

魚腹式鋼製起伏ゲート

設計計算例

(扉高 3.0m, 純径間 30.0m)

1. 設計条件

- | | |
|------------------|--|
| (1) 形 式 | 魚腹式鋼製起伏ゲート |
| (2) 純 径 間 | 30.000 m |
| (3) 扉 高 | 3.000 m |
| (4) 数 量 | 2 門 |
| (5) 設 計 水 深 | 上流側 3.500 m (EL. 23.500)
下流側 0.000 m (EL. 20.000) |
| (6) 操 作 水 深 | 上流側 3.500 m (EL. 23.500)
下流側 0.000 m (EL. 20.000) |
| (7) ゲ ー ト 敷 高 | EL. 20.000 |
| (8) 基 礎 地 盤 高 | ゲート敷高と同等 |
| (9) 水 密 方 式 | 前面3方ゴム水密 |
| (10) 開 閉 方 式 | 両端油圧シリンダ駆動式 |
| (11) 開 閉 時 間 | 20 min/1 門 鋼製起伏ゲート設計要領 (案), 2-3-2, P28参照 |
| (12) 操 作 方 式 | 機側操作 |
| (13) 起 立 角 度 | 75° |
| (14) 標 準 設 計 震 度 | K_0 0.2 |
| (15) 堆 泥 高 | 0.000 m |
| (16) 地 震 周 期 | 1.0 s |
| (17) 地 震 時 動 水 圧 | ウェスタガードの式による |
| (18) 余 裕 厚 | 腐食：接水面に対し 1 mm
扉体内面に対し 1 mm
摩耗：スキンプレート面 1 mm |
| (19) た わ み 度 | 支間の1/800以下 |
| (20) 水の単位体積重量 | 9.807 kN/m ³ |
| (21) 材料の許容応力度 | 鋼製起伏ゲート設計要領 (案) 第2章2-7による。 |

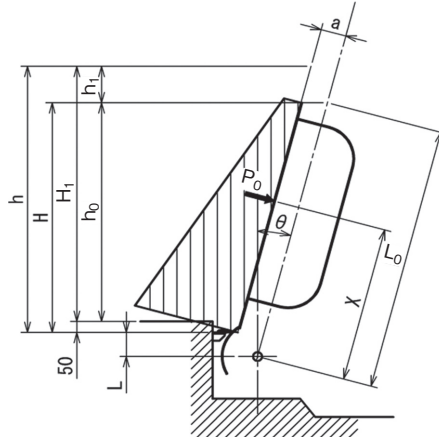
3. 設計荷重

扉体に作用する荷重計算は、起立時（起立角 $75^\circ =$ 倒伏角 15° ）及び水圧荷重が最大となる半開時（起立角 $30^\circ =$ 倒伏角 60° ）について計算する。

3.1 常時荷重

(1) 水圧荷重

1) 起立時



$$P_0 = \frac{1}{2 \cdot \cos \theta} \cdot W_0 \cdot (h^2 - h_1^2) \cdot B$$

ここに、	P_0 ：静水圧荷重	kN
	h_0 ：扉高	3.000 m
	H_1 ：設計水深	3.500 m
	H：受圧高	3.050 m
	h：上流側の設計水位から扉体下部水密線までの水深	3.550 m
	h_1 ：越流水深	0.500 m
	θ ：倒伏角	15°
	B：受圧幅	30.000 m
	W_0 ：水の単位体積重量	9.807 kN/m^3
	X：回転軸中心から全水圧の作用点までの距離	m
	L：扉体下部水密線から回転軸中心までの距離	0.430 m
	L_0 ：扉体長さ	$\frac{H + L}{\cos \theta} = \frac{3.050 + 0.430}{\cos 15^\circ} = 3.603 \text{ m}$
	a：スキンプレート面から軸中心までの距離	0.340 m

$$P_0 = \frac{1}{2 \times \cos 15^\circ} \times 9.807 \times (3.550^2 - 0.500^2) \times 30.000$$

$$= 1881.215 \text{ kN}$$

作用点距離

$$X = \frac{H}{3 \cdot \cos \theta} \cdot \frac{h + \frac{4}{3} \cdot h_1}{h + \frac{2}{3} \cdot h_1} + \left(\frac{L}{\cos \theta} - a \cdot \tan \theta \right)$$

$$= \frac{1.620}{3 \times \cos 60^\circ} \times \frac{3.550 + \frac{4}{3} \times 1.930}{3.550 + \frac{2}{3} \times 1.930} + \left(\frac{0.430}{\cos 60^\circ} - 0.340 \times \tan 60^\circ \right)$$

$$= 1.638 \text{ m}$$

(2) 扉体自重

1) 起立時

$$P_g = W_g \cdot \sin \theta$$

ここに、 P_g ：扉体自重による作用荷重 kN W_g ：扉体自重（駆動部除く） 500 kN θ ：倒伏角 15°

$$P_g = 500 \times \sin 15^\circ$$

$$= 129.410 \text{ kN}$$

作用点距離

$$X_g = 2.010 \text{ m}$$

2) 半開時

$$P_g = W_g \cdot \sin \theta$$

ここに、 P_g ：扉体自重による作用荷重 kN θ ：倒伏角 60°

$$P_g = 500 \times \sin 60^\circ$$

$$= 433.013 \text{ kN}$$

作用点距離

$$X_g = 2.010 \text{ m}$$

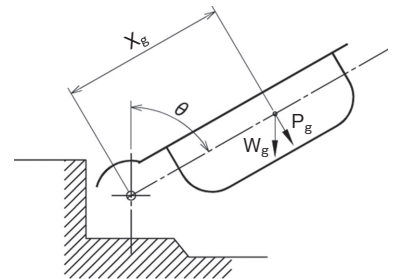
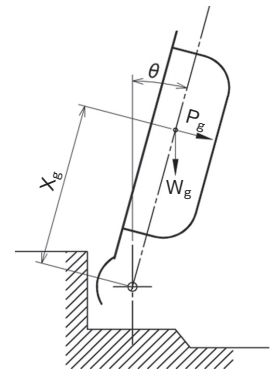
(3) 常時荷重集計

	起立時 (kN)	半開時 (kN)
水圧荷重	1881.215	2305.253
扉体自重	129.410	433.013
合計	2010.625	2738.266

3.2 地震時荷重

(1) 設計震度

$$K = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot K_0$$



ここに,	K : 設計震度	
	K_0 : 標準設計震度	0.2
	γ_1 : 地域別補正係数	1.0
	γ_2 : 地盤別補正係数	1.2
	γ_3 : 重要度別補正係数	1.0

$$K = 1.0 \times 1.2 \times 1.0 \times 0.2 \\ = 0.24$$

(2) 地震時波浪高

$$h_e = \frac{K \cdot \tau}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

ここに,	h_e : 半波高 (地震時波浪高)	m
	K : 設計震度	0.24
	τ : 地震周期	1.0s
	g : 重力加速度	9.807 m/s ²
	h : 設計水位から基礎地盤までの水深	3.550 m

$$h_e = \frac{0.24 \times 1.0}{2 \times \pi} \times \sqrt{9.807 \times 3.550} \\ = 0.225 \text{ m}$$

(3) 地震時静水深

$$H_e = h + h_e$$

ここに,	H_e : 地震時静水深	m
	h_e : 地震時波浪高	0.225 m

$$H_e = 3.550 + 0.225 \\ = 3.775 \text{ m}$$

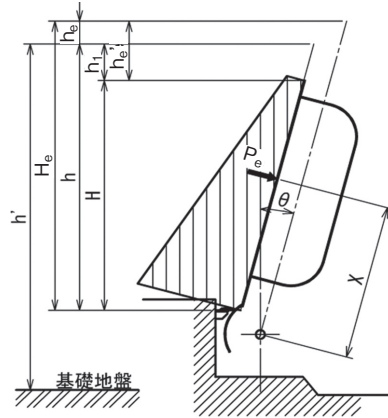
$$h_e' = h_1 + h_e$$

ここに,	h_e' : 地震時越流水深	m
------	------------------	---

$$h_e' = 0.500 + 0.225 \\ = 0.725 \text{ m}$$

(4) 水圧荷重

1) 起立時



地震時静水圧荷重

$$P_{es} = \frac{1}{2 \cdot \cos \theta} \cdot W_o \cdot (H_e^2 - h_e'^2) \cdot B$$

ここに、 P_{es} ：地震時静水圧荷重 kN

H_e ：地震時静水深 3.775 m

h_e' ：地震時越流水深 0.725 m

$$P_{es} = \frac{1}{2 \times \cos 15^\circ} \times 9.807 \times (3.775^2 - 0.725^2) \times 30.000$$

$$= 2090.239 \text{ kN}$$

地震時動水圧荷重

ウェスタガードの式を使用し計算する。

$$P_{ed} = \frac{7}{12} \cdot W_o \cdot K \cdot \sqrt{h'} \cdot (h^{3/2} - h_1^{3/2}) \cdot B$$

