合応力

a) 当板を計算に算入できない場合

1) サドルホーン部における胴板の応力

i) サドル反力による応力

$$\sigma Q = - \frac{Q}{4 (ts - C) \{b + 1.56 \sqrt{[R (ts - C)]}\}}$$

$$= - \frac{[23084]}{4 \times (12 - 1) \times \{340 + 1.56 \times \sqrt{[756.5 \times (12 - 1)]}\}} = \frac{[-1.1]}{0.8} \text{ (短期)} \text{ N/mm}^2 \text{ (長期)}$$

ii) 最大円周曲げモーメントによる応力

$$Mc = K3 Q R = 0.0579 \times [23084] \times 756.5 = \frac{[1011118]}{730234} \text{ (短期)} \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (長期)}$$

$$\sigma M = \pm \frac{6 Mc}{Le (ts - C)^2}$$

$$= \pm \frac{[1011118]}{1800 \times (12 - 1)^2} = \frac{\pm [27.9]}{\pm 20.2} \text{ (短期)} \text{ N/mm}^2 \text{ (長期)}$$

iii) 圧力により胴板に生じる円周方向応力

$$\sigma C1 \text{ (設計)} = \frac{P Dm}{2 (ts - C)} = \frac{0.49 \times 1513}{2 \times (12 - 1)} = \underline{33.7} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma C1 \text{ (負圧)} = \frac{P Dm}{2 (ts - C)} = \frac{\times 1513}{2 \times (12 - 1)} = \underline{0.0} \text{ N/mm}^2$$

iv) 複合応力 ($\sigma Q + \sigma M + \sigma C1$)

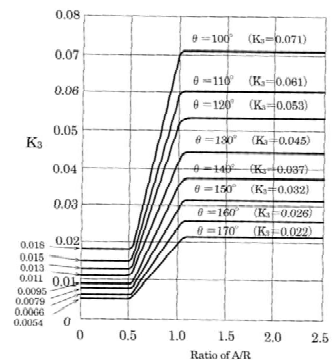
b) 引張側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma 3 \text{ (長期)}) \text{引張} = \sigma Q + \sigma M + \sigma C1 \text{ (設計)} = -0.8 + 20.2 + 33.7 = \underline{53.1} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma 3 \text{ (短期)}) \text{引張} = \sigma Q + \sigma M + \sigma C1 \text{ (設計)} = -1.1 + 27.9 + 33.7 = \underline{60.5} \text{ N/mm}^2$$

図4 K₃の値

c) 圧縮側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma 3 \text{ (長期)}) \text{圧縮} = \sigma Q - \sigma M + \sigma C1(\text{負圧}) = -0.8 - 20.2 + 0.0 = \underline{-21.0} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma 3 \text{ (短期)}) \text{圧縮} = \sigma Q - \sigma M + \sigma C1(\text{負圧}) = -1.1 - 27.9 + 0.0 = \underline{-29.0} \text{ N/mm}^2$$

d) 応力評価

長期：

$$(\sigma 3) \text{引張} \quad \underline{53.1} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma L = 1.5 \times 103.0 = \underline{154.5} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 3) \text{圧縮}| \quad \underline{21.0} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma L = 1.5 \times 103.0 = \underline{154.5} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

短期：

$$(\sigma 3) \text{引張} \quad \underline{60.5} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma S = 1.5 \times 182.7 = \underline{274.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 3) \text{圧縮}| \quad \underline{29.0} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma S = 1.5 \times 182.7 = \underline{274.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

ここで、

$$\frac{A}{R} \leq 0.5 \text{ のとき} \quad K3 = \frac{1}{4} K3' = \underline{\quad\quad\quad}$$

$$0.5 < \frac{A}{R} \leq 1 \text{ のとき} \quad K3 = \frac{1.5 K3' A}{R} - \frac{K3'}{2} = \underline{\quad\quad\quad}$$

$$\frac{A}{R} > 1 \text{ のとき} \quad K3 = K3' = \underline{0.0579}$$

$$K3' = \frac{1}{4\pi} \left[\left(\cos \beta - \frac{\sin \beta}{\beta} \right) \left\{ 3 - \frac{4 - 6 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 + 2 \cos^2 \beta}{1 + \frac{\sin \beta}{\beta} \cos \beta - 2 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2} \right\} - 2 \beta \sin \beta \right]$$

$$= \underline{0.0579}$$

$$\beta = \pi - \frac{\theta}{2} \left(\frac{\pi}{180} \right) = \underline{2.145} \text{ (rad)} \quad \theta : \text{サドルの支持角} = \underline{114.2}^\circ$$

