

高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準
(レベル1) KHKS 0861 静的震度法

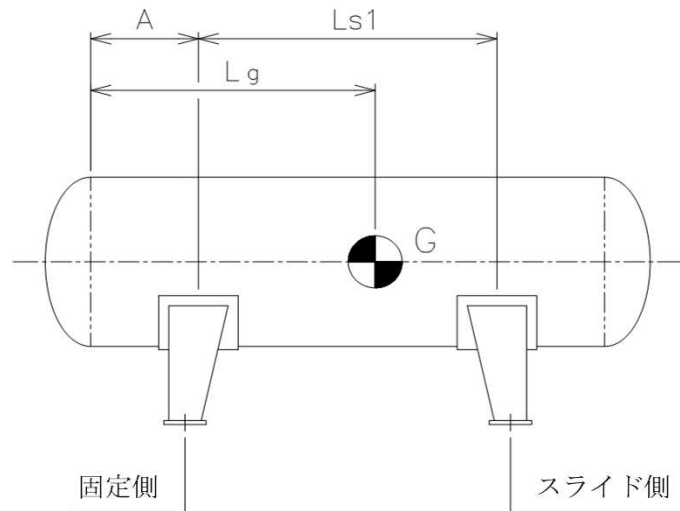
横置円筒形貯槽 [重要度がⅡ又はⅢであって、
貯蔵能力が100t 未満のもの]

1. 応答解析等

設 計 条 件	貯蔵能力 (詳細は 頁による)	W	t	0.023	
	事業所境界線までの最短距離	X	m	500	
	内 容 物			原料ガス	
	高 圧 ガ ス の 種 類			可燃性	
	重 要 度 分 類			Ⅲ	
	重 要 度 係 数	β_1		0.50	
	設 置 場 所 [①. コンビ則の特定製造事業所 2. 上 記 以 外]			千葉県	
	地 域 区 分			特A	
	地 域 係 数	β_2		1.0	
	地 盤 種 別			第4種地盤	
	表 層 地 盤 増 幅 係 数	β_3		2.0	
	耐震設計設備の地表面からの高さ	H_G	m	2.262	
	貯 槽 本 体 重 量	W_2	N	21143	
	サ ド ル 重 量	W_3	N	1687	
附 属 品 重 量	W_4	N	2432		
応 答 解 析 等	貯蔵能力 $W < 100t$ の検討			$0.023 < 100$ 適	
	内容液重量 $9.80665 \times 1000 \times W$	W_1	N	226	
	胴に生じる応力算定用運転重量 ($W_1+W_2+W_4$) (注1)	W_{H1} W_{V1}	N	29210	
	サドル及び基礎ボルトに生じる応力算定用運転重量 ($W_1+W_2+W_3+W_4$) (注1)	W_{H2} W_{V2}	N	30986	
	$\beta_1 \beta_2$ (0.33未満の場合は0.33)	β_x		0.50	
	地震動のレベルに基づく係数	μ_k		1.0 (レベル1地震動)	
	第一設計 地震動	水平震度 $0.150 \mu_k \beta_x \beta_3$	K_H	0.150	
	水 平 方 向 応 答 倍 率	$H_G \leq 16$ の場合 $\beta_4=2.0$	β_4		2.0
		$16 < H_G \leq 35$ の場合 $\beta_4=1.04+0.06H_G$			-
		$35 < H_G$ の場合 $\beta_4=3.14$			-
設計静的水平震度 $\beta_4 K_H$ (0.2を下回る場合は0.2)	K_{SH}		0.300		
設 計 静 的 水 平 地 震 力	$K_{SH} \cdot W_{H1}$	F_{SH1}	N	8763	
	$K_{SH} \cdot W_{H2}$	F_{SH2}	N	9296	

注 1. サドルは機器重心に対して偏心してついているため、サドルの強度計算に用いる荷重条件は、
2~4頁のようにする。

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）	$W_{11} =$	27734	N
機器運転重量（サドルを含む）	$W_{12} =$	29421	N
固定側T.L.～固定側サドル中心	$A =$	750	mm
サドル中心間距離	$Ls1 =$	1840	mm
固定側T.L.～機器重心	$Lg =$	1719	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

$$\begin{aligned} \frac{W_f}{W_s} &= \frac{Ls1 - (Lg - A)}{Lg - A} \\ &= \frac{1840 - (1719 - 750)}{1719 - 750} \\ &= 0.899 \end{aligned}$$

したがって、スライド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

$$\begin{aligned} W_{s1} &= \frac{1.000}{1 + 0.899} W_{11} \\ &= \frac{1.000}{1 + 0.899} \times 27734 \\ &= 14605 \text{ N} \end{aligned}$$

サドルを含む機器運転重量は

$$\begin{aligned}W_{s2} &= \frac{1.000}{1 + 0.899} W_{12} \\ &= \frac{1.000}{1 + 0.899} \times 29421 \\ &= 15493 \text{ N}\end{aligned}$$

上記の結果より

胴に生じる応力算定用運転重量は、

$$\begin{aligned}W_{H1}, W_{V1} &= 2W_{s1} \\ &= 2 \times 14605 \\ &= 29210 \text{ N}\end{aligned}$$

サドルに生じる応力算定用の運転重量は、

$$\begin{aligned}W_{H2}, W_{V2} &= 2W_{s2} \\ &= 2 \times 15493 \\ &= 30986 \text{ N}\end{aligned}$$

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 (10 頁参照)

$$W_{13} = 29195 \text{ N}$$

スライド側サドルに加わる鉛直荷重は、

$$\begin{aligned}W_{s3} &= \frac{1.000}{1 + 0.899} W_{13} \\ &= \frac{1.000}{1 + 0.899} \times 29195 \\ &= 15374 \text{ N}\end{aligned}$$