ここに、 P_{ed} ：地震時動水圧荷重 kN

K ：設計震度 0.24

h' ：水面から基礎地盤までの水深 3.550 m

h ：水面から水密線までの水深 3.550 m

h_1 ：越流水深 0.500 m

$$P_{ed} = \frac{7}{12} \times 9.807 \times 0.24 \times \sqrt{3.550} \times (3.550^{3/2} - 0.500^{3/2}) \times 30.000$$

$$= 491.651 \text{ kN}$$

合計荷重

$$P_e = P_{es} + P_{ed}$$

$$= 2090.239 + 491.651$$

$$= 2581.890 \text{ kN}$$

(5) 扉体自重 (3.1-(2)参照)

1) 起立時

$$P_g = 129.410 \text{ kN}$$

2) 半開時

$$P_g = 433.013 \text{ kN}$$

(6) 地震時慣性力

1) 起立時

$$P_{eg} = W_g \cdot K \cdot \cos \theta$$

ここに、 P_{eg} : 地震時慣性力 kN

K : 設計震度 0.24

W_g : 扉体自重 500 kN

θ : 倒伏角 15°

$$P_{eg} = 500 \times 0.24 \times \cos 15^\circ$$

$$= 115.911 \text{ kN}$$

2) 半開時

$$P_{eg} = W_g \cdot K \cdot \cos \theta$$

ここに、 θ : 倒伏角 60°

$$P_{eg} = 500 \times 0.24 \times \cos 60^\circ$$

$$= 60.000 \text{ kN}$$

(7) 地震時荷重集計

	起立時 (kN)	半開時 (kN)
静水圧	2090.239	2483.986
地震時動水圧	491.651	311.007
扉体自重	129.410	433.013
地震時慣性力	115.911	60.000
合計	2827.211	3288.006

3.3 常時と地震時の比較

地震時の許容応力を50%増とし、常時への換算を行う。

	起立時 (kN)	半開時 (kN)
常時	2010.625	2738.266
地震時	2827.211	3288.006
地震時 / 1.5	1884.807	2192.004

常時と地震時の比較の結果、常時荷重が大きいため以下常時荷重にて計算する。

4. ねじりモーメント

4.1 起立時ねじりモーメント

- (1) 水圧荷重による支承まわりのねじりモーメント

$$T_1 = P_0 \cdot X$$

ここに,	T_1 : 水圧荷重によるねじりモーメント	kN·m
	P_0 : 水圧荷重	1881.215 kN
	X : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離	1.537 m

$$\begin{aligned} T_1 &= 1881.215 \times 1.537 \\ &= 2891.427 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- (2) 扉体自重による支承まわりのねじりモーメント

$$T_2 = P_g \cdot X_g$$

ここに,	T_2 : 扉体自重によるねじりモーメント	kN·m
	P_g : 扉体自重	129.410 kN
	X_g : 回転軸中心から扉体自重の作用点までの距離	2.010 m

$$\begin{aligned} T_2 &= 129.410 \times 2.010 \\ &= 260.114 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- (3) 水密ゴム摩擦抵抗による支承まわりのねじりモーメント

(側部ゴム)

$$M_s = \mu_1 \cdot (q + p \cdot b_1) \cdot 2 \cdot \ell \cdot r_1$$

ここに,	μ_1 : ゴムと戸当り間のすべり摩擦係数	0.7
	q : ゴムの初期押付力	0.490 kN/m
	p : 作用平均水圧	$\frac{P_0}{B \cdot \ell} = \frac{1881.215}{30.000 \times 3.158} = 19.857 \text{ kN/m}^2$
	B : 受圧幅	30.000 m
	ℓ : 扉体の水密長 ($H/\cos \theta$)	3.158 m
	r_1 : 接触平均半径	1.933 m
	b_1 : 側部ゴムの接触幅	0.040 m

$$\begin{aligned} M_s &= 0.7 \times (0.490 + 19.857 \times 0.040) \times 2 \times 3.158 \times 1.933 \\ &= 10.976 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(下部ゴム)

$$M_b = \mu_1 \cdot (q + P_b \cdot b_2) \cdot B \cdot r_2$$

ここに,	P_b : 下部ゴムの作用水圧	$W_0 \cdot h = 9.807 \times 3.550 = 34.815 \text{ kN/m}^2$
	b_2 : 下部ゴムの接触幅	0.030 m
	r_2 : 接触半径	0.480 m

$$\begin{aligned} M_b &= 0.7 \times (0.490 + 34.815 \times 0.030) \times 30.000 \times 0.480 \\ &= 15.467 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(合 計)

$$\begin{aligned} T_3 &= M_s + M_b \\ &= 10.976 + 15.467 \\ &= 26.443 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

(4) 支承の摩擦抵抗によるねじりモーメント

$$T_4 = R \cdot \mu_2 \cdot r$$

ここに、 R：ピンにかかる荷重

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{P_0^2 + W_g^2 + 2 \cdot P_0 \cdot W_g \cdot \sin \theta} \\ &= \sqrt{1881.215^2 + 500.000^2 + 2 \times 1881.215 \times 500.000 \times \sin 15^\circ} \\ &= 2067.816 \text{ kN} \end{aligned}$$

μ_2 ：ブッシュとピン間のすべり摩擦係数	0.2
r：ピン半径	0.060 m
P_0 ：静水圧荷重	1881.215 kN
W_g ：扉体自重	500 kN

$$\begin{aligned} T_4 &= 2067.816 \times 0.2 \times 0.060 \\ &= 24.814 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

4.2 半開時ねじりモーメント

(1) 水圧荷重による支承まわりのねじりモーメント

$$T_1 = P_U \cdot X$$

ここに、 T_1 ：水圧荷重によるねじりモーメント kN·m P_U ：水圧荷重 2305.253 kN X ：回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.638 m

$$\begin{aligned} T_1 &= 2,305.253 \times 1.638 \\ &= 3776.004 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

(2) 扉体自重による支承まわりのねじりモーメント

$$T_2 = P_g \cdot X_g$$

ここに、 T_2 ：扉体自重によるねじりモーメント kN·m P_g ：扉体自重 433.013 kN X_g ：回転軸中心から扉体自重の作用点までの距離 2.010 m

$$\begin{aligned} T_2 &= 433.013 \times 2.010 \\ &= 870.356 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

(3) 水密ゴム摩擦抵抗による支承まわりのねじりモーメント

(側部ゴム)

$$M_s = \mu_1 \cdot (q + p \cdot b_1) \cdot 2 \cdot \ell \cdot r_1$$

ここに、 μ_1 ：ゴムと戸当り間のすべり摩擦係数 0.7

q : ゴムの初期押付力 0.490 kN/m

p : 作用平均水圧 $\frac{P_U}{B \cdot \ell} = \frac{2305.253}{30.000 \times 3.240} = 23.717 \text{ kN/m}^2$

B : 受圧幅 30.000 m

ℓ : 扉体の水密長 (H/cos θ) 3.240 m

r₁ : 接触平均半径 1.891 m

b₁ : 側部ゴムの接触幅 0.040 m

$$M_s = 0.7 \times (0.490 + 23.717 \times 0.040) \times 2 \times 3.240 \times 1.891 \\ = 12.340 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(下部ゴム)

$$M_b = \mu_1 \cdot (q + P_b \cdot b_2) \cdot B \cdot r_2$$

ここに, P_b : 下部ゴムの作用水圧

$$W_0 \cdot h = 9.807 \times 3.550 = 34.815 \text{ kN/m}^2$$

b₂ : 下部ゴムの接触幅 0.030 m

r₂ : 接触半径 0.480 m

$$M_b = 0.7 \times (0.490 + 34.815 \times 0.030) \times 30.000 \times 0.480 \\ = 15.467 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(合 計)

$$T_3 = M_s + M_b$$

$$= 12.340 + 15.467$$

$$= 27.807 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(4) 支承の摩擦抵抗によるねじりモーメント

$$T_4 = R \cdot \mu_2 \cdot r$$

ここに, R : ピンにかかる荷重

$$R = \sqrt{P_U^2 + W_g^2 + 2 \cdot P_U \cdot W_g \cdot \sin \theta}$$

$$= \sqrt{2305.253^2 + 500.000^2 + 2 \times 2305.253 \times 500.000 \times \sin 60^\circ}$$

$$= 2749.654 \text{ kN}$$

μ_2 : プッシュとピン間のすべり摩擦係数 0.2

r : ピン半径 0.060 m

P_U : 静水圧荷重 2305.253 kN

W_g : 扉体自重 500 kN

$$T_4 = 2749.654 \times 0.2 \times 0.060$$

$$= 32.996 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.3 扉体に作用するねじりモーメント

(kN・m)