3.7 サドルに接する胴板のリング圧縮応力

- 2) 当板を計算に算入できない場合 (及び当板がない場合)
 (当板の幅がサドル端から両側にそれぞれ、 $0.78\sqrt{R(ts - C)}$ 以上ある場合を除く)

$$\begin{aligned} \sigma_5 &= - \frac{K_7 Q}{(ts - C) \{b + 1.56\sqrt{R(ts - C)}\}} + \frac{P D_m}{2(ts - C)} \\ &= - \frac{[23084]}{(12 - 1) \{ 340 + 1.56 \sqrt{[756.5 \times (12 - 1)]} \}} \\ &\quad + \frac{0 \times 1513}{2 \times (12 - 1)} \\ &= \begin{matrix} [-3.5] & \text{(短期) } N/mm^2 \\ -2.5 & \text{(長期) } N/mm^2 \end{matrix} \end{aligned}$$

$$|\sigma_5| = \begin{matrix} [3.5] & \text{(短期) } N/mm^2 & \leq \text{Min. } (\sigma_s \text{ or } \sigma_{ES}) & = & [176.3] & N/mm^2 & \text{OK!} \\ 2.5 & \text{(長期) } N/mm^2 & \leq \text{Min. } (\sigma_L \text{ or } \sigma_{EL}) & = & 88.1 & N/mm^2 & \text{OK!} \end{matrix}$$

ここで、

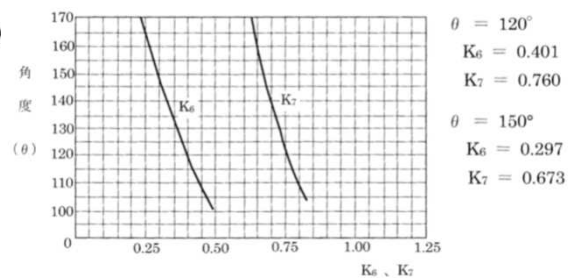
σ_5 : サドルに接する胴板のリング圧縮応力 (N/mm^2)

K_7 : サドルの支持角度より求まる係数

$$\begin{aligned} K_7 &= \frac{1 + \cos \alpha}{\pi - \alpha + \sin \alpha \cos \alpha} \\ &= \frac{1 + \cos 2.038}{\pi - 2.038 + \sin 2.038 \times \cos 2.038} \\ &= \underline{0.783} \end{aligned}$$

b : サドルの幅 = 340 mm

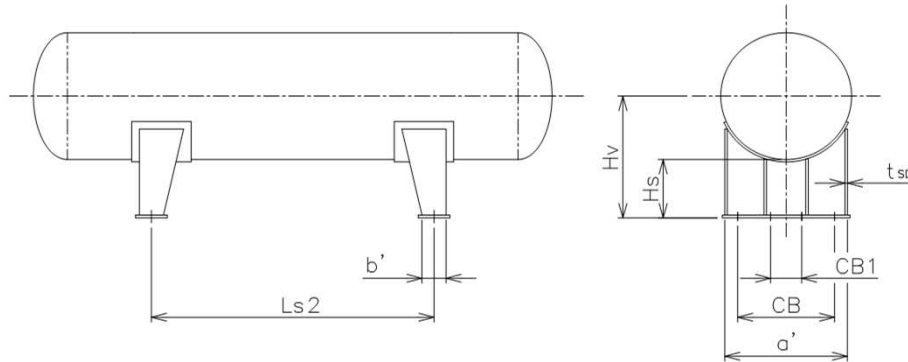
図 6 K_6 、 K_7 の値



解説参考

JPI-7R-53-2009 横置容器サドルによる強度計算書

4. 横置容器サドルの強度



[設計条件]

