

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

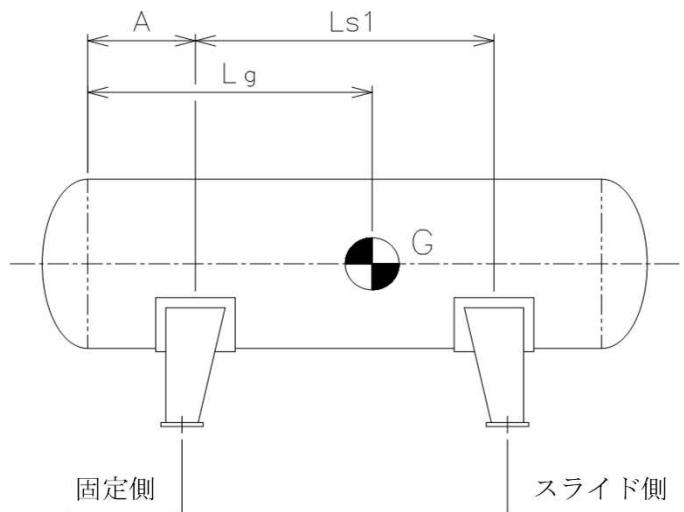
横置円筒形貯槽
〔重要度がⅡ又はⅢであって、
貯蔵能力が100t 未満のもの〕

1. 応答解析等

設 計 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 壓 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
応 答 解 析 等	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
第一設計 地 震 動 水 平 方 向 応 答 倍 率	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)
	水平震度 $0.150 \mu_k \beta_x \beta_3$	K_H		0.150
	$H_G \leq 16$ の場合 $\beta_4 = 2.0$			2.0
	$16 < H_G \leq 35$ の場合 $\beta_4 = 1.04 + 0.06 H_G$	β_4		-
	$35 < H_G$ の場合 $\beta_4 = 3.14$			-
設 計 静 的 水 平 地 震 力	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
	$K_{SH} \cdot W_{H1}$	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頁のようとする。

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

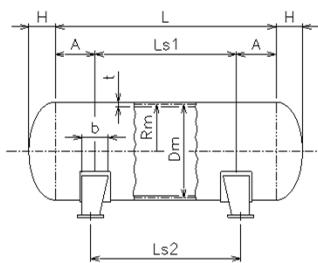
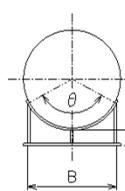
横置円筒形貯槽 [貯蔵能力が100t 未満のもの]