	T ₁	T ₂	合計 (ΣT)
起立時	2891.427	260.114	3151.541
半開時	3776.004	870.356	4646.360

よって、扉体の強度計算は半開時にて行う。

半開時の作用点距離

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\sum T}{\sum P} \\
 &= \frac{4646.360}{2738.266} \\
 &= 1.697 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.4 操作時の開閉モーメント

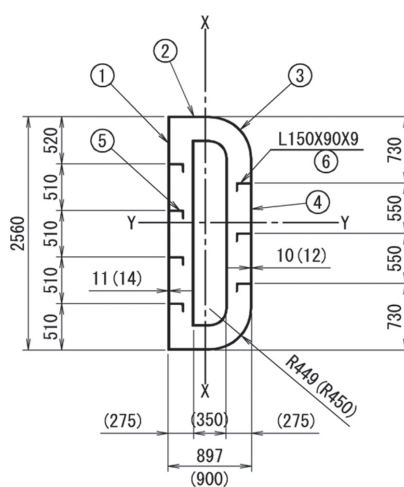
(kN・m)

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	合計 (ΣT)	
起立時	2891.427	260.114	26.443	24.814	3202.798	
半開時	開操作時	3776.004	870.356	-27.807	-32.996	4585.557
	閉操作時	3776.004	870.356	27.807	32.996	4707.163

5. 扉体の強度

5.1 扉体の断面性能

(1) 断面形状



(2) 断面係数

番号	断面寸法 (mm)	断面積 A × 10 ² (mm ²)	距離 x × 10 (mm)	A · x × 10 ³ (mm ³)	A · x ² × 10 ⁴ (mm ⁴)	I ₀ × 10 ⁴ (mm ⁴)
①	PL11 (14) × 2560 - 1	281.6	0.55	155	85	28
②	PL10 (12) × 437 - 2	87.4	22.95	2006	46034	13909
③	PL10 (12) × 697 - 2	139.5	73.1	10197	745434	26053
④	PL10 (12) × 1660 - 1	166.0	89.2	14807	1320802	14
⑤	L150 × 90 × 9 - 4	65.2	11.3	737	8325	1483
⑥	L150 × 90 × 9 - 3	48.9	78.5	3839	301334	1112
合 計		788.6		31741	2422014	42599

1) 重心位置

$$x_1 = \frac{\sum A \cdot x}{\sum A} = \frac{31741 \times 10^3}{788.6 \times 10^2} = 402 \text{ mm}$$

$$x_2 = 897 - 402 = 495 \text{ mm}$$

2) 断面 2 次モーメント

$$\begin{aligned} I &= \sum I_0 + \sum A \cdot x^2 - \sum A \cdot x_1^2 \\ &= (42599 + 2422014 - 788.6 \times 402^2) \times 10^4 \\ &= 1190204 \times 10^4 \text{ mm}^4 \\ &= 1190204 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

3) 断面係数

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{I}{x_1} \\ &= \frac{1190204 \times 10^4}{402} \\ &= 29607 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= \frac{I}{x_2} \\ &= \frac{1190204 \times 10^4}{495} \\ &= 24045 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

4) ねじり定数

$$J = \frac{4 \cdot A_0^2}{\sum \frac{d_s}{t}}$$

ここに、	J : ねじり定数	mm ⁴
	A ₀ : 扉体外板の板厚中心線に囲まれた面積	21742 × 10 ² mm ²
	t : 有効板厚	
	スキンプレート	11 mm
	スキンプレート以外	10 mm
	d _s : 周 長	
	スキンプレート	2548 mm
	スキンプレート以外	3940 mm

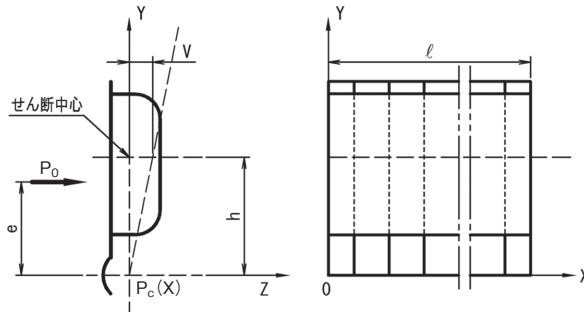
$$J = \frac{4 \times (21742 \times 10^2)^2}{\frac{2548}{11} + \frac{3940}{10}}$$

$$= 3022296 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$= 3022296 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

5.2 扉体の強度

扉体の強度計算方法は、扉体全体を1つの梁として解析する。



理論式

$$E \cdot I \frac{d^4 V}{d_x^4} = P_0 - P_c(X)$$

$$G \cdot J \frac{d^2 \phi}{d_x^2} = P_0 \cdot (h - e) - P_c(X) \cdot h$$

$$\phi \cdot h = V$$

(1) 曲げモーメント

最大曲げモーメント (径間中央部, $X = \frac{\ell}{2}$)

$$M_{b \max} = P_0 \cdot e \cdot h \cdot \frac{E \cdot I}{G \cdot J} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{\sqrt{D_0}}{2} \cdot \ell\right)} \right\}$$

ここに、 $M_{b \max}$: 最大曲げモーメント

kN·m

P_0 : 単位長さ当りの作用荷重

e : ピン中心から荷重作用点までの距離

$P_0 \cdot e$: 単位長さあたりの合計ねじりモーメント

$$\frac{T}{\ell} = \frac{4646.360}{30.000} = 154.879 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

T : 扉体に作用するねじりモーメント 4646.360 kN・m

h : ピン中心からせん断中心までの距離 2.010 m

E : 縦弾性係数 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

G : 横弾性係数 $7.94 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

J : ねじり定数 $3022296 \times 10^{-8} \text{ m}^4$

I : 断面 2 次モーメント $1190204 \times 10^{-8} \text{ m}^4$

ℓ : 径間 30.000 m

$$D_0 = \frac{G \cdot J}{E \cdot I} \cdot \frac{1}{h^2} = \frac{7.94 \times 10^4 \times 3022296 \times 10^{-8}}{2.06 \times 10^5 \times 1190204 \times 10^{-8}} \times \frac{1}{2.010^2} = 0.242 \text{ 1/m}^2$$

$$M_{b \max} = 154.879 \times 2.010 \times \frac{2.06 \times 10^5 \times 1190204 \times 10^{-8}}{7.94 \times 10^4 \times 3022296 \times 10^{-8}} \times \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{\sqrt{0.242}}{2} \times 30.000\right)} \right\}$$

$$= 317.671 \text{ kN} \cdot \text{m} = 317.671 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(2) ねじりモーメント

最大ねじりモーメント (径間端部, $X=0$)

$$\begin{aligned} M_{t \max} &= \frac{1}{2} \cdot P_0 \cdot e \cdot \ell \\ &= \frac{1}{2} \times 154.879 \times 30.000 \\ &= 2323.185 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 2323.185 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

5.3 扉体の応力度

(1) 曲げ応力度 (径間中央部)

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

ここに, σ_b : 曲げ応力度 N/mm²

Z : 断面係数 スキンプレート側 $Z_1 = 29607 \times 10^3 \text{ mm}^3$

背面側 $Z_2 = 24045 \times 10^3 \text{ mm}^3$

1) スキンプレート側

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M_{b \max}}{Z_1} = -\frac{317.671 \times 10^6}{29607 \times 10^3} \\ &= -10.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{all}} = -120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400}) \end{aligned}$$

2) 背 面 側

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{M_{b \max}}{Z_2} = \frac{317.671 \times 10^6}{24045 \times 10^3} \\ &= 13.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{all}} = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})\end{aligned}$$

(2) ねじり応力度

$$\tau_t = \frac{M_{t \max}}{2 \cdot A_O \cdot t}$$

ここに、 τ_t : ねじり応力度 N/mm²

t : 板厚 スキンプレート側 $t_1 = 11 \text{ mm}$

背面側 $t_2 = 10 \text{ mm}$

A_O : 扉体外板の板厚中心線に囲まれた面積 $21742 \times 10^2 \text{ mm}^2$

1) スキンプレート側

$$\begin{aligned}\tau_t &= \frac{M_{t \max}}{2 \cdot A_O \cdot t_1} = \frac{2323.185 \times 10^6}{2 \times 21742 \times 10^2 \times 11} \\ &= 48.6 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})\end{aligned}$$

2) 背 面 側

$$\begin{aligned}\tau_t &= \frac{M_{t \max}}{2 \cdot A_O \cdot t_2} = \frac{2323.185 \times 10^6}{2 \times 21742 \times 10^2 \times 10} \\ &= 53.4 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} + 10 = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})\end{aligned}$$