サドルに生じる応力算定用のシャットダウン重量は、

$$\begin{aligned}W_s &= 2W_{s3} \\ &= 2 \times 15374 \\ &= 30748 \text{ N}\end{aligned}$$

水圧試験重量 (10 頁参照)

$$W_{14} = 98528 \text{ N}$$

スライド側サドルに加わる鉛直荷重は、

$$\begin{aligned}W_{s4} &= \frac{1.000}{1 + 0.899} W_{14} \\ &= \frac{1.000}{1 + 0.899} \times 98528 \\ &= 51885 \text{ N}\end{aligned}$$

サドルに生じる応力算定用の水圧試験重量は、

$$\begin{aligned}W_w &= 2W_{s4} \\ &= 2 \times 51885 \\ &= 103770 \text{ N}\end{aligned}$$

高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準 (レベル 1)
KHKS 0861 静的震度法・修正震度法

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

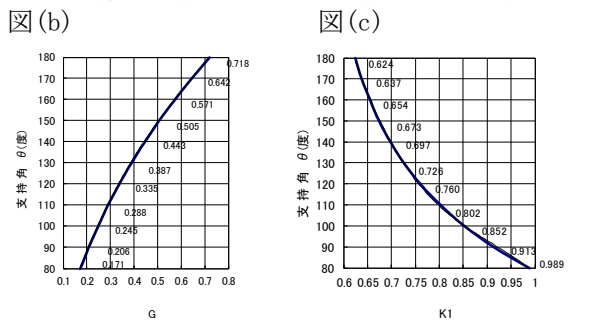
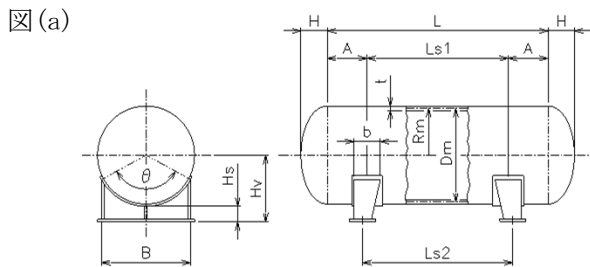
2. 胴のサドル部及び中央部に生じる応力, 許容応力及びその判定

設計 胴 計 条 件 サ ド ル	設計温度	°C	70	許容 応力 等	胴の平均直径 D_{i+t}	D_m	mm	1512.0			
	常用の圧力	P_o	MPa		0.200	胴の平均直径の1/2の値	R_m	mm	756.0		
	使用材料名		SUS304		表(a)により得られる値	S	N/mm^2		184.5		
	材料の区分(表(a)による)		(2)		許容引張応力 $S\eta$	f_t	N/mm^2		175.2		
	設計 温度	材料の引張強さ	S_u		N/mm^2	502.0	S_y 又は S_{y0} の小なる値	$S_{y'}$	N/mm^2	187.0	
		材料の最小降伏点 又は0.2%耐力	S_y		N/mm^2	187.0	$0.6E_t / ((1+0.004E/S_{y'})D_m)$	S'	N/mm^2	178.9	
		材料の縦弾性係数	E		N/mm^2	191800	許容圧縮応力 S 又は S' の小なる値	f_c	N/mm^2	178.9	
	常 温	材料の最小引張強さ	S_{u0}		N/mm^2	520.0	等 価 鉛 直 荷 重	軸方向 $F_{H1} \cdot H_v / L_{s1}$	F_{v_x}	N	4763
		材料の最小降伏点 又は0.2%耐力	S_{y0}		N/mm^2	205.0		軸直角方向 $3F_{H1} \cdot H_v / 4B$	F_{v_y}	N	4964
	板厚(腐れしをを除く)	t	mm		12	F_{v_x} 又は F_{v_y} の大なる値		F_{e_v}	N	4964	
	内径(腐れしをを除く)	D_i	mm	1500	胴 の サ ド ル 部 の 算 定 応 力 及 び 判 定	サドルから受ける反力 ($W_{v1} + F_{v1}$)/2+ F_{e_v}	Q	N	19569		
	図(a)に示す正接線間距離	L	mm	3500		① $6A(L-A) + 3(R_m^2 - H^2)$			13640301		
	胴が鏡により補強される ($A/R_m \leq 0.5$ に限る)			否		曲げモーメント $Q(A - \text{①}) / (2(3L + 4H))$	M_{LS1}	$N \cdot mm$	3599101		
	胴が強め輪により補強 されることの有無			否		図(b)により得られる値	G		0.308		
	溶接効率	η		0.95		胴が鏡により補強される ($A/R_m \leq 0.5$ に限る) $\pi R_m^2 t$	Z_s	mm^3	-		
	図(a)に示す鏡板の深さ	H	mm	387		胴が強め輪により 補強される場合 $\pi R_m^2 t$			-		
	図(a)に示す距離	H_v	mm	1000		上記以外 $GR_m^2 t$			2112397.1		
	図(a)に示す中心間距離	L_{s1}	mm	1840		算定引張応力 $P_o D_m / 4t + M_{LS1} / Z_s$	σ_{t1}	N/mm^2	8.1		
	図(a)に示すサドル中心から 正接線までの長さ	A	mm	750		判定 $\sigma_{t1} \leq f_t$		N/mm^2	$8.1 \leq 175.2$		
	図(a)に示すY方向長さ	B	mm	1324		図(c)により得られる値	K_1		0.784		
図(a)に示すサドルの幅	b	mm	340	有当 の 場 合	$b + 1.56\sqrt{R_m t} < C$ の検討		否				
図(a)に示す支持角	θ	°	114.2	適合板	適の場合 $t + t_s$	t_1	mm	-			
当て板の有無			有	否の場合 t	12						
有 当 の 場 合 合 板	当て板の板厚	t_s	mm	12	算定圧縮応力 $K_1 Q / ((b + 1.56\sqrt{R_m t}) t_1)$	σ_{c1}	N/mm^2	2.7			
	当て板の幅	C	mm	420	判定 $\sigma_{c1} \leq f_c$		N/mm^2	$2.7 \leq 178.9$			
図(a)に示すボルト穴 中心間距離	L_{s2}	mm	2000	胴 の 中 央 部 の 算 定 応 力 及 び 判 定	② $3L^2 + 6(R_m^2 - H^2)$			39280602			
図(a)					曲げモーメント $Q(\text{②}) / (4(3L + 4H) - A)$	M_{LC2}	$N \cdot mm$	1273659			
図(b)					$\pi R_m^2 t$	Z_c	mm^3	21546399.6			
図(c)					算定引張応力 $P_o D_m / 4t + M_{LC2} / Z_c$	σ_{t2}	N/mm^2	6.4			
					判定 $\sigma_{t2} \leq f_t$		N/mm^2	$6.4 \leq 175.2$			
					算定圧縮応力 M_{LC2} / Z_c	σ_{c2}	N/mm^2	0.1			
				判定 $\sigma_{c2} \leq f_c$		N/mm^2	$0.1 \leq 178.9$				