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 度 	設計温度	°C	70	許 容 応 力 等	胴の平均直径 D_i+t	Dm	mm	1512.0	
	常用の圧力	Pa	0.200		胴の平均直径の1/2の値	Rm	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_η	ft	N/mm ²	175.2	
	設計 温 度 	材料の引張強さ	Su	N/mm ²	Sy又はSyoの小なる値	Sy'	N/mm ²	187.0	
	設計 温 度 	材料の最小降伏点 又は0.2%耐力	Sy	N/mm ²	$0.6E_t / ((1+0.004E/Sy')Dm)$	S'	N/mm ²	178.9	
	設計 温 度 	材料の縦弾性係数	E	N/mm ²	許容圧縮応力 S又はS'の小なる値	fc	N/mm ²	178.9	
	常 温 	材料の最小引張強さ	Suo	N/mm ²	等 価 鉛 直 荷 重	軸方向 $F_{H1} \cdot H_v / Ls1$	Fvx	N	4763
	常 温 	材料の最小降伏点 又は0.2%耐力	Syo	N/mm ²	軸直角方向 $3F_{H1} \cdot H_v / 4B$	Fvy	N	4964	
	常 温 	板厚(腐れしろを除く)	t	mm	Fvx又はFvyの大なる値	Fev	N	4964	
条 件 サ ド ル ル	内径(腐れしろを除く)	Di	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+Fev	Q	N	19569
	図(a)に示す正接線間距離	L	mm	3500	① $6A(L-A)+3(Rm^2-H^2)$			13640301	
	胴が鏡により補強される ($A/Rm \leq 0.5$ に限る)				曲げモーメント $Q(A-①)/(2(3L+4H))$	M _{LS1}	N·mm	3599101	
	胴が強め輪により補強 されることの有無				図(b)により得られる値	G		0.308	
	溶接効率	η			胴が鏡により補強される ($A/Rm \leq 0.5$ に限る) $\pi Rm^2 t$	Zs	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 $\pi Rm^2 t$			-	
	図(a)に示す距離	Hv	mm	1000	上記以外 $GRm^2 t$			2112397.1	
	図(a)に示す中心間距離	Ls1	mm	1840	算定引張応力 $PoDm/4t+MLS1/Zs$	σt_1	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 $\sigma t_1 \leq ft$		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	
サ ド ル ル	図(a)に示すサドルの幅	b	mm	340	有当 のて 合板	b+1.56 $\sqrt{Rmt} < C$ の検討 の て 適の場 合		否	
	図(a)に示す支持角	θ	°	114.2	當 合 板	t+ts	mm	-	
	當て板の有無				否の場合 t		mm	12	
	當て板の板厚	ts	mm	12	算定圧縮応力 $K1Q / ((b+1.56\sqrt{Rmt})t)$	σc_1	N/mm ²	2.7	
	當て板の幅	C	mm	420	判定 $\sigma c_1 \leq fc$		N/mm ²	2.7 \leq 178.9	
	図(a)に示すボルト穴 中心間距離	Ls2	mm	2000	② $3L^2+6(Rm^2-H^2)$			39280602	
					曲げモーメント $Q(②)/(4(3L+4H)-A)$	M _{LC2}	N·mm	1273659	
					$\pi Rm^2 t$	Zc	mm ³	21546399.6	
					算定引張応力 $PoDm/4t+MLC2/Zc$	σt_2	N/mm ²	6.4	
					判定 $\sigma t_2 \leq ft$		N/mm ²	6.4 \leq 175.2	
胴 の 中 央 部 の 算 定 応 力 及 び 判 定					算定圧縮応力 $MLC2/Zc$	σc_2	N/mm ²	0.1	
					判定 $\sigma c_2 \leq fc$		N/mm ²	0.1 \leq 178.9	

注 : F_{H1} 及び F_{V1} 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。

図(a)



図(c)

図(b)

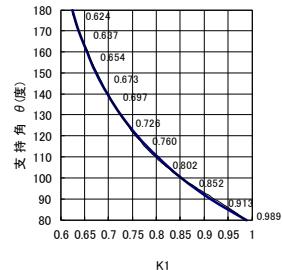
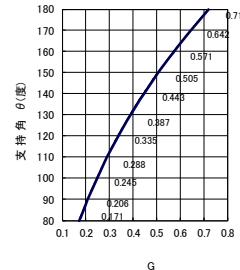


表 (a)

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 0.9Syo, 1.0Sy
3	上 記 以 外	0.6Suo, 0.6Su 0.9Syo, 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