5.4 扉体のたわみ度

(1) ねじり角

扉体の最大ねじり角 (径間中央部, $X = \frac{\ell}{2}$)

$$\begin{aligned}\phi_a &= \frac{P_O \cdot e}{G \cdot J} \cdot \left[\frac{1}{D_O} \cdot \left\{ \frac{1}{\cosh\left(\frac{\sqrt{D_O}}{2} \cdot \ell\right)} - 1 \right\} + \frac{\ell^2}{8} \right] \\ &= \frac{154.879}{7.94 \times 10^7 \times 3022296 \times 10^{-8}} \times \left[\frac{1}{0.242} \times \left\{ \frac{1}{\cosh\left(\frac{\sqrt{0.242}}{2} \times 30.000\right)} - 1 \right\} + \frac{30.000^2}{8} \right]\end{aligned}$$

$$= 0.0070 \text{ rad}$$

駆動軸のねじり角

$$\phi_b = \frac{T \cdot \ell_O}{2 \cdot G_O \cdot J_O} \times 10^6$$

ここに、 T : 扉体に作用するねじりモーメント 4646.360 kN·m

ℓ_O : 油圧シリンダ支持点から駆動端までの長さ 1325 mm

G_O : 駆動軸の横弾性係数 $7.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

J_0 : 駆動軸のねじり定数

$$\begin{aligned} J_0 &= \frac{\pi}{32} \cdot d_2^4 \quad d_2 : \text{駆動軸谷径 } 702 \text{ mm} \\ &= \frac{\pi \times 702^4}{32} \\ &= 2.384 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_b &= \frac{4646.360 \times 1325}{2 \times 7.44 \times 10^4 \times 2.384 \times 10^{10}} \times 10^6 \\ &= 0.0017 \text{ rad} \end{aligned}$$

合計ねじり角

$$\begin{aligned} \phi_{\max} &= \phi_a + \phi_b \\ &= 0.0070 + 0.0017 \\ &= 0.0087 \text{ rad} \end{aligned}$$

(2) たわみ量 (径間中央部)

$$\delta = \phi_{\max} \cdot S$$

ここに, δ : たわみ量 mm

ϕ_{\max} : 最大合成ねじり角 0.0087 rad

S : ピン中心から扉体先端までの距離 3603 mm

$$\delta = 0.0087 \times 3603$$

$$= 31.3 \text{ mm}$$

(3) たわみ度 (径間中央部)

$$\frac{\delta}{L}$$

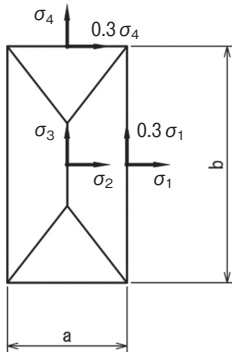
ここに, δ : たわみ量 31.3 mm

L : 油圧シリンダ支持間隔 32650 mm

$$\frac{\delta}{L} = \frac{31.3}{32650} = \frac{1}{1043} < \frac{1}{800}$$

5.5 スキンプレートの強度

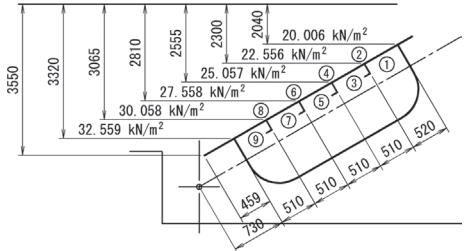
$$\sigma = \frac{1}{100} \cdot k \cdot a^2 \cdot \frac{p}{t^2}$$



ここに、 σ : スキンプレートの応力度 N/mm^2
 a : 区画の短辺 mm
 b : 区画の長辺 mm
 b/a : 辺長比
 k : 辺長比による形状係数
 p : 平均水圧 N/mm^2
 t : 板厚 mm
 σ_{all} : 許容応力度 (SM400) 120 N/mm^2

kの値

b/a	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1.00	30.9	13.7	13.7	30.9
1.25	40.3	18.8	13.5	33.9
1.50	45.5	22.1	12.2	34.3
1.75	48.4	23.9	10.8	34.3
2.00	49.9	24.7	9.5	34.3
2.50	50.0	25.0	8.0	34.3
3.00	50.0	25.0	7.5	34.3
∞	50.0	25.0	7.5	34.3



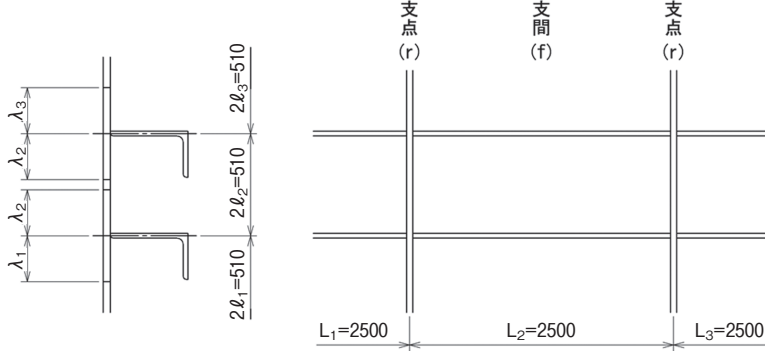
スキンプレートの応力度

区画	a (mm)	b (mm)	b/a	k_1	k_4	平均水圧 p $\times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$	板厚 t mm	σ_1 N/mm^2	σ_4 N/mm^2
①	520	2500	4.81	50.0	34.3	2.13	11	23.8	16.3
③	510	2500	4.90	50.0	34.3	2.38	11	25.6	17.5
⑤	510	2500	4.90	50.0	34.3	2.63	11	28.3	19.4
⑦	510	2500	4.90	50.0	34.3	2.88	11	31.0	21.2
⑨	510	2500	4.90	50.0	34.3	3.13	11	33.6	23.1

$< \sigma_{\text{all}} = 120 \text{ N/mm}^2$

5.6 補助横桁の強度

補助横桁は、間隔2.5 mの縦桁で支持された連続梁とし、補助横桁間隔0.51 mとして外板と協働させて計算する。



ここに、 $L_1 \cdots \cdots n$: 縦桁間隔 2500 mm
 $2\ell_1 \cdots \cdots n$: 補助横桁間隔 510 mm

(1) 支点の断面性能

1) 等価支持間隔

$$L = 0.2 \cdot (L_1 + L_2)$$

$$= 0.2 \times (2500 + 2500)$$

$$= 1000 \text{ mm}$$

2) スキンプレート有効幅

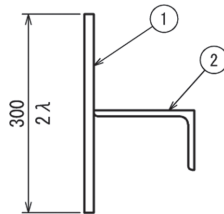
$$\frac{\ell}{L} = \frac{255}{1000} = 0.26$$

$$\lambda = \{1.1 - 2 \cdot (\ell / L)\} \cdot \ell$$

$$= \{1.1 - 2 \times (255/1000)\} \times 255$$

$$= 150 \text{ mm}$$

3) 補助横桁の断面性能



番号	断面寸法 (mm)	断面積A $\times 10^2$ (mm ²)	距離x $\times 10$ (mm)	A · x $\times 10^3$ (mm ³)	A · x ² $\times 10^4$ (mm ⁴)	I _O $\times 10^4$ (mm ⁴)
①	PL11 (14) × 300 - 1	33.00	0.55	18	10	3
②	L150 × 90 × 9 - 1	16.29	11.30	184	2080	371
合計		49.29		202	2090	374

重心位置

$$x_1 = \frac{\Sigma A \cdot x}{\Sigma A} = \frac{202 \times 10^3}{49.29 \times 10^2} = 41.0 \text{ mm}$$

$$x_2 = 161 - 41.0 = 120.0 \text{ mm}$$

断面二次モーメント

$$\begin{aligned} I &= \Sigma I_0 + \Sigma A \cdot x^2 - \Sigma A \cdot x_1^2 \\ &= (374 + 2090 - 49.29 \times 4.10^2) \times 10^4 \\ &= 1635 \times 10^4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

断面係数

$$\begin{aligned} Z_{r1} &= \frac{I}{x_1} = \frac{1635 \times 10^4}{41.0} \\ &= 399 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{r2} &= \frac{I}{x_2} = \frac{1635 \times 10^4}{120.0} \\ &= 136 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

(2) 支間の断面性能

1) 等価支持間隔

$$L = 0.6 \cdot L_1$$

ここに, L_1 : 縦桁間隔 2500 mm

$$L = 0.6 \times 2500 = 1500 \text{ mm}$$

2) スキンプレート有効幅

$$\frac{\ell}{L} = \frac{255}{1500} = 0.17$$

ここに, ℓ : 補助横桁間隔の1/2 255 mm

$$\begin{aligned} \lambda &= \{1.1 - 2 \cdot (\ell / L)\} \cdot \ell \\ &= \{1.1 - 2 \times (255/1500)\} \times 255 \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

支点の曲げ応力度

$$\sigma_{r1} = \frac{M_r}{Z_{r1}} \quad (\text{スキンプレート側}) \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{r2} = \frac{M_r}{Z_{r2}} \quad (\text{補助横桁フランジ側}) \quad \text{N/mm}^2$$