注: F_H 及び F_v は、静的震度法では F_{SH} 及び 0 に、
修正震度法では F_{MH} 及び F_{MV} に読み替えること。

表 (a)

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 0.9Sy0, 1.0Sy
3	上記以外	0.6Suo, 0.6Su 0.9Sy0, 0.9Sy



高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準 (レベル 1)
KHKS 0861 静的震度法・修正震度法

横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

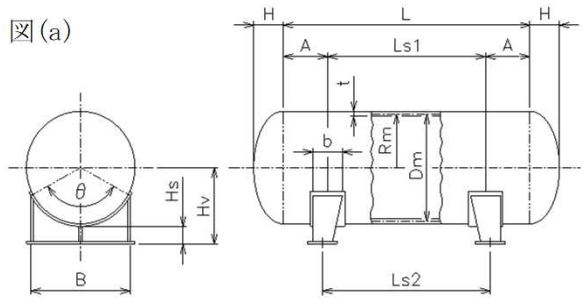
3. 鏡(胴が鏡により補強される場合に限る)及びサドルに生じる応力, 許容応力及びその判定

設計条件	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 $\times (2+(D_h/2h)^2)/3$	σ'	N/mm^2	
			材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Sy_{o3}	N/mm^2	-				
	板厚(腐れしろを除く)			t_h	mm	-	全半球 ①		-	
	鏡板の種類					-	さら形 ① $\times (3+\sqrt{(R_h/r)})/4$		-	
	半円体	だ円体の長径		D_h	mm	-	算定引張応力 $K_2Q/Rmt_h + \sigma'$	σ_{t3}	N/mm^2	-
		だ円体短径1/2の値		h	mm	-	判定 $\sigma_{t3} \leq f_{t3}$		N/mm^2	$- \leq -$
	さら形	全半球鏡板の内径		D_h	mm	-	表(a)により得られる値	S_4	N/mm^2	208.8
		中央部の内径		D_h	mm	-	Sy_4 又は Sy_{o4} の小なる	Sy_4'	N/mm^2	232.1
		鏡の中央部の内径の1/2		R_h	mm	-	座屈許容応力	S_4'	N/mm^2	-
	ナックル部の内半径			r	mm	-	Sy_{o4} 又は $0.7Su_{o4}$ の小なる値	F_4	N/mm^2	245.0
	固定の方式			片固定			許容圧縮応力	f_{c4}	N/mm^2	245.0
使用材料名			SS400			当て板のある場合 F_4			-	
材料の区分(表(a)による)			(3)			当て板のない場合 S_4, S_4', F_4 の小なる値			-	
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	② $(W_{V2}+F_{V2})/2A_{SD}$			0.8	
		材料の降伏点又は0.2%耐力	Sy_4	N/mm^2	232.1	③ $H_s/2Z_{SD}$			0.00036	
常温	材料の縦弾性係数	材料の縦弾性係数	E_4	N/mm^2	199800	④ $2F_{H2}-0.1(W_{V2}+F_{V2})$			15494	
		材料の最小引張強さ	Su_{o4}	N/mm^2	400.0	⑤ $F_{H2} \cdot Hv/A_{SD} \cdot Ls_2$			0.23	
材料の最小降伏点又は0.2%耐力			Sy_{o4}	N/mm^2	245.0	算定圧縮応力	σ_{c4}	N/mm^2	6.7	
板厚			t_4	mm	12	片固定 ②+③ \times ④+⑤			-	
図(a)に示す値			H_s	mm	238	両固定 ②+③ \times $F_{H2}+⑤$			-	
有効断面積(注1)			A_{SD}	mm^2	20880	判定 $\sigma_{c4} \leq f_{c4}$		N/mm^2	$6.7 \leq 245.0$	
有効断面係数(注2)			Z_{SD}	mm^3	332669	注1は 8頁による	注2は 8頁による	注3 - 頁による		

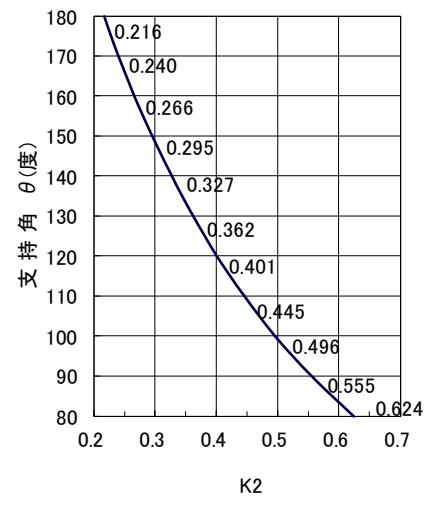
注: F_{H2} 及び F_{V2} は、静的震度法では F_{SH} 及び 0 に、修正震度法では F_{MH} 及び F_{MV} (重要度がII又はIIIの場合にあっては 0 としてもよい)と読み替えること。