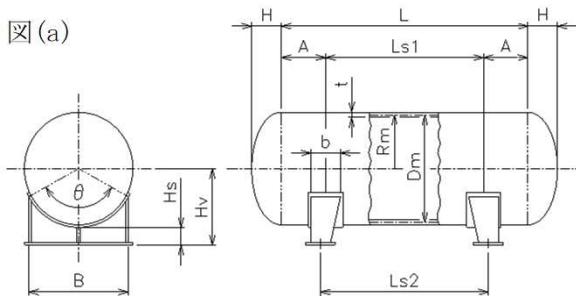
横置円筒形貯槽〔貯蔵能力が100t 未満のもの〕

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

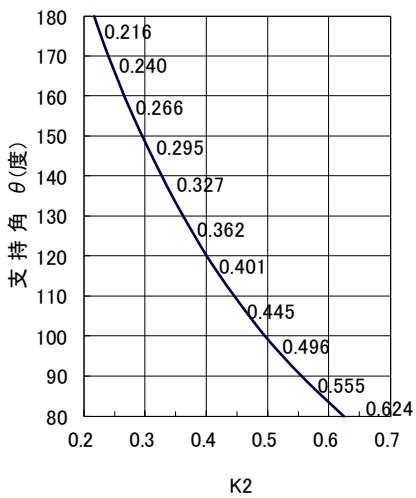
鏡 一 胴 が 鏡 に よ り 補 強 さ れ る 場 合 に 限 る	使用材料名			-		鏡板の算定応力・許容応力及び判定	表(a)により得られる値	S_3	N/mm^2	-					
	材料の区分(表(a)による)			-			許容引張応力 $S_3 \cdot \eta$	f_{t3}	N/mm^2	-					
	鏡 設 計 温 度	材料の引張強さ	S_{u3}	N/mm^2	-		図(b)により得られる値	K_2		-					
		材料の降伏点又は0.2%耐力	S_{y3}	N/mm^2	-		① $PoD_h/4t_h$			-					
	常温	材料の最小引張強さ	S_{uo3}	N/mm^2	-		半だ円体 ① $\times (2 + (D_h/2h)^2)/3$			-					
		材料の最小降伏点又は0.2%耐力	S_{yo3}	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 $\times (3 + \sqrt{(R_h/r)})/4$			-					
		鏡板の種類			-		算定引張応力 $K2Q/Rmt_h + \sigma'$	σ_{t3}	N/mm^2	-					
	半 だ 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	-	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	208.8					
		全半球	鏡板の内径	D_h	mm		Sy_4 又は Syo_4 の小なる	Sy_4'	N/mm^2	232.1					
	さ ら 形	中央部の内径	D_h	mm	-		座屈許容応力	S_4'	N/mm^2	-					
		鏡の中央部の内径の1/2	R_h	mm	-		Syo_4 又は $0.7Suo_4$ の小なる値	F_4	N/mm^2	245.0					
		ナックル部の内半径	r	mm	-		許容圧縮応力	f_{c4}	N/mm^2	245.0					
	固定の方式				片固定		当て板のある場合 F_4			-					
	使用材料名				SS400		当て板のない場合 S_4, S_4', F_4 の小なる値			-					
	材料の区分(表(a)による)				(3)		② $(W_{v2} + F_{v2})/2A_{SD}$			0.8					
	設 計 温 度	材料の引張強さ	S_{u4}	N/mm^2	400.0		③ $H_s/2Z_{SD}$			0.00036					
		材料の降伏点又は0.2%耐力	S_{y4}	N/mm^2	232.1		④ $2F_{H2} - 0.1(W_{v2} + F_{v2})$			15494					
	サ ド ル	材料の縦弾性係数					⑤ $F_{H2} \cdot H_v/A_{SD} \cdot Ls2$			0.23					
		材料の最小引張強さ	S_{uo4}	N/mm^2	400.0		算定圧縮応力	σ_{c4}	N/mm^2	6.7					
		材料の最小降伏点又は0.2%耐力	Syo_4	N/mm^2	245.0		片固定 ② + ③ \times ④ + ⑤			-					
	板厚				t_4		両固定 ② + ③ $\times F_{H2} + ⑤$			-					
	図(a)に示す値				H_s		判定 $\sigma_{c4} \leq f_{c4}$		N/mm^2	6.7 \leq 245.0					
	有効断面積(注1)				A_{SD}					注3 - 頁による					
	有効断面係数(注2)				Z_{SD}					注2は 8 頁による					
注1は 8 頁による															
注2は 8 頁による															
注3 - 頁による															

表 (a)	備考: Sの欄は、鏡にあっては S_{u3}, S_{y3} …サドルにあっては S_{u4}, S_{y4} …と読み替えること。
区分	材料の種類
1	S_{u4} (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
2	0.6 S_{u4} , 0.9 S_{y4}
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
3	0.6 S_{u4} , 0.6 S_{y4}
3	0.9 S_{y4} , 1.0 S_{y4}
3	上記以外
3	0.6 S_{u4} , 0.9 S_{y4}
3	0.9 S_{y4} , 0.9 S_{y4}