ここに、 Z_{r1} ：支点のスキンプレート側断面係数 $399 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Z_{r2} ：支点のフランジ側断面係数 $136 \times 10^3 \text{ mm}^3$

支間の曲げ応力度

$$\sigma_{f1} = \frac{M_f}{Z_{f1}} \quad (\text{スキンプレート側}) \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M_f}{Z_{f2}} \quad (\text{補助横桁フランジ側}) \quad \text{N/mm}^2$$

ここに、 Z_{f1} ：支間のスキンプレート側断面係数 $496 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Z_{f2} ：支間のフランジ側断面係数 $138 \times 10^3 \text{ mm}^3$

番号	p $\times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$	w N/mm	Mr N·mm	Mf N·mm	$\sigma_r = M_r/Z_r$		$\sigma_f = M_f/Z_f$	
					Z_{r1} 側	Z_{r2} 側	Z_{f1} 側	Z_{f2} 側
②	2.256	11.62	6052083	3026042	+15.2	-44.5	-6.1	+21.9
④	2.506	12.78	6656250	3328125	+16.7	-48.9	-6.7	+24.1
⑥	2.756	14.06	7322917	3661458	+18.4	-53.8	-7.4	+26.5
⑧	3.006	15.33	7984375	3992188	+20.0	-58.7	-8.0	+28.9

$\sigma_r, \sigma_f = \text{N/mm}^2$ (+) 引張応力度 (-) 圧縮応力度 $< \sigma_{\text{all}} = 120 \text{ N/mm}^2$

5.7 補剛板

(1) 必要板厚

$$t = \frac{b}{56 f \cdot n} \quad (\text{SM400})$$

ここに、 b ：外板の全幅 2560 mm

n ：水平桁によって区切られるパネル数 ($n \geq 2$) 5

f ：応力勾配による係数

$$\begin{aligned} f &= 0.65 \left(\frac{\phi}{n} \right)^2 + 0.13 \left(\frac{\phi}{n} \right) + 1.0 \\ &= 0.65 \left(\frac{0.000}{5} \right)^2 + 0.13 \left(\frac{0.000}{5} \right) + 1.0 \\ &= 1.000 \end{aligned}$$

ϕ : 応力勾配

$$\phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = \frac{10.7 - 10.7}{10.7} = 0.000$$

σ_1, σ_2 : それぞれの補剛板の両縁での縁応力度 N/mm²

ただし, $\sigma_1 \geq \sigma_2$ とし, 圧縮応力度を正とする。

$$\sigma_1 = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

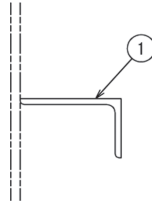
$$t = \frac{2560}{56 \times 1.000 \times 5}$$

$$= 9.1 \text{ mm} < 11 \text{ mm} \quad (\text{スキンプレーットの有効板厚})$$

(2) 補剛材の剛度

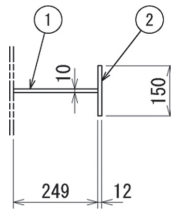
断面二次モーメントは, スキンプレーットの表面に関するものとする。

1) 補剛材 (補助横桁) の断面性能



番号	断面寸法 (mm)	断面積 A $\times 10^2$ (mm ²)	距離x $\times 10$ (mm)	A · x $\times 10^3$ (mm ³)	A · x ² $\times 10^4$ (mm ⁴)	I _O $\times 10^4$ (mm ⁴)	A · x ² + I _O $\times 10^4$ (mm ⁴)
①	L150×90×9	16.29	10.20	166	1695	371	—
合 計		A ₁ = 16.29		166	1695	371	I ₁ = 2066

2) ダイヤフラム (縦桁) の断面性能



番号	断面寸法 (mm)	断面積 A $\times 10^2$ (mm ²)	距離x $\times 10$ (mm)	A · x $\times 10^3$ (mm ³)	A · x ² $\times 10^4$ (mm ⁴)	I _O $\times 10^4$ (mm ⁴)	A · x ² + I _O $\times 10^4$ (mm ⁴)
①	PL10 (12) × 249	24.90	12.45	310	3860	1287	—
②	PL12 (14) × 150	18.00	25.50	459	11705	2	—
合 計		42.90		769	15565	1289	I _t = 16854

3) 補剛材（補助横桁）の必要剛度

$$I_1 = 2066 \times 10^4 \geq \frac{b \cdot t^3}{11} \cdot r_1 = 745 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_1 = 1629 \geq \frac{b \cdot t}{10n} = 563 \text{ mm}^2$$

ここに、	I_1 : 水平桁 1 個の断面二次モーメント	$2066 \times 10^4 \text{ mm}^4$
	t : 外板の板厚	11 mm
	b : 外板の全幅	2560 mm
	r_1 : 水平桁の必要剛比	
	A_1 : 水平桁 1 個の断面積	1629 mm^2
	n : 水平桁によって区切られるパネル数	5

r_1 は次のようにして求める。

$$a = 0.977 \leq a_0 = 3.318$$

$$I_t = 16854 \times 10^4 \geq \frac{b \cdot t^3}{11} \cdot \frac{1 + n \cdot r_1}{4a^3} = 1007 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$t = 11 < t_0 = 18 \text{ mm}$$

のとき、

$$r_1 = 4a^2 \cdot n \cdot (1 + n \cdot \delta_t) - \frac{(a^2 + 1)^2}{n} = 24.054$$

ここに、

$$a = \frac{\ell}{b} = 0.977$$

a_0 : 限界縦横寸法比

$$a_0 = \sqrt[4]{1 + n \cdot r_1} = 3.318$$

ℓ : ダイヤフラム間隔 2500 mm

δ_t : 水平桁 1 個の断面積比

$$\delta_t = \frac{A_1}{b \cdot t} = 0.06$$

r_t : 水平桁の剛比

$$r_t = \frac{I_1}{\frac{b \cdot t^3}{11}} = 66.7$$

I_t : ダイヤフラム 1 個の断面二次モーメント $16854 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$$t_0 = \frac{b}{28f \cdot n} = 18 \text{ mm}$$

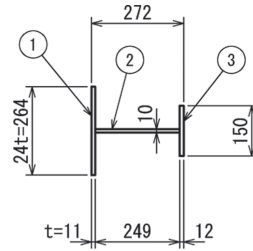
f : 応力勾配による係数 1.000

従って補剛材は必要な剛度を有している。

5.8 縦桁の強度

縦桁はスキムプレートと上下面板の交点を支持間隔とした，両端固定梁として計算を行う。

(1) 縦桁の断面性能



番号	断面寸法 (mm)	断面積A $\times 10^2$ (mm ²)	距離x $\times 10$ (mm)	$A \cdot x$ $\times 10^3$ (mm ³)	$A \cdot x^2$ $\times 10^4$ (mm ⁴)	I_O $\times 10^4$ (mm ⁴)
①	PL11 (14) \times 264 - 1	29.04	0.55	16	9	3
②	PL10 (12) \times 249 - 1	24.90	13.55	337	4572	1287
③	PL12 (14) \times 150 - 1	18.00	26.60	479	12736	2
合 計		71.94		832	17317	1292

重心位置

$$x_1 = \frac{\sum A \cdot x}{\sum A} = \frac{832 \times 10^3}{71.94 \times 10^2} = 115.7 \text{ mm}$$

$$x_2 = 272 - 115.7 = 156.3 \text{ mm}$$

断面2次モーメント

$$\begin{aligned} I &= \sum I_O + \sum A \cdot x^2 - \sum A \cdot x_1^2 \\ &= (1292 + 17317 - 71.94 \times 11.57^2) \times 10^4 \\ &= 8979 \times 10^4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

断面係数

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{I}{x_1} = \frac{8979 \times 10^4}{115.7} \\ &= 776 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= \frac{I}{x_2} = \frac{8979 \times 10^4}{156.3} \\ &= 574 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

(2) 縦桁に作用する部材力

1) 支点の曲げモーメント

$$M_{er} = \frac{1}{12} \cdot w \cdot L^2$$

ここに、 M_{er} ：支点の曲げモーメント $N \cdot mm$

$$w：水圧荷重 \quad \frac{2305253}{2560} \times \frac{2500}{30000} = 75.04 \text{ N/mm}$$

L ：支持間隔 2560 mm

$$M_{er} = \frac{1}{12} \times 75.04 \times 2560^2$$

$$= 40981845 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

2) 支間の曲げモーメント

$$M_{ec} = \frac{1}{24} \cdot w \cdot L^2$$

$$M_{ec} = \frac{1}{24} \times 75.04 \times 2560^2$$

$$= 20490923 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(3) 曲げ応力度

1) 支点の曲げ応力度

$$\sigma_{er1} = \frac{M_{er}}{Z_1}$$

$$= \frac{40981845}{776 \times 10^3}$$

$$= 52.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{all} = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

$$\sigma_{er2} = \frac{M_{er}}{Z_2}$$

$$= \frac{40981845}{574 \times 10^3}$$

$$= -71.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{all} = -120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