表(a) 備考: Sの欄は、鏡にあっては Su_3, Sy_3 ...サドルにあっては Su_4, Sy_4 ...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	0.6Su _o , 0.6Su 0.9Sy _o , 1.0Sy
3	上記以外	0.6Su _o , 0.6Su 0.9Sy _o , 0.9Sy



図(b)



高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（レベル 1）
KHKS 0861 静的震度法・修正震度法

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		—	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		—				
		板厚	tsp	mm	—		筒の軸方向	算定曲げ応力 ※1	σ cpy	N/mm ²	—
		高さ	hsp	mm	—			判定 σ cpy ≤ fb5		N/mm ²	—
		軸方向の長さ	bx	mm	—		筒の軸方向	算定せん断応力 (F _{SH2} +F _{SH3})/by・tsp	τ sy	N/mm ²	—
		軸直角方向の長さ	by	mm	—			判定 τ sy ≤ fs5		N/mm ²	—
	基礎ボルト	常温	使用材料名			SS400	基礎ボルトの算定応力、許容応力及び判定	Syo6又は0.7Suo6の小なる値	F6	N/mm ²	235.0
			材料の最小引張強さ	Suo6	N/mm ²	400.0		許容引張応力 F6	ft6	N/mm ²	235.0
				材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Syo6	N/mm ²					
			ボルトの谷径	d1	mm	26.211		許容せん断応力 F6/√3	fs6	N/mm ²	135.6
		ボルトの軸径	d2	mm	30						
		サドル一個当りの基礎ボルトの数	N	本	2	断面積	谷径 π d1 ² /4	Ab1	mm ²	539.5	
		固定側サドルの基礎ボルトの数	n	本	2		軸径 π d2 ² /4	Ab2	mm ²	706.8	
		基礎ボルトの軸直角方向の間隔	Cb	mm	1080	算定引張応力 ※3	σ t6	N/mm ²	-6.4		
						判定 σ t6 ≤ ft6		N/mm ²	-6.4 ≤ 235.0		
						算定せん断応力	片固定 ※4	τ 6	N/mm ²	2.2	
										両固定 ※5	
						判定 τ 6 ≤ fs6		N/mm ²	2.2 ≤ 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：F_H及びF_V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。

$$※ 1 \frac{3hsp}{tsp^2} \left(\frac{F_{H2}}{by \cdot hsp} \right)$$

$$※ 2 \frac{3hsp^2}{tsp^2} \left(\frac{F_{H2}}{bx \cdot hsp} \right)$$

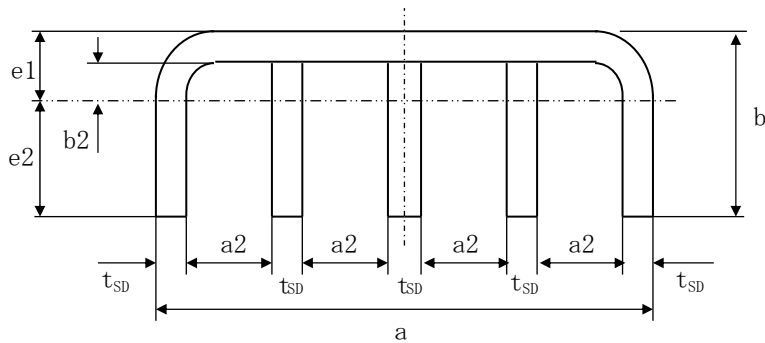
$$※ 3 \frac{F_{H2} \cdot H_V}{N \cdot A_{b1} \cdot C_b} - \frac{W_{V2} - F_{V2}}{2N \cdot A_{b1}}$$

$$※ 4 \frac{F_{H2} - 0.2(W_{V2} - F_{V2})}{n \cdot A_{b2}}$$

$$※ 5 \frac{F_{H2} - 0.3(W_{V2} - F_{V2})}{2n \cdot A_{b2}}$$

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	=	1	本

有効幅	b	=	180	mm	b' と $15t_{SD}$ の内小さいほうの値
	a_2	=	600	mm	$\{a' - (m + 2) \cdot t_{SD}\} / (m + 1)$ と $50t_{SD}$ の内小さい方の値
有効幅	a	=	1236	mm	$(m + 2) \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a_2$

断面積

$$A_{SD} = (m + 2) \cdot b \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a_2 \cdot t_{SD} = (1 + 2) \times 180 \times 12 + (1 + 1) \times 600 \times 12$$

$$= \underline{20880} \text{ mm}^2$$

断面係数

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

$$= \frac{1}{3} \times \frac{1236 \times 32.1^3 - (1 + 1) \times 600 \times 20.1^3 + (1 + 2) \times 12 \times 147.9^3}{147.9}$$

$$= \underline{332669} \text{ mm}^3$$

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

$$= \frac{12}{20880} \left[(1 + 2) \frac{180^2}{2} + (1 + 1) \left(180 - \frac{12}{2} \right) \times 600 \right]$$