図(a)



図(b)



注: F_H 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。

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

シ ア ー プ レ ー ト 計 設	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 シ ア ー 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	—
	常温 シ ア ー 常 温	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	hsp	mm	—		算定せん断応力 (F _{SH2} +F _{SH3})/by·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	—		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 シ ア ー 常 温	材料の最小引張強さ	Suo6	N/mm ²		算定せん断応力 (F _{SH2} +F _{SH3})/bx·tsp	τ sx	N/mm ²	—
基 礎 ボ ル ト 件	常温 シ ア ー 常 温	材料の最小降伏点又は 0.2%耐力	Syo6	N/mm ²		判定 τ sx ≤ fs5		N/mm ²	—
	ボルトの谷径	d1	mm	26.211	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
	ボルトの軸径	d2	mm	30		許容引張応力 F6	ft6	N/mm ²	235.0
	サドル一個当た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		断面積 軸径 π d2 ² /4	Ab2	mm ²	706.8
						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			2.2
						算定せん断応力 両固定 ※5	τ 6	N/mm ²	-
						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、静的震度法にあってはF_{SH}及び0に、修正震度法にあってはF_{MH}及びF_{MV}に読み替えること。

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

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

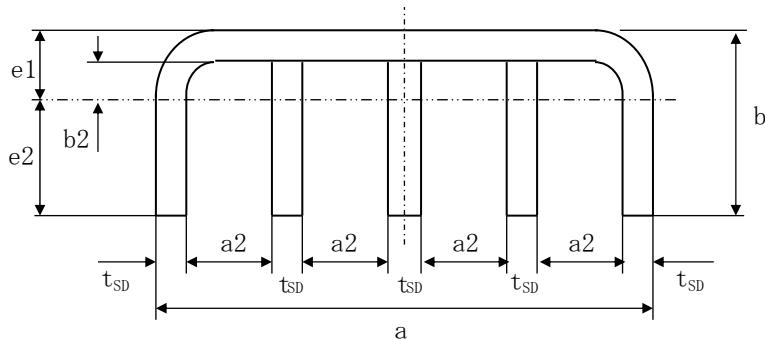
$$※ 3 \frac{F_{H2} \cdot H_V}{N \cdot A_{b1} \cdot C_b} - \frac{W_{V2} - F_{V2}}{2N \cdot A_{b1}}$$

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

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

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
支え板の実際長さ
支え板及びリブの板厚
リブの数

a' = 1324 mm
 b' = 180 mm
 t_{SD} = 12 mm
 m = 1 本

有効幅 $b = 180$ mm b' と $15t_{SD}$ の内小さいほうの値
a2 = 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 $(m + 2) \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a2$

断面積

$$A_{SD} = (m + 2) \cdot b \cdot t_{SD} + (m + 1) \cdot a2 \cdot t_{SD} = (1 + 2) \times 180 \times 12 + (1 + 1) \times 600 \times 12 \\ = \underline{20880} \text{ mm}^2$$

断面係数

$$Z_{SD} = \frac{1}{3} \times \frac{a \cdot e1^3 - (m + 1) \cdot a2 \cdot b_2^3 + (m + 2) \cdot t_{SD} \cdot e_2^3}{e2} \\ = \frac{1}{3} \times \frac{1236 \times 32.1^3 - (1 + 1) \times 600 \times 20.1^3 + (1 + 2) \times 12 \times 147.9^3}{147.9} \\ = \underline{332669} \text{ mm}^3$$

$$e2 = \frac{t_{SD}}{A_{SD}} \left[(m + 2) \frac{b^2}{2} + (m + 1) \left(b - \frac{t_{SD}}{2} \right) a2 \right] \\ = \frac{12}{20880} \left[(1 + 2) \frac{180^2}{2} + (1 + 1) \left(180 - \frac{12}{2} \right) \times 600 \right] \\ = \underline{147.9} \text{ mm}$$