2) 支間の曲げ応力度

$$\sigma_{ec1} = \frac{M_{ec}}{Z_1}$$

$$= \frac{20490923}{776 \times 10^3}$$

$$= -26.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{all} = -120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

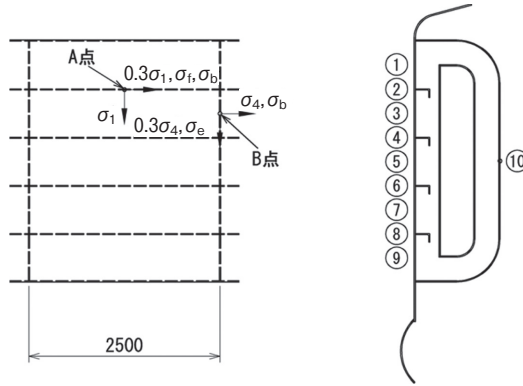
$$\sigma_{ec2} = \frac{M_{ec}}{Z_2}$$

$$= \frac{20490923}{574 \times 10^3}$$

$$= 35.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{all} = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

5.9 扉体の合成応力度

扉体全体の応力度とスキンプレートと協働させた補助横桁の曲げ応力度等の同軸方向応力度は検討する各点の該当応力度を加算する。



(1) 同軸方向合成応力度

$$\sigma_A = \sigma_b + \sigma_f + 0.3 \cdot \sigma_1$$

$$\sigma_B = \sigma_b + \sigma_4$$

- ここに、
- σ_A : A点の同方向合成応力度 N/mm^2
 - σ_B : B点の同方向合成応力度 N/mm^2
 - σ_b : シェル断面の曲げ応力度 N/mm^2
 - σ_f : 補助横桁の曲げ応力度 N/mm^2
 - σ_1, σ_4 : スキンプレートの曲げ応力度 N/mm^2

1) 径間中央部

(単位 : N/mm^2)

番号	σ_b	$0.3 \sigma_1$	σ_4	σ_f	(A点) σ_A	(B点) σ_B
①	-10.7		±16.3			-27.0
②	-10.7	±7.7		-6.1	-24.5	
③	-10.7		±17.5			-28.2
④	-10.7	±8.5		-6.7	-25.9	
⑤	-10.7		±19.4			-30.1
⑥	-10.7	±9.3		-7.4	-27.4	
⑦	-10.7		±21.2			-31.9
⑧	-10.7	±10.1		-8.0	-28.8	
⑨	-10.7		±23.1			-33.8
⑩	+13.2				+13.2	+13.2

(+) 引張応力度 < $\sigma_{all} = 120\text{N/mm}^2$ (-) 圧縮応力度 < $\sigma_{c all} = 81\text{N/mm}^2$

2) 径間端部

(単位: N/mm²)

番号	σ_b	$0.3\sigma_1$	σ_4	σ_f	(A点) σ_A	(B点) σ_B
①			±16.3			±16.3
②		±7.7		-6.1	-13.8	
③			±17.5			±17.5
④		±8.5		-6.7	-15.2	
⑤			±19.4			±19.4
⑥		±9.3		-7.4	-16.7	
⑦			±21.2			±21.2
⑧		±10.1		-8.0	-18.1	
⑨			±23.1			±23.1
⑩						

(+) 引張応力度 < $\sigma_{all} = 120\text{N/mm}^2$ (-) 圧縮応力度 < $\sigma_{c all} = 81\text{N/mm}^2$

3) 許容圧縮応力度

補剛板の局部座屈に対するものとして計算する。

$$\frac{b}{56 f \cdot n} \leq t < \frac{b}{28 f \cdot n} \quad \text{の場合}$$

$$\sigma_{c all} = 120 - 2.1 \left[\frac{b}{t \cdot f \cdot n} - 28 \right] \quad (\text{SM400})$$

ここに、
 b: 外板の全幅 2560 mm
 t: 外板の板厚 11 mm
 f: 応力勾配による係数 1.000
 n: 水平桁によって区切られるパネル数 5

$$\frac{2560}{56 \times 1.000 \times 5} = 9.1\text{mm} \leq 11\text{mm} < \frac{2560}{28 \times 1.000 \times 5} = 18.3\text{mm} \quad \text{より,}$$

$$\sigma_{c all} = 120 - 2.1 \left[\frac{2560}{11 \times 1.000 \times 5} - 28 \right] = 81 \text{ N/mm}^2$$

(2) 二軸方向合成応力度 (径間端部)

$$\sigma_{gA} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_1^2 - \sigma_A \cdot \sigma_1 + 3 \cdot \tau^2}$$

$$\sigma_{gB} = \sqrt{\sigma_B^2 + (0.3 \cdot \sigma_4 + \sigma_e)^2 - \sigma_B \cdot (0.3 \cdot \sigma_4 + \sigma_e) + 3 \cdot \tau^2}$$

ここに、
 σ_{gA} : A点の二軸方向合成応力度 N/mm²
 σ_{gB} : B点の二軸方向合成応力度 N/mm²

τ : 扉体のねじりせん断応力度 N/mm^2

σ_e : 縦桁の曲げ応力度 N/mm^2

第8点

$$\sigma_{gA} = \sqrt{(-18.1)^2 + 33.6^2 - (-18.1) \times 33.6 + 3 \times 48.6^2}$$

$$= 95.7 \text{ N/mm}^2$$

第7点

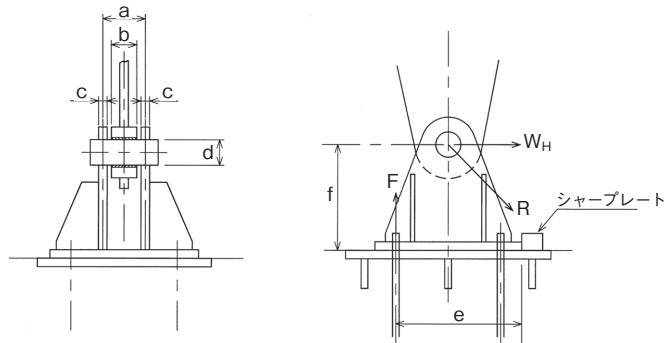
$$\sigma_{gB} = \sqrt{(+21.2)^2 + \{0.3 \times (-21.2) + (-26.4)\}^2 - 21.2 \times \{0.3 \times (-21.2) + (-26.4)\} + 3 \times 48.6^2}$$

$$= 96.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{gA}, \sigma_{gB} < \sigma_{g \text{ all}} = 1.1 \times 120 = 132 \text{ N/mm}^2$$

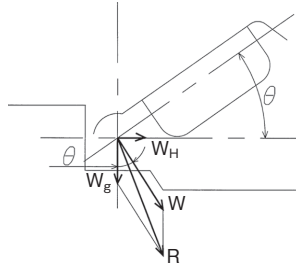
6. 支承部の強度

6.1 支承部形状



ここに,	R : 支承部最大作用荷重	kN
	W_H : 最大水平荷重	kN
	F : アンカー引張力	kN
	a : 軸受ブラケット間隔	188 mm
	b : 回転側軸受ボス幅	120 mm
	c : 支承ブラケット受幅	28 mm
	d : 支承ピン径	120 mm
	e : アンカーボルト距離	700 mm
	f : 支承ピン高さ	580 mm

6.2 支承部作用荷重



- (1) 支承ピンに作用する最大荷重（起立角30度時）

$$R = \sqrt{W^2 + W_g^2 + 2 \cdot W \cdot W_g \cdot \cos \theta}$$

ここに、 W ：最大水圧作用時の支承ピッチ間の水圧荷重

$$W = \frac{2305.253}{30.0} \times 2.50 = 192.104 \text{ kN}$$

W_g ：支承ピッチ間の扉体自重

$$W_g = \frac{500}{30.0} \times 2.50 = 41.667 \text{ kN}$$

θ ：起立角

30°

$$R = \sqrt{192.104^2 + 41.667^2 + 2 \times 192.104 \times 41.667 \times \cos 30^\circ}$$

$$= 229.138 \text{ kN}$$

支承ピン荷重は $230 \text{ kN} = 230000 \text{ N}$ として以下計算する。

- (2) 最大水平作用水圧荷重（全起立時）

$$W_H = P_0 \cdot \sin \theta$$

ここに、 P_0 ：起立時の支承ピッチ間の水圧荷重

$$P_0 = \frac{1881.215}{30.0} \times 2.50 = 156.768 \text{ kN}$$

θ ：起立角

75°

$$W_H = 156.768 \times \sin 75^\circ$$

$$= 151.426 \text{ kN}$$

6.3 支承ピンの強度

- (1) 支承ピンの断面性能

1) 断面積

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 120^2}{4}$$

$$= 113 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

2) 断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \times 120^3}{32}$$

$$= 170 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

(2) 支承ピンの応力度

1) 曲げ応力度

曲げモーメント

$$M = \frac{1}{4} \cdot R \cdot a$$

$$= \frac{1}{4} \times 230000 \times 188$$

$$= 10810000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

曲げ応力度

$$\sigma_d = \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{10810000}{170 \times 10^3}$$

$$= 63.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{all}} = 100 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SUS304})$$