$$= \underline{147.9} \text{ mm}$$

$$e_1 = b - e_2 = 180 - 147.9$$

$$= \underline{32.1} \text{ mm}$$

$$b_2 = e_1 - t_{SD} = 32.1 - 12$$

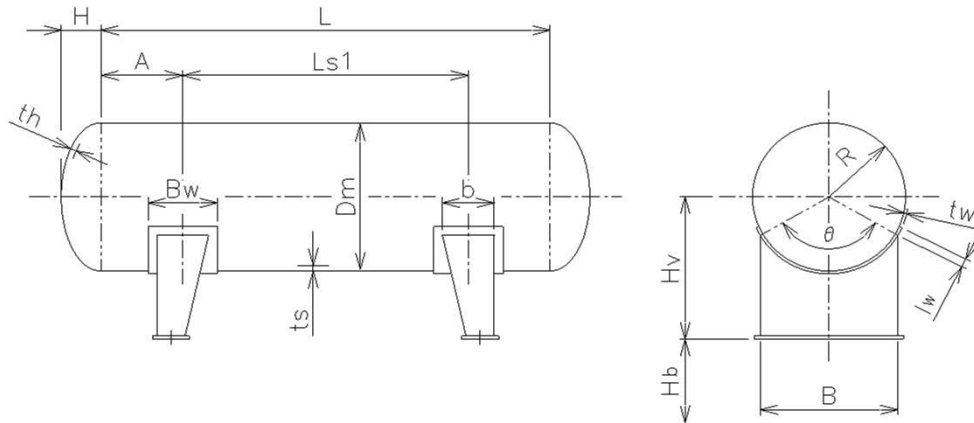
$$= \underline{20.1} \text{ mm}$$

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	0.200 MPa	- MPa
温度	- °C	70 °C	- °C
設置場所	設置地域：千葉県		地表面粗度区分：III

胴長さ	L = 3500 mm	サドル支持角	$\theta = 114.2$ deg
胴の平均直径	Dm = 1512 mm	サドル位置	A = 750 mm
胴の平均半径	R = 756 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 = 0.0 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 = 1840 mm
鏡板深さ	H = 387 mm	当て板延長長さ	lw = 50 mm
溶接効率(胴)	$\eta_s = 95$ %	サドル下面から	
溶接効率(鏡)	$\eta_h = 100$ %	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 = 500 mm
胴材質	SUS304		
常温時の材料の		設計温度時の材料の	
許容引張応力	Sca = 129.0 N/mm ²	許容引張応力	Sc = 125.5 N/mm ²
引張強さ	Sua = 520.0 N/mm ²	引張強さ	Su = 502.0 N/mm ²
降伏点又は0.2%耐力	Sya = 205.0 N/mm ²	降伏点又は0.2%耐力	Sy = 187.0 N/mm ²
縦弾性係数	Ea = 195000 N/mm ²	縦弾性係数	E = 191800 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 (σ_L)

$$Sca = 129.0 \text{ N/mm}^2 \quad Sc = 125.5 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_L : \text{左記の値の最小値} = 125.5 \text{ N/mm}^2$$

1.2.2 長期の許容座屈応力 (σ_{EL})

$$\sigma_{EL} = \frac{0.3 E (ts - C)}{Dm (1 + 0.004 E / Sy)} = \frac{0.3 \times 191800 \times (12 - 0)}{1512 \times (1 + 0.004 \times 191800 / 187.0)} = 89.4 \text{ N/mm}^2$$

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)

$$0.6 S_{ua} = 0.6 \times 520.0 = \underline{312.0} \text{ N/mm}^2 \quad 0.6 S_u = 0.6 \times 502.0 = \underline{301.2} \text{ N/mm}^2$$

$$1.0 S_{ya} = 1.0 \times 205.0 = \underline{205.0} \text{ N/mm}^2 \quad 1.0 S_y = 1.0 \times 187.0 = \underline{187.0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma S : \text{左記の値の最小値} = \underline{187} \text{ N/mm}^2$$

1.2.4 短期の許容座屈応力 (σES)

$$\sigma_{ES} = \frac{0.6 E (t_s - C)}{D_m (1 + 0.004 E / S_y)} = \frac{0.6 \times 191800 \times (12 - 0)}{1512 \times (1 + 0.004 \times 191800 / 187.0)} = 178.9 \text{ N/mm}^2$$

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	20143 N	20143 N	20143 N
チューブバンドル	0 N	0 N	0 N
サドル	1687 N	1687 N	1687 N
マンホール、ハンドホール	3236 N	3236 N	3236 N
ノズル	677 N	677 N	677 N
機器付着物	20 N	20 N	20 N
保温保冷材	2432 N	2432 N	2432 N
プラットフォーム	0 N	0 N	0 N
ラダー	0 N	0 N	0 N
配管	0 N	0 N	0 N
作業用の液重量	---	226 N	---
積雪	---	0 N	0 N
その他	1000 N	1000 N	1000 N
(試験時の水重量)	69333 N	---	---
合計重量 W	98528 N	29421 N	29195 N

強度計算に用いる運転重量 (注.)

30986 N

注. サドルは機器重心に対して偏心してついているため、サドルの強度計算に用いる荷重条件は、2~4頁のようにする。

2.2 風荷重及び地震荷重の計算

2.2.1 風荷重

$$F_w = \underline{6106} \text{ N} \quad \text{※風荷重の算出詳細は 11 頁による。}$$

2.2.2 地震荷重

地震荷重 (設計水平震度 $k = 0.3$ (特A地区、第4種地盤))

$$F_e = k \cdot W = 0.3 \times 30986 = \underline{9296} \text{ N}$$

2.2.3 短期荷重

$$F_w、F_e \text{ のうち、大きいほう} \quad F_s = \underline{9296} \text{ N}$$

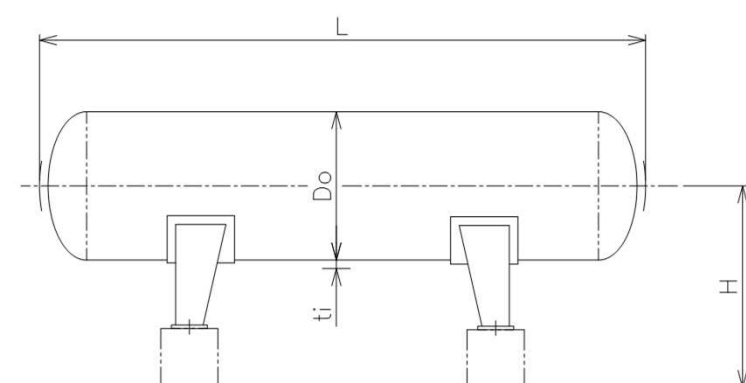
風に対する基本設計条件

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

風速 (V ₀) :	38	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 :	0.500	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	1.500	
	機器の長さ (鏡深さを含む)	L	mm	4324	
	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	8.427	
	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	1035	
	各セクション風荷重 (q・C _f ・A)	F _w	N	6106	
風荷重による転倒モーメント	M _w	N・m	6106		