$$e1 = b - e2 = 180 - 147.9$$

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

$$b2 = e1 - t_{SD} = 32.1 - 12$$

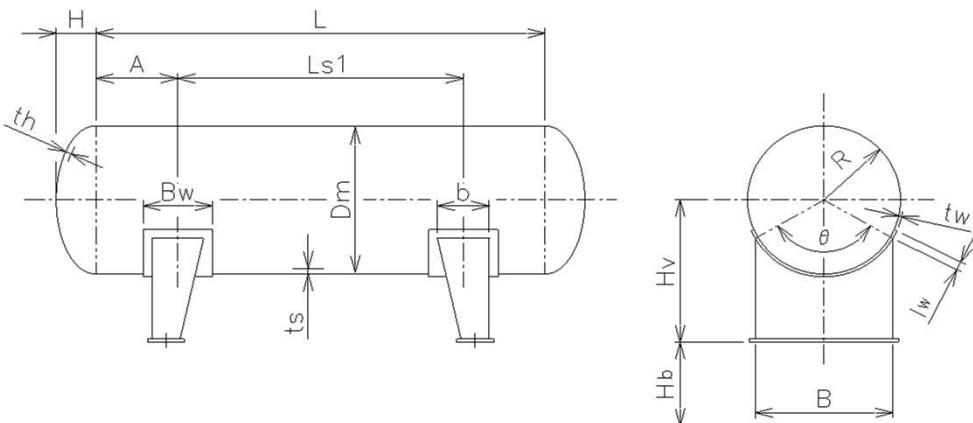
$$= \underline{20.1} \text{ mm}$$

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	$D_m = 1512$ 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	$t_s = 12$ mm	当て板幅	$B_w = 420$ mm
腐れ代	$C = 0.0$ mm	当て板厚さ	$t_w = 12$ 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	$L_{s1} = 1840$ mm
鏡板深さ	$H = 387$ mm	当て板延長長さ	$l_w = 50$ 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	$H_v = 1000$ mm
地表面からサドル下面までの高さ			$H_b = 500$ 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	$S_{ca} = 129.0$ N/mm ²	許容引張応力	$Sc = 125.5$ N/mm ²
引張強さ	$S_{ua} = 520.0$ N/mm ²	引張強さ	$S_u = 502.0$ N/mm ²
降伏点又は0.2%耐力	$S_{ya} = 205.0$ N/mm ²	降伏点又は0.2%耐力	$S_y = 187.0$ N/mm ²
縦弾性係数	$E_a = 195000$ 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)

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

1.2.2 長期の許容座屈応力 (σ_{EL})

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

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 (σ_S)

$$0.6 \text{ Sua} = 0.6 \times 520.0 = \underline{312.0} \text{ N/mm}^2 \quad 0.6 \text{ Su} = 0.6 \times 502.0 = \underline{301.2} \text{ N/mm}^2$$

$$1.0 \text{ Sya} = 1.0 \times 205.0 = \underline{205.0} \text{ N/mm}^2 \quad 1.0 \text{ Sy} = 1.0 \times 187.0 = \underline{187.0} \text{ N/mm}^2$$

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

1.2.4 短期の許容座屈応力 (σ_{ES})

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

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
プラットホーム	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頁のようとする。

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

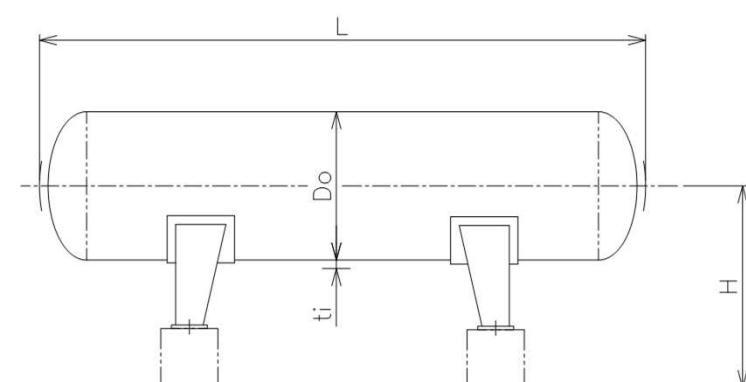
風速 (V_o) :	38 m/sec
サドル下面から容器中心までの高さ :	1.000 m
地表面からサドル下面までの高さ :	0.500 m