2) せん断応力度

$$\tau_d = \frac{4}{3} \times \frac{R}{2A}$$

$$= \frac{4}{3} \times \frac{230000}{2 \times 113 \times 10^2}$$

$$= 13.6 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 60 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{US304})$$

6.4 ブッシュの面圧

$$P_{\text{cd}} = \frac{R}{b \cdot d}$$

$$= \frac{230000}{120 \times 120}$$

$$= 16.0 \text{ N/mm}^2 < P_{\text{c all}} = 23 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{無給油軸受})$$

6.5 軸受ブラケットの支圧応力

$$\sigma_{\text{cc}} = \frac{R}{2 \cdot c \cdot d}$$

$$= \frac{230000}{2 \times 28 \times 120}$$

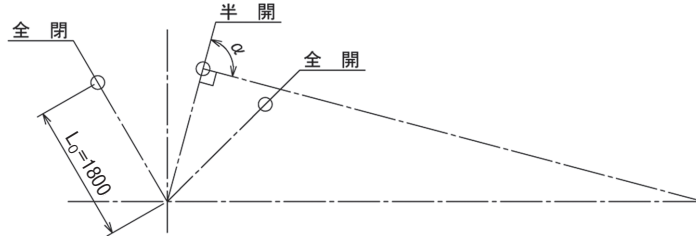
$$= 34 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{c all}} = 180 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

7. 駆動部の強度

駆動装置は油圧シリンダ駆動トルクアーム式とする。また、油圧ユニットはゲート1門分の操作として計算する。

7.1 油圧シリンダに作用する荷重

最大荷重が作用する半開時、閉操作時にて検討する。



$$F_s = \frac{T_s}{n \cdot L_0 \cdot \sin a}$$

ここに、	F_s : 油圧シリンダ作用力	kN
	T_s : 最大操作開閉モーメント	4707.163 kN・m
	L_0 : トルクアーム長さ	1.800 m
	a : トルクアームと油圧シリンダのなす角	90°
	n : 油圧シリンダ本数	2本

$$F_s = \frac{4707.163}{2 \times 1.800 \times \sin 90^\circ}$$

$$= 1307.545 \text{ kN}$$

7.2 油圧シリンダ

シリンダ径

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{P \cdot \pi}}$$

ここに、	D_0 : シリンダチューブ内径	mm
	P : 油圧シリンダ作動圧力	10.8 MPa

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \times 1307545}{10.8 \times \pi}}$$

$$= 393 \text{ mm} \rightarrow \phi 400 \text{ mm}$$

シリンダストローク

$$S = 2200 \text{ mm}$$

シリンダ油量

$$V = \frac{1}{1 \times 10^6} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot S$$

ここに、	V : シリンダ油量	ℓ
------	--------------	---

$$V = \frac{1}{1 \times 10^6} \cdot \frac{\pi}{4} \times 400^2 \times 2200$$

$$= 276.5 \ell$$

7.3 油圧ユニットの動力

油圧ポンプの定格吐出量

$$Q_p = \frac{1.1 \cdot V \cdot n}{t}$$

ここに、 Q_p ：油圧ポンプの定格吐出量 ℓ / min
 t ：開閉時間 20 min
 n ：油圧シリンダ本数 2本

$$Q_p = \frac{1.1 \times 276.5 \times 2}{20}$$

$$= 30.4 \ell / \text{min}$$

よって、 Q_p ：35 ℓ / min のポンプを使用する。

電動機の容量

$$P_m = \frac{P_d \cdot Q_p}{60 \cdot y}$$

ここに、 P_m ：電動機容量 kW
 P_d ：定格圧力 14 MPa
 y ：全効率 0.7

$$P_m = \frac{14 \times 35}{60 \times 0.7}$$

$$= 11.7 \text{ kW}$$

よって、 $P_m = 15 \text{ kW}$ の電動機を使用する。

7.4 油圧シリンダの発生推力

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot P_0$$

ここに、 F ：定格圧力時のシリンダ押力 N
 D_0 ：シリンダチューブ内径 400 mm
 P_0 ：定格圧力 14 MPa

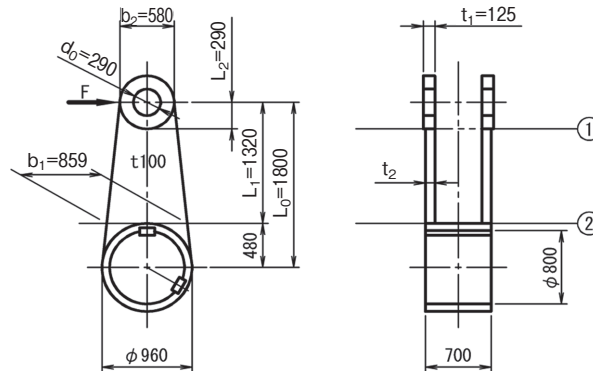
$$F = \frac{\pi}{4} \times 400^2 \times 14$$

$$= 1759292 \text{ N}$$

※油圧シリンダの強度計算については、トルク軸式鋼製起伏ゲート設計計算例を参照のこと。

7.5 トルクアームの強度計算

(1) トルクアーム形状



ここに、	F：油圧シリンダ推力	1759292 N
	t ₁ ：シリンダピン貫通部ボス幅	125 mm
	t ₂ ：アーム部厚さ	100 mm
	d ₀ ：シリンダピン径	290 mm
	b ₁ ：アーム部の幅	859 mm
	b ₂ ：アーム部の幅	580 mm
	L ₁ ：荷重点から②点までの長さ	1320 mm
	L ₂ ：荷重点から①点までの長さ	290 mm

(2) 許容応力度

材 質：SCMnCr3A (引張強さ 640 N/mm²)

安全率：鋼製起伏ゲート設計要領 (案) 2-8による

(曲 げ)

$$\sigma_{b\text{ all}} = \frac{640}{5}$$

$$= 128 \text{ N/mm}^2$$

(せん 断)

$$\tau_{\text{all}} = \frac{640}{8.7}$$

$$= 74 \text{ N/mm}^2$$

(支 圧)

$$\sigma_{c\text{ all}} = \frac{640}{5} \times 1.5$$

$$= 192 \text{ N/mm}^2$$

(3) トルクアームの強度

1) シリンダピン貫通部

シリンダピン貫通部は、シリンダの推力に対する支圧応力およびせん断応力を照査する。

支圧応力度

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F}{2 \cdot t_1 \cdot d_0} \\ &= \frac{1759292}{2 \times 125 \times 290} \\ &= 24 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c \text{ all}} = 192 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力度

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{F}{2 \cdot A} \\ &= \frac{1759292}{2 \times 18125} \\ &= 49 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 74 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

ここに、A : せん断面積 mm²

$$A = \frac{580 - 290}{2} \times 125 = 18125 \text{ mm}^2$$

2) トルクアーム部

トルクアームは、シリンダの推力に対して、アーム形状が変化する点 (①, ②) を順次行うものとする。

断面係数

$$\begin{aligned}Z_1 &= 2 \times \frac{t_2 \cdot b_1^2}{6} \\ &= 2 \times \frac{100 \times 859^2}{6} \\ &= 24596 \times 10^3 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_2 &= 2 \times \frac{t_2 \cdot b_2^2}{6} \\ &= 2 \times \frac{100 \times 580^2}{6} \\ &= 11213 \times 10^3 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

曲げ応力度

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{F \cdot L_1}{Z_1} \\ &= \frac{1759292 \times 1320}{24596 \times 10^3} \\ &= 94 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b \text{ all}} = 128 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

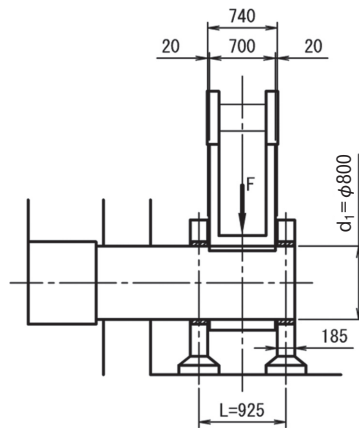
$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{F \cdot L_2}{Z_2} \\ &= \frac{1759292 \times 290}{11213 \times 10^3} \\ &= 46 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b \text{ all}} = 128 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