(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

$$F_v = \frac{3 F_s H_v}{4 B} = \frac{3 \times 9296 \times 1000}{4 \times 1300} = \underline{\underline{5363}} \quad \text{N}$$

2.3.2 軸方向荷重

$$F_v = \frac{F_s H_v}{L_{s1}} = \frac{9296 \times 1000}{1840} = \underline{\underline{5052}} \quad \text{N}$$

2.3.3 等価垂直荷重

上記荷重のうち大きいほう $F = \underline{\underline{5363}} \quad \text{N}$

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	15493 N	- N
風荷重、地震荷重を考慮する場合	- N	20856 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

$$\sigma_p \text{ (最高)} = \frac{P D_m}{4 (t_s - C)} = \frac{0.20 \times 1512}{4 \times (12-0)} = \underline{\underline{6.3}} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_p \text{ (負圧)} = \frac{P D_m}{4 (t_s - C)} = \frac{0 \times 1512}{4 \times (12-0)} = \underline{\underline{0.0}} \quad \text{N/mm}^2$$

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

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

$$= [20856] \times 750 \times \left[1 - \frac{1 - \frac{750}{3500} + \frac{756^2 - 387^2}{2 \times 750 \times 3500}}{1 + \frac{4 \times 387}{3 \times 3500}} \right]$$

$$= [3835803] \text{ (短期)} \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$= 2849449 \text{ (長期)}$$

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

$$Z_s = G R^2 (t_s - C) = 0.3069 \times 756^2 \times (12-0) = 2104852 \text{ mm}^3$$

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

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

c) 曲げ応力

$$\sigma_{bs} = \pm \frac{M_{LS}}{Z_s} = \frac{[3835803] \cdot 2849449}{2104852} = \pm [1.9] \text{ (短期)} \text{ N/mm}^2$$

$$\pm 1.4 \text{ (長期)}$$

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

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

$$= \frac{[20856] \cdot 15493}{4} \times \frac{3500}{3500} \times \left[\frac{1 + 2 \left(\frac{756^2 - 387^2}{3500^2} \right)}{1 + \frac{4 \times 387}{3 \times 3500}} - \frac{4 \times 750}{3500} \right]$$

$$= [\begin{matrix} 1357424 \\ 1008370 \end{matrix}] \begin{matrix} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

b) 中央部の断面係数

$$Z_c = \pi R^2 (t_s - C) = \pi \times 756^2 \times (12-0) = 21546399 \text{ mm}^3$$

c) 曲げ応力

$$\sigma_{bc} = \pm \frac{M_{LC}}{Z_c} = \pm \frac{[\begin{matrix} 1357424 \\ 1008370 \end{matrix}]}{21546399} = \pm [0.1] \text{ (短期)} \text{ N/mm}^2$$

$$\pm 0.1 \text{ (長期)}$$

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

$$(\sigma 1) \text{引張} = (\sigma p) \text{最高} + (\sigma bs) \text{引張} = 6.3 + \begin{matrix} [1.9] \\ 1.4 \end{matrix} = \begin{matrix} [8.2] \\ 7.7 \end{matrix} \begin{matrix} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

b) 圧縮側

$$(\sigma 1) \text{圧縮} = (\sigma p) \text{負圧} + (\sigma bs) \text{圧縮} = 0.0 + \begin{matrix} [-1.9] \\ (-1.4) \end{matrix} = \begin{matrix} [-1.9] \\ -1.4 \end{matrix} \begin{matrix} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

c) 応力評価

長期：

$$(\sigma 1) \text{引張} \quad \underline{7.7} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L \times \eta = 125.5 \times 0.95 = \underline{119.2} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 1) \text{圧縮}| \quad \underline{1.4} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma L = \underline{125.5} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\leq \sigma EL = \underline{89.4} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

短期：

$$(\sigma 1) \text{引張} \quad \underline{8.2} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S \times \eta = 187.0 \times 0.95 = \underline{177.6} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$|(\sigma 1) \text{圧縮}| \quad \underline{1.9} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma S = \underline{187.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\leq \sigma ES = \underline{178.9} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

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

$$(\sigma_2 \text{ (長期)}) \text{引張} = (\sigma_P) \text{最高} + (\sigma_{bc} \text{ (長期)}) \text{引張} = 6.3 + 0.1 = \underline{6.4} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma_2 \text{ (短期)}) \text{引張} = (\sigma_P) \text{最高} + (\sigma_{bc} \text{ (短期)}) \text{引張} = 6.3 + 0.1 = \underline{6.4} \text{ N/mm}^2$$

b) 圧縮側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma_2 \text{ (長期)}) \text{圧縮} = (\sigma_P) \text{負圧} + (\sigma_{bc} \text{ (長期)}) \text{圧縮} = 0.0 - 0.1 = \underline{-0.1} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma_2 \text{ (短期)}) \text{圧縮} = (\sigma_P) \text{負圧} + (\sigma_{bc} \text{ (短期)}) \text{圧縮} = 0.0 - 0.1 = \underline{-0.1} \text{ N/mm}^2$$

c) 応力評価

長期：

$$(\sigma_2) \text{引張} \underline{6.4} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_L \times \eta = 125.5 \times 0.95 = \underline{119.2} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma_2) \text{圧縮}| \underline{0.1} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_L = \underline{125.5} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$\leq \sigma_{EL} = \underline{89.4} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

