

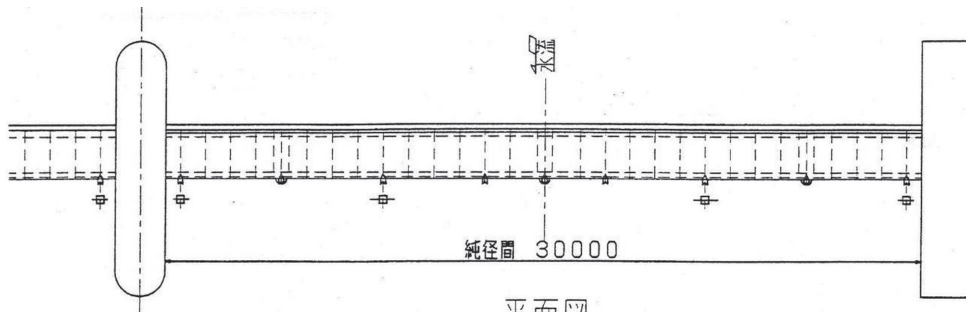
横主桁式鋼製起伏ゲート 設計計算例

(扉高 3.0m, 純径間 30.0m)

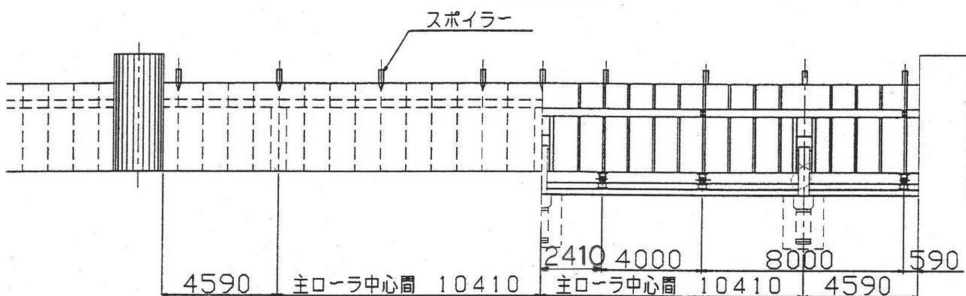
1. 設計条件

(1) 形 式	横主桁式鋼製起伏ゲート
(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	油圧シリンダ扉体背面支持方式
(11) 起 立 時 間	20 min/1 門
(12) 操 作 方 式	機側操作
(13) 起 立 角 度	60°
(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：接水面に対して 1 mm 扉体内面に対して 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。

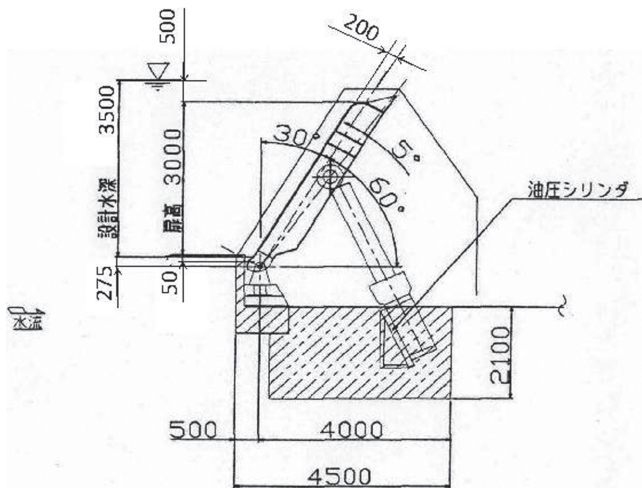
2. 基本図



平面図



正面図



側面図

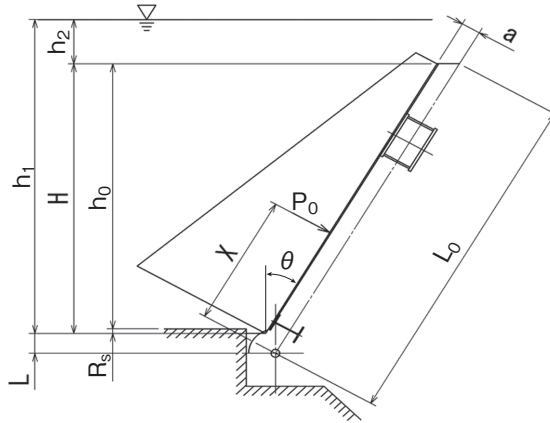
3. 設計荷重

扉体に作用する荷重計算は、起立時（起立角 $60^\circ =$ 倒伏角 30° ）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



$$P_0 = \frac{1}{2 \cdot \cos \theta} \cdot W_0 \cdot (h_1^2 - h_2^2) \cdot B$$

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_1 : 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_2 : 越流水深 0.500 m