サドル材質		SS400	
設計温度		90	°C
サドルの許容圧縮応力	$\sigma_{SDac} =$	174.0	N/mm ² (JPI-7R-53 解説 (Ⅲ) 5.4 i)による)
サドルの許容座屈応力	$\sigma_{SDab} =$	174.0	N/mm ² (JPI-7R-53 解説 (Ⅲ) 5.4 j)による)
基礎ボルト材質 (at 20°C)		SS400	
基礎ボルトの許容引張応力	$\sigma_{Ba} =$	235.0	N/mm ² (JPI-7R-53 解説 (Ⅲ) 5.4 k)による)
基礎ボルトの許容せん断応力	$\tau_{Ba} =$	135.0	N/mm ² (JPI-7R-53 解説 (Ⅲ) 5.4 l)による)
運転重量(※)	$W_o =$	47501	N (1.425×33343 N)
シャットダウン重量(※)	$W_s =$	45880	N (1.425×32205 N)
水圧試験重量(※)	$W_w =$	143591	N (1.425×100792 N)
容器中心高さ	$H_v =$	1000	mm
サドル間隔	$L_{s2} =$	2600	mm
サドル高さ	$H_s =$	238	mm
サドル長さ	$a' =$	1324	mm (腐れ代を除く)
サドル幅	$b' =$	180	mm (腐れ代を除く)
外側ボルト間隔	$CB =$	1080	mm
内側ボルト間隔	$CB1 =$	—	mm
サドル一個当たりのボルト本数	$n =$	2	本
ボルト一本の断面積	$AB =$	539.5	mm ² M30 谷径 26.211mm
ベースプレートとすべり板間の静止摩擦係数	$\mu_{os} =$	0.2	
ベースプレートとすべり板間の動摩擦係数	$\mu_s =$	0.1	
ベースプレートと基礎間の動摩擦係数	$\mu_F =$	0.3	
チューブバンドルと容器内壁間の静止摩擦係数	$\mu_{oT} =$	0.5	
サドルの有効断面積	$AsD =$	23950	mm ² (8頁参照)
サドルの有効断面係数	$ZsD =$	434819	mm ³ (8頁参照)

※地震荷重による評価は、重複するため省略する。

固定側サドルに加わる鉛直荷重が、機器重量の 0.712倍であるので、応力算定をする際に用いる機器重量は、上記の値の 1.425倍とする。(2, 3頁参照)

4-1). サドルに生じる応力

a) 正常運転状態

風荷重 ($F_w = 3937$, $\mu_{os} \cdot W_o = 6668.6$)

$F_w \leq \mu_{os} W_o$ の場合

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{F_w H_s}{2ZsD} + \frac{F_w H_v}{AsD L_s^2} \\ &= \frac{47501}{2 \times 23950} + \frac{3937 \times 238}{2 \times 434819} + \frac{3937 \times 1000}{23950 \times 2600} \\ &= \underline{2.2} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDac} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

$F_w > \mu_{os} W_o$ の場合

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{(2F_w - \mu_s W_o) H_s}{2ZsD} + \frac{F_w H_v}{AsD L_s^2} \\ &= \frac{---}{---} + \frac{---}{---} + \frac{---}{---} \\ &= \underline{---} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{SDac} = \underline{---} \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

b) 水圧試験状態

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_w}{2AsD} \\ &= \frac{143591}{2 \times 23950} \\ &= \underline{3.0} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDab} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

c) 熱膨張状態

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{\mu_{os} W_o H_s}{2ZsD} \\ &= \frac{47501}{2 \times 23950} + \frac{0.2 \times 47501 \times 238}{2 \times 434819} \\ &= \underline{3.6} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDac} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

5. 基礎ボルトに生じる応力

a) 風荷重により生じる引張応力

(ボルト本数 $n=2$ の場合)

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{F_w H_v}{2CB AB} - \frac{W_s}{4AB} \\ &= \frac{3937 \times 1000}{2 \times 1080 \times 539.5} - \frac{45880.081}{4 \times 539.5} \\ &= \underline{-17.9} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Ba} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

ボルトに引張応力は生じない

(ボルト本数 $n=4$ の場合)

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{F_w H_v}{2(CB+CB1) AB} - \frac{W_s}{8AB} \\ &= \frac{\quad\quad\quad}{\quad\quad\quad} - \frac{\quad\quad\quad}{\quad\quad\quad} \\ &= \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Ba} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

b) 風荷重により生じるせん断応力

$$\begin{aligned}\tau_B &= \frac{F_w - \mu_s W_s}{2n \times AB} \\ &= \frac{3937 - 0.1 \times 45880.08055235}{2 \times 2 \times 539.5} \\ &= \underline{-0.4} \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{Ba} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

ボルトにせん断応力は生じない