風荷重の算出

設 計 條 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	Di	mm	1500
	板厚	t	mm	12
	本体外径	Do	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
	$k_z = 1.0$	k_z	—	1.0
計 算	風力係数 (0.7・ k_z)	C_f	—	0.7
	有効面積 ($D \cdot L$)	A	m^2	8.427
	平均風速の高さ方向の分布を表す係数	E_r	—	0.6912
	$H \leq Z_b$ の場合 = $1.7 (Z_b/Z_G)^\alpha$			—
	$Z_b < H$ の場合 = $1.7 (H/Z_G)^\alpha$			
	ガスト影響係数	G_f	—	2.5
	風速の鉛直分布係数 ($E_r^2 \cdot G_f$)	E	—	1.194
	速度圧 ($0.6E \cdot V_o^2$)	q	N/m^2	1035
	各セクション風荷重 ($q \cdot C_f \cdot A$)	Fw	N	6106
	風荷重による転倒モーメント	Mw	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	$H \leq 10m$	$10m < H < 40m$	$40m \leq H$
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

$$F_V = \frac{3 \cdot F_s \cdot H_V}{4 \cdot B} = \frac{3 \times 9296 \times 1000}{4 \times 1300} = \underline{\quad 5363 \quad} \text{ N}$$

2.3.2 軸方向荷重

$$F_V = \frac{F_s \cdot H_V}{L_s 1} = \frac{9296 \times 1000}{1840} = \underline{\quad 5052 \quad} \text{ N}$$

2.3.3 等価垂直荷重

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

2.4 サドル反力の計算

$$\text{風荷重、地震荷重を考慮しない場合} \quad Q = \frac{W}{2}$$

$$\text{風荷重、地震荷重を考慮する場合} \quad Q = \frac{W}{2} + F$$

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. 脈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

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

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

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

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

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

$$= [3835803] \text{ (短期)} \quad 2849449 \text{ (長期)} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

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 ≤ 0.5)

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

2) サドル上の胴が補強されない場合

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

$$G = \frac{\Delta + \sin \Delta \cos \Delta - 2 \frac{\sin^2 \Delta}{\Delta}}{\frac{\sin \Delta}{\Delta} - \cos \Delta}, \quad \Delta = \frac{\pi}{180} \left(\frac{5\theta}{12} + 30 \right) = 1.3541 \text{ (rad)}$$

$$= 0.3069$$

c) 曲げ応力

$$\sigma_{bs} = \pm \frac{M_{ls}}{Z_s} = \frac{2849449}{2104852} = \pm [1.9] \text{ (短期)} \quad \pm 1.4 \text{ (長期)} \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

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

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

$$\sigma_{bc} = \pm \frac{M_{lc}}{Z_c} = \pm \frac{1357424}{21546399} = \pm [0.1] \text{ (短期)} \quad \pm 0.1 \text{ (長期)} \text{ N/mm}^2$$

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

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

b) 圧縮側

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

c) 応力評価

長期 :

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

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

短期 :

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

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

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

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 K_1 、 K_2 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