θ : 倒伏角 30°

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 1.463 m

L : 扉体下部水密線から回転軸中心までの距離 0.225 m

L_0 : 扉体長さ $\frac{H + L}{\cos \theta} = \frac{3.050 + 0.225}{\cos 30^\circ} =$ 3.782 m

R_s : 上流側河床高から下部水密線までの距離 0.050 m

a : スキンプレート面から軸中心までの距離 0.200 m

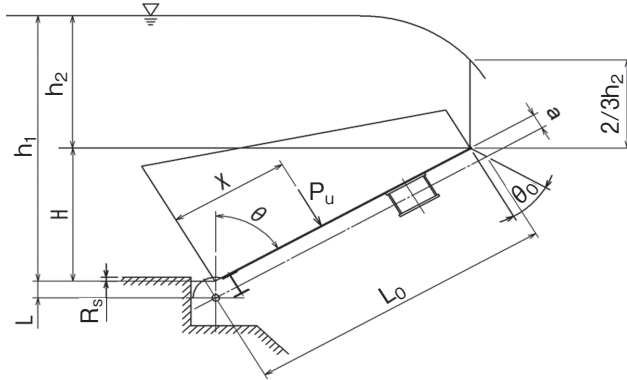
$$P_0 = \frac{1}{2 \times \cos 30^\circ} \times 9.807 \times (3.550^2 - 0.500^2) \times 30.000$$

$$= 2098.223 \text{ kN}$$

作用点距離

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{H \cdot (h_1 + 2h_2)}{3 \cdot \cos \theta \cdot (h_1 + h_2)} + \left[\frac{L}{\cos \theta} - a \cdot \tan \theta \right] \\
 &= \frac{3.050 \times (3.550 + 2 \times 0.500)}{3 \times \cos 30^\circ \times (3.550 + 0.500)} + \left[\frac{0.225}{\cos 30^\circ} - 0.200 \times \tan 30^\circ \right] \\
 &= 1.463 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2) 半開時



$$P_u = \frac{1}{2 \cdot \cos \theta} \cdot W_o \cdot \left(h_1 + \frac{2}{3} \cdot h_2 \right) \cdot H \cdot B$$

ここに、 P_u : 半開時静水圧荷重 kN H : 受圧高 1.781 m

$$\begin{aligned}
 H &= \left\{ L_0 - \left[\frac{L}{\cos \theta} - a \cdot \tan \theta \right] - a \cdot \tan \theta_0 \right\} \cdot \cos \theta \\
 &= \left\{ 3.782 - \left[\frac{0.225}{\cos 60^\circ} - 0.200 \times \tan 60^\circ \right] - 0.200 \times \tan 30^\circ \right\} \times \cos 60^\circ \\
 &= 1.781 \text{ m}
 \end{aligned}$$

 h_2 : 越流水深 ($h_1 - H$) 1.769 m θ : 鋼製起伏ゲート倒伏角 60° θ_0 : 全起立時倒伏角 30° X : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.587 m

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{1}{2 \times \cos 60^\circ} \times 9.807 \times (3.550 + \frac{2}{3} \times 1.769) \times 1.781 \times 30.000 \\
 &= 2478.114 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

$$h_e = \frac{K \cdot \tau}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{g \cdot h_1}$$

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/s²

h_1 : 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

$$H_e = h_1 + h_e \quad (\text{SM400})$$

ここに, H_e : 地震時静水深 m

h_e : 地震時波浪高 0.225 m

$$H_e = 3.550 + 0.225$$

$$= 3.775 \text{ m}$$

$$h_e' = h_2 + h_e$$

ここに, h_e' : 地震時静流水深 m

$$h_e' = 0.5 + 0.225$$

$$= 0.725 \text{ m}$$

(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

$$P_{es} = \frac{1}{2 \times \cos 30^\circ} \times 9.807 \times (3.775^2 - 0.725^2) \times 30.000$$

$$= 2331.359 \text{ kN}$$

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。

$$P_{ed} = \frac{7}{12} \cdot W_o \cdot K \cdot \sqrt{h_1} \cdot (h_1^{3/2} - h_2^{3/2}) \cdot B$$