短期：

$$(\sigma_2) \text{引張} \underline{6.4} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_S \times \eta = 187.0 \times 0.95 = \underline{177.6} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma_2) \text{圧縮}| \underline{0.1} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_S = \underline{187.0} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$\leq \sigma_{ES} = \underline{178.9} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

3.4 サドル部における接線せん断応力の計算

図3 K₁、K₂ の値

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)

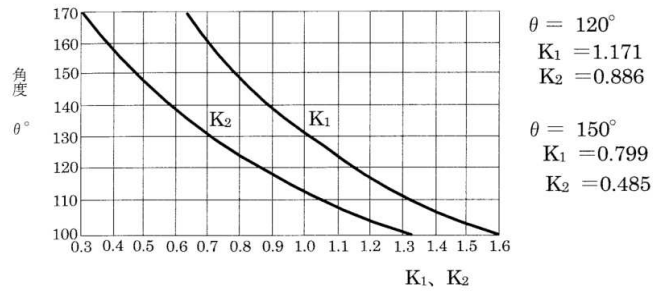
i) せん断応力

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

$$= \frac{1.272 \times 15493}{756 \times (12-0)} \times \left[\frac{3500 - 2 \times 750}{3500 + \frac{4}{3} \times 387} \right]$$

[20856]

$$= \frac{1.5}{1.1} \text{ (短期)} \text{ (長期)} \text{ N/mm}^2$$



ii) 応力評価

長期 : $\tau_1 = 1.1 \text{ N/mm}^2 \leq 0.8 \sigma_L = 0.8 \times 125.5 = 100.4 \text{ N/mm}^2$ **OK!**
 短期 : $\tau_1 = 1.5 \text{ N/mm}^2 \leq 0.6 \sigma_S = 0.6 \times 187.0 = 112.2 \text{ N/mm}^2$ **OK!**

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

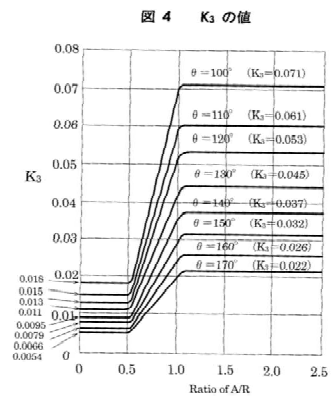
1) サドルホーン部における胴板の応力

i) サドル反力による応力

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

[20856]

$$= - \frac{15493}{4 \times (12 - 0) \times \{340 + 1.56 \times \sqrt{[756 \times (12 - 0)]}\}} = \begin{matrix} [-0.8] & \text{(短期)} \\ -0.6 & \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$



ii) 最大円周曲げモーメントによる応力

$$Mc = K3 Q R = 0.0572 \times \begin{matrix} [20856] \\ 15493 \end{matrix} \times 756 = \begin{matrix} [901880] & \text{(短期)} \text{ N} \cdot \text{mm} \\ 669967 & \text{(長期)} \text{ N} \cdot \text{mm} \end{matrix}$$

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

[901880]

$$= \pm \frac{6 \times 669967}{1750 \times (12 - 0)^2} = \begin{matrix} \pm [21.5] & \text{(短期)} \\ \pm 16.0 & \text{(長期)} \end{matrix} \text{ N/mm}^2$$

iii) 圧力により胴板に生じる円周方向応力

$$\sigma C1 \text{ (設計)} = \frac{P Dm}{2 (ts - C)} = \frac{0.20 \times 1512}{2 \times (12 - 0)} = 12.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma C1 \text{ (負圧)} = \frac{P Dm}{2 (ts - C)} = \frac{\quad \times 1512}{2 \times (12 - 0)} = 0.0 \text{ N/mm}^2$$

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

$$(\sigma 3 \text{ (長期)}) \text{引張} = \sigma Q + \sigma M + \sigma C1 \text{ (設計)} = -0.6 + 16.0 + 12.6 = 28.0 \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma 3 \text{ (短期)}) \text{引張} = \sigma Q + \sigma M + \sigma C1 \text{ (設計)} = -0.8 + 21.5 + 12.6 = 33.3 \text{ N/mm}^2$$

c) 圧縮側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma 3 \text{ (長期)}) \text{圧縮} = \sigma Q - \sigma M + \sigma C1(\text{負圧}) = -0.6 - 16.0 + 0.0 = \underline{-16.6} \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

$$(\sigma 3 \text{ (短期)}) \text{圧縮} = \sigma Q - \sigma M + \sigma C1(\text{負圧}) = -0.8 - 21.5 + 0.0 = \underline{-22.3} \text{ N/mm}^2$$

d) 応力評価

長期：

$$(\sigma 3) \text{引張} \underline{28.0} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma L = 1.5 \times 125.5 = \underline{188.2} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma 3) \text{圧縮}| \underline{16.6} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma L = 1.5 \times 125.5 = \underline{188.2} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

短期：

$$(\sigma 3) \text{引張} \underline{33.3} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma S = 1.5 \times 168.3 = \underline{252.4} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

$$|(\sigma 3) \text{圧縮}| \underline{22.3} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma S = 1.5 \times 168.3 = \underline{252.4} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

ここで、

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

$$0.5 < \frac{A}{R} \leq 1 \text{ のとき} \quad K3 = \frac{1.5 K3' A}{R} - \frac{K3'}{2} = \underline{0.0572}$$