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

$$\begin{aligned} & [20856] \\ & = \frac{1.272 \times 15493}{756 \times (12-0)} \times \left[\frac{3500 - 2 \times 750}{3500 + \frac{4}{3} \times 387} \right] \\ & = \frac{[1.5]}{1.1} \quad \begin{array}{l} \text{(短期)} \\ \text{(長期)} \end{array} \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

ii) 応力評価

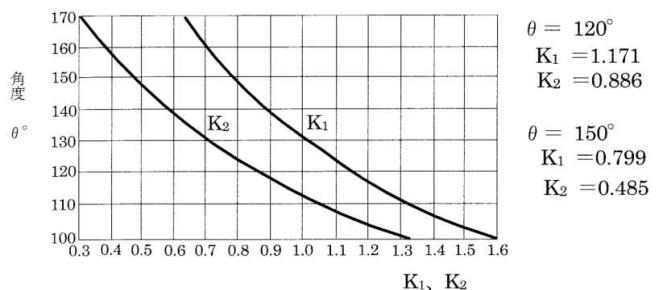
$$\begin{array}{llllll} \text{長 期: } \tau_1 = & 1.1 & \text{N/mm}^2 & \leq 0.8 \sigma_L = 0.8 \times 125.5 & = & 100.4 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!} \\ \text{短 期: } \tau_1 = & 1.5 & \text{N/mm}^2 & \leq 0.6 \sigma_S = 0.6 \times 187.0 & = & 112.2 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!} \end{array}$$

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

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

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

ii) 最大円周曲げモーメントによる応力

$$Mc = K_3 Q R = 0.0572 \times 15493 \times 756 = \frac{[901880]}{669967} \text{ (短期) } N \cdot mm \text{ (長期) } N \cdot mm$$

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

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

iii) 圧力により胴板に生じる円周方向応力

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

$$\sigma C1 \text{ (負圧)} = \frac{P Dm}{2 (ts - C)} = \frac{0.20 \times 1512}{2 \times (12 - 0)} = \frac{0.0}{0.0} N/mm^2$$

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

b) 引張側

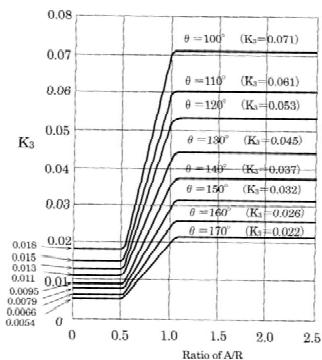
風荷重、地震荷重を考慮しない場合

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

風荷重、地震荷重を考慮する場合

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

図 4 K_3 の値



c) 圧縮側

風荷重、地震荷重を考慮しない場合

$$(\sigma_3 \text{ (長期)}) \text{圧縮} = \sigma_Q - \sigma_M + \sigma_{C1}(\text{負圧}) = -0.6 - 16.0 + 0.0 = -16.6 \text{ N/mm}^2$$

風荷重、地震荷重を考慮する場合

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

d) 応力評価

長期：

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

$$|\text{ (σ3) 壓縮} | \underline{16.6} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \times \sigma_L = 1.5 \times 125.5 = \underline{188.2} \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

短期：

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

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

ここで、

$$\frac{A}{R} \leq 0.5 \text{ のとき} \quad K_3 = \frac{1}{4} K_3' \quad = \quad ---$$

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

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

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

$$= 0.0579$$

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

3.7 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)

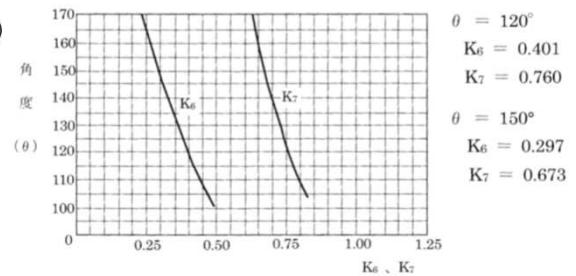
$$\sigma_5 = - \frac{K_7 Q}{(ts - C) \{b + 1.56\sqrt{R(ts - C)}\}} + \frac{P D_m}{2(ts - C)}$$

$$\begin{aligned}
 &= - \frac{0.783 \times 15493}{(12 - 0) \{340 + 1.56\sqrt{756 \times (12 - 0)}\}} \\
 &+ \frac{0 \times 1512}{2 \times (12 - 0)} \\
 &= -2.1 \quad \text{[2.8] (短期) N/mm}^2 \quad \text{[178.9] N/mm}^2 \quad \text{OK!} \\
 &= -2.1 \quad \text{(長期) N/mm}^2 \\
 |\sigma_5| &= \frac{[2.8] \quad \text{(短期) N/mm}^2}{2.1 \quad \text{(長期) N/mm}^2} \leq \text{Min. } (\sigma_s \text{ or } \sigma_{ES}) = 89.4 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{OK!}
 \end{aligned}$$