7.6 駆動軸の強度計算

駆動軸は、油圧シリンダの推力により曲げとねじりの強度照査を行う。

なお、キーを用いてトルクアームと接続する場合は、キーの谷径で照査する。

(1) 駆動軸形状



ここに、	F：油圧シリンダ推力	1759292 N
	L：軸受間隔	925 mm
	d ₁ ：駆動軸径	800 mm
	d ₂ ：駆動軸キー谷径	702 mm
	B：トルクアーム幅	700 mm
	B _b ：軸受幅	185 mm

(2) 許容応力度

材 質：SUS304N2 (引張強さ 690 N/mm²)

安全率：鋼製起伏ゲート設計要領 (案) 2-8による

(曲 げ)

$$\sigma_{b \text{ all}} = \frac{690}{5} = 138 \text{ N/mm}^2$$

(せん 断)

$$\tau_{\text{all}} = \frac{690}{8.7} = 79 \text{ N/mm}^2$$

(支 圧)

$$\sigma_{c \text{ all}} = \frac{690}{5} \times 1.5 = 207 \text{ N/mm}^2$$

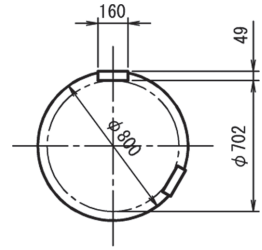
(3) 駆動軸の強度

Z : キー谷径での断面係数

$$Z = \frac{\pi \times 702^3}{32} = 33963 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Z_p : キー谷径での極断面係数

$$Z_p = \frac{\pi \times 702^3}{16} = 67927 \times 10^3 \text{ mm}^3$$



曲げモーメント

$$\begin{aligned} M &= \frac{F}{8} \cdot (2 \cdot L - B) \\ &= \frac{1759292}{8} \times (2 \times 925 - 700) \\ &= 252898 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

曲げ応力度

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{252898 \times 10^3}{33963 \times 10^3} \\ &= 7.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b \text{ all}} = 138 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

軸のねじりモーメント

$$\begin{aligned} T &= F \cdot L_0 \\ &= 1759292 \times 1800 \\ &= 3166726 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

ねじり応力度

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{T}{Z_p} \\ &= \frac{3166726 \times 10^3}{67927 \times 10^3} \\ &= 47 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 79 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

軸の相当曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_e &= \frac{1}{2} \cdot \left\{ M + \sqrt{M^2 + T^2} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \times \left\{ 252898 + \sqrt{252898^2 + 3166726^2} \right\} \times 10^3 \\ &= 1714853 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

相当曲げ応力度

$$\begin{aligned}\sigma_e &= \frac{M_e}{Z} \\ &= \frac{1714853 \times 10^3}{33963 \times 10^3} \\ &= 50 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b \text{ all}} = 138 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

軸の相当ねじりモーメント

$$\begin{aligned}T_e &= \sqrt{M^2 + T^2} \\ &= \sqrt{252898^2 + 3166726^2} \times 10^3 \\ &= 3176808 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}\end{aligned}$$

相当ねじり応力度

$$\begin{aligned}\tau_e &= \frac{T_e}{Z_p} \\ &= \frac{3176808 \times 10^3}{67927 \times 10^3} \\ &= 47 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 79 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

キーの支圧応力度

$$P_k = \frac{T}{r \cdot t' \cdot L' \cdot n}$$

ここに、	r : 軸半径	400 mm
	t' : キー当り面高さ	49 mm
	L' : キー当り面長さ	540 mm
	n : キーの有効本数	1.5本

$$\begin{aligned}P_k &= \frac{3166726 \times 10^3}{400 \times 49 \times 540 \times 1.5} \\ &= 199 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c \text{ all}} = 207 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

キーのせん断応力度

$$S_k = \frac{T}{r \cdot b' \cdot L' \cdot n}$$

ここに、	b' : キーの幅	160 mm
------	-----------	--------

$$\begin{aligned}S_k &= \frac{3166726 \times 10^3}{400 \times 160 \times 540 \times 1.5} \\ &= 61 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{all}} = 79 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

※キーが3本以上必要になる場合は、軸径を大きくするかスプライン軸を使用する等の対策をとるものとする。

7.7 軸受ブッシュの面圧強度計算

シリンダ推力に対する面圧を計算する。

$$P_b = \frac{F}{n_b \cdot d_1 \cdot B_b}$$

$$= \frac{1759292}{2 \times 800 \times 185}$$

$$= 6 \text{ N/mm}^2 < P_{\text{all}} = 23 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{無給油軸受})$$

ここに、 n_b ：軸受の数　　2

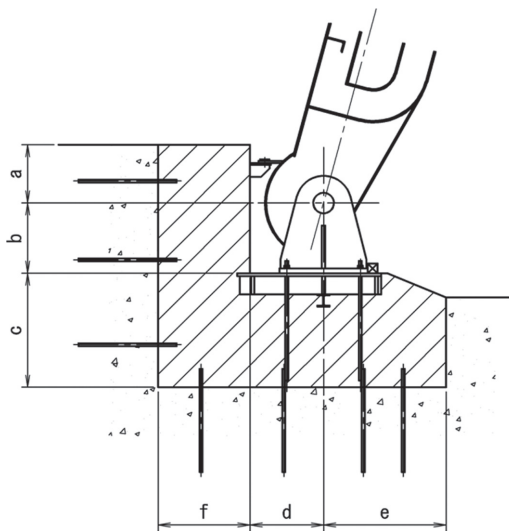
8. 標準的寸法の例

8.1 支承部箱抜寸法

支承部の標準的な箱抜寸法例を以下に示す。

検討条件

設計水深	扉高 + 0.5 m (下流側 0 m)
使用油圧力	14 MPa
駆動軸材質	SUS304N2
トルクアーム長	0.6 × 扉高
扉体、支承部材質	SS400
支承ピン材質	SUS304
支承間隔	2.5 m



支承部の標準的な箱抜寸法の例

a 寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			330	450	510	600
20 m			410	520	640	750
30 m	210	320	480	600	760	860
40 m	220	360	510	660	800	960

b 寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			400	540	610	720
20 m			490	620	770	900
30 m	250	380	580	720	910	1030
40 m	260	430	610	790	960	1150

c 寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			600	800	800	1200
20 m			800	800	1200	1200
30 m	600	600	800	1200	1200	1200
40 m	600	600	800	1200	1200	1200

d 寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			380	500	610	700
20 m			460	620	740	850
30 m	260	370	530	700	860	960
40 m	270	410	610	760	900	1060

e 寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			660	900	1020	1200
20 m			820	1040	1280	1500
30 m	420	640	960	1200	1520	1720
40 m	440	720	1020	1320	1600	1920

f 寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			500	500	500	1000
20 m			500	500	1000	1000
30 m	500	500	500	1000	1000	1000
40 m	500	500	500	1000	1000	1000

8.2 油圧シリンダ室の寸法

標準的な油圧シリンダ室の寸法例を以下に示す。

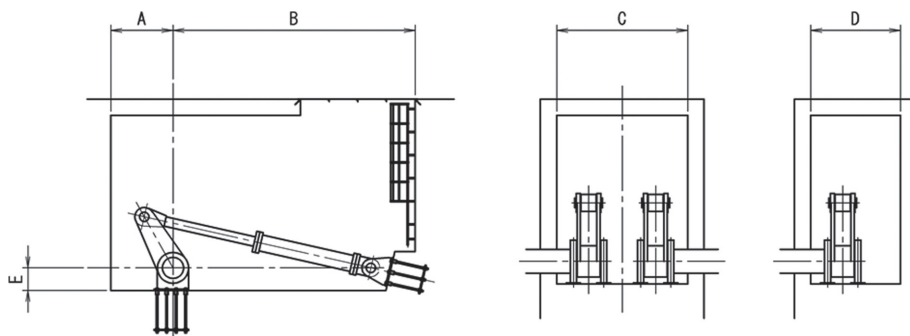
検討条件

設計水深 扉高 + 0.5 m (下流側 0 m)

使用油圧力 14 MPa

トルクアーム長 $0.6 \times$ 扉高

駆動軸材質 SUS304N2



油圧シリンダ室の寸法の例

A 寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			1200	1700	2000	2400
20 m			1500	2000	2400	2900
30 m	700	1200	1800	2300	2900	3300
40 m	800	1300	1900	2500	3100	3600

B寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			5300	7400	9000	10700
20 m			6200	8300	10100	12000
30 m	2700	4800	6900	8900	11300	13000
40 m	2900	5200	7200	9600	11800	13900

C寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			2500	3300	3600	4300
20 m			3000	3800	4500	5300
30 m	1700	2500	3500	4400	5400	6100
40 m	1800	2800	3800	4800	5700	6700

D寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			1500	2000	2200	2600
20 m			1900	2300	2800	3300
30 m	1000	1500	2200	2700	3300	3700
40 m	1100	1700	2300	2900	3500	4100

E寸法

(単位：mm)

径間 \ 扉高	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m			600	800	900	1100
20 m			800	900	1100	1300
30 m	500	600	900	1100	1300	1500
40 m	500	700	900	1200	1400	1600