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

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

$$= \underline{0.0579}$$

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

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)

$$\begin{aligned} \sigma_5 &= - \frac{K_7 Q}{(ts - C) \{b + 1.56\sqrt{R(ts - C)}\}} + \frac{P D_m}{2(ts - C)} \\ &= - \frac{[20856]}{0.783 \times 15493} \\ &\quad + \frac{0 \times 1512}{2 \times (12 - 0)} \\ &= \begin{matrix} [-2.8] & \text{(短期) } N/mm^2 \\ -2.1 & \text{(長期) } N/mm^2 \end{matrix} \end{aligned}$$

$$|\sigma_5| = \begin{matrix} [2.8] & \text{(短期) } N/mm^2 & \leq \text{Min. } (\sigma_s \text{ or } \sigma_{ES}) & = & [178.9] & N/mm^2 & \text{OK!} \\ 2.1 & \text{(長期) } N/mm^2 & \leq \text{Min. } (\sigma_L \text{ or } \sigma_{EL}) & = & 89.4 & N/mm^2 & \text{OK!} \end{matrix}$$

ここで、

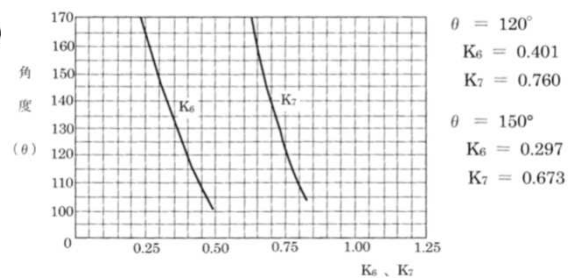
σ_5 : サドルに接する胴板のリング圧縮応力 (N/mm^2)

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

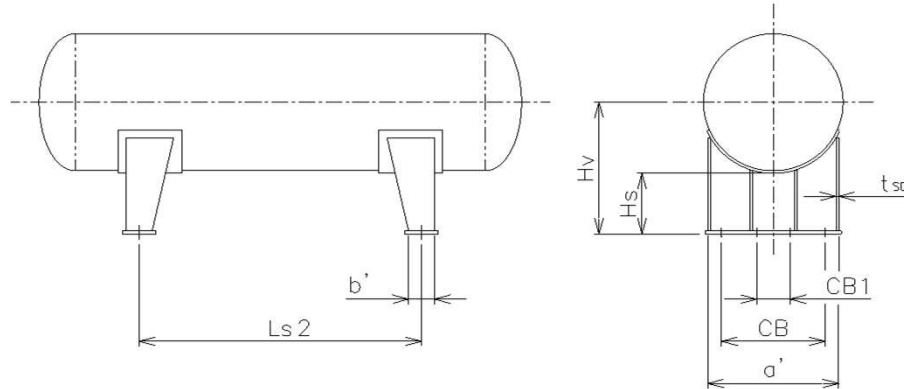
図 6 K_6, K_7 の値



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		70	°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	$W_o =$	30986	N (注1.)
シャットダウン重量	$W_s =$	30748	N (注1.)
水圧試験重量	$W_w =$	103770	N (注1.)
容器中心高さ	$H_v =$	1000	mm
サドル間隔	$L_{s2} =$	2000	mm
サドル高さ	$H_s =$	238	mm
サドル長さ	$a' =$	1324	mm
サドル幅	$b' =$	180	mm
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	
サドルの有効断面積	$AsD =$	20880	mm ² (8頁参照)
サドルの有効断面係数	$ZsD =$	332669	mm ³ (8頁参照)

注1. サドルは機器重心に対して偏心してついているため、サドルの強度計算に用いる荷重条件は、2~4頁のようにする。

4-1). サドルに生じる応力

a) 正常運転状態

風荷重 ($F_w = 6106 \text{ N}$, $\mu_{os} \cdot W_o = 6197 \text{ N}$)

$F_w \leq \mu_{os} W_o$ の場合

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{F_w H_s}{2ZsD} + \frac{F_w H_v}{AsD Ls2} \\ &= \frac{30986}{2 \times 20880} + \frac{6106 \times 238}{2 \times 332669} + \frac{6106 \times 1000}{20880 \times 2000} \\ &= \underline{3.1} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDac} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

$F_w > \mu_{os} W_o$ の場合

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{(2F_w - \mu_s W_o) H_s}{2ZsD} + \frac{F_w H_v}{AsD Ls2} \\ &= \frac{\text{---}}{\text{---}} + \frac{\text{---}}{\text{---}} + \frac{\text{---}}{\text{---}} \\ &= \underline{\text{---}} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{SDac} = \underline{\text{---}} \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

b) 水圧試験状態

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_w}{2AsD} \\ &= \frac{103770}{2 \times 20880} \\ &= \underline{2.5} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDac} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

c) 熱膨張状態

$$\begin{aligned}\sigma_{SD} &= \frac{W_o}{2AsD} + \frac{\mu_{os} W_o H_s}{2ZsD} \\ &= \frac{30986}{2 \times 20880} + \frac{0.2 \times 30986 \times 238}{2 \times 332669} \\ &= \underline{3.0} \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{SDac} = \underline{174.0} \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

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)

$$\sigma_B = \frac{F_w H_v}{2CB AB} - \frac{W_s}{4AB}$$

$$= \frac{6106 \times 1000}{2 \times 1080 \times 539.5} - \frac{30748}{4 \times 539.5}$$

$$= \underline{-9.1} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Ba} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2 \quad \text{ボルトに引張応力は生じない}$$

(ボルト本数 $n=4$ の場合)

$$\sigma_B = \frac{F_w H_v}{2(CB+CB1) AB} - \frac{W_s}{8AB}$$

$$= \frac{\quad\quad\quad}{\quad\quad\quad} - \frac{\quad\quad\quad}{\quad\quad\quad}$$

$$= \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Ba} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ N/mm}^2$$

※ 風荷重 $F_w = 6106 \text{ N}$ より、摩擦抵抗 $\mu_{os} \cdot W_s = 6197 \text{ N}$ のほうが大きいため、風荷重により基礎ボルトに生じるせん断応力の計算は行わない。