ここで、

図 6 K_6, K_7 の値 σ_5 : サドルに接する胴板のリング圧縮応力 (N/mm²) K_7 : サドルの支持角度より求まる係数

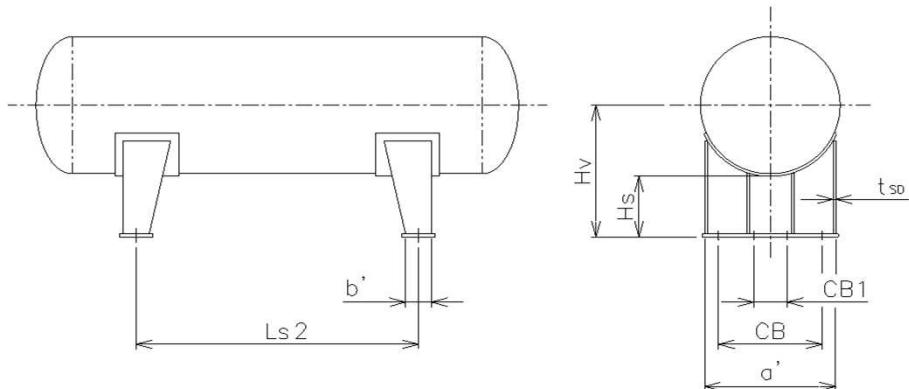
$$\begin{aligned}
 K_7 &= \frac{1 + \cos \alpha}{\pi - \alpha + \sin \alpha \cos \alpha} \\
 &= \frac{1 + \cos 2.038}{\pi - 2.038 + \sin 2.038 \times \cos 2.038} \\
 &= \underline{0.783}
 \end{aligned}$$

 b : サドルの幅 = 340 mm

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	$\sigma_{SDac} = 174.0 \text{ N/mm}^2$ (JPI-7R-53 解説 (III) 5.4 i)による)
サドルの許容座屈応力	$\sigma_{SDab} = 174.0 \text{ N/mm}^2$ (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	$\sigma_{Ba} = 235.0 \text{ N/mm}^2$ (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	$\tau_{Ba} = 135.0 \text{ N/mm}^2$ (JPI-7R-53 解説 (III) 5.4 l)による)
運転重量	$W_o = 30986 \text{ N}$ (注1.)
シャットダウン重量	$W_s = 30748 \text{ N}$ (注1.)
水圧試験重量	$W_w = 103770 \text{ N}$ (注1.)
容器中心高さ	$H_v = 1000 \text{ mm}$
サドル間隔	$L_{s2} = 2000 \text{ mm}$
サドル高さ	$H_s = 238 \text{ mm}$
サドル長さ	$a' = 1324 \text{ mm}$
サドル幅	$b' = 180 \text{ mm}$
外側ボルト間隔	$CB = 1080 \text{ mm}$
内側ボルト間隔	$CB1 = - \text{ mm}$
サドル一個当たりのボルト本数	$n = 2 \text{ 本}$
ボルト一本の断面積	$AB = 539.5 \text{ mm}^2 \text{ M30 谷径 } 26.211\text{mm}$
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	$AsD = 20880 \text{ mm}^2$ (8頁参照)
サドルの有効断面係数	$ZsD = 332669 \text{ mm}^3$ (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頁のようとする。

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

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

b) 水圧試験状態

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

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)

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

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

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

(ボルト本数 n=4 の場合)

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

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

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

※ 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。