ここに、 P_{ed} ：地震時動水圧荷重 kN

h_1 ：水面から基礎地盤までの水深 3.550 m

$$\begin{aligned} P_{ed} &= \frac{7}{12} \times 9.807 \times 0.24 \times \sqrt{3.550} \times (3.550^{3/2} - 0.500^{3/2}) \times 30.000 \\ &= 491.651 \text{ kN} \end{aligned}$$

合計荷重

$$\begin{aligned} P_e &= P_{es} + P_{ed} \\ &= 2331.359 + 491.651 \\ &= 2823.01 \end{aligned}$$

2) 半開時

地震時静水圧荷重

$$P_{es} = \frac{1}{2 \cos \theta} \cdot W_o \cdot (H_e + \frac{2}{3} \cdot h_e') \cdot H \cdot B$$

ここに、 H ：受圧高 1.781 m

h_e' ：地震時越流水深 ($H_e - H$) 1.994 m

$$\begin{aligned} P_{es} &= \frac{1}{2 \times \cos 60^\circ} \times 9.807 \times (3.775 + \frac{2}{3} \times 1.994) \times 1.781 \times 30.000 \\ &= 2674.609 \text{ kN} \end{aligned}$$

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。

$$P_{ed} = \frac{7}{12} \cdot W_o \cdot K \cdot \sqrt{h_1} \cdot (h_1^{3/2} - h_2^{3/2}) \cdot B$$

$$= \frac{7}{12} \times 9.807 \times 0.24 \times \sqrt{3.550} \times (3.550^{3/2} - 1.769^{3/2}) \times 30.000$$

$$= 336.493 \text{ kN}$$

合計荷重

$$\begin{aligned} P_e &= P_{es} + P_{ed} \\ &= 2674.609 + 336.493 \\ &= 3011.102 \end{aligned}$$

(5) 扉体自重 (3.1(2)より)

1) 起立時

$$P_g = 165.000 \text{ kN}$$

2) 半開時

$$P_g = 285.788 \text{ kN}$$

(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 330 kN

θ ：倒伏角 30°

$$P_{eg} = 330 \times 0.24 \times \cos 30^\circ$$

$$= 68.589 \text{ kN}$$

2) 半開時

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

ここに、 θ ：倒伏角 60°

$$P_{eg} = 330 \times 0.24 \times \cos 60^\circ$$

$$= 39.600 \text{ kN}$$

(7) 地震時荷重集計

	起立時 (kN)	半開時 (kN)
静水圧	2331.359	2674.609
地震時動水圧	491.651	336.493
扉体自重	165.000	285.788
地震時慣性力	68.589	39.600
合計	3056.599	3336.490

3.3 常時と地震時の比較

地震時の許容応力度を50%増とし、常時への換算を行う。

	起立時 (kN)	半開時 (kN)
常時	2263.223	2763.902
地震時	3056.599	3336.490
地震時 /1.5	2037.733	2224.327

常時と地震時の比較の結果、常時荷重が大きいため以下、常時荷重にて計算を行う。

4. 回転モーメント

4.1 起立時回転モーメント

(1) 水圧による回転モーメント

$$M_1 = P_O \cdot X_O$$

ここに、 P_0 : 起立時静水圧荷重 2098.223 kN

X_0 : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.463 m

$$M_1 = 2098.223 \times 1.463$$

$$= 3069.700 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (2) 自重による回転モーメント

$$M_2 = W_g \cdot \sin \theta \cdot X_g$$

ここに、 W_g : 扉体自重 330 kN

θ : 倒伏角 30°

X_g : 回転軸中心から扉体自重の作用点までの距離 2.000 m

$$M_2 = 330 \times \sin 30^\circ \times 2.000$$

$$= 330.000 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (3) 軸受の摩擦抵抗モーメント

$$M_3 = \mu \cdot (P_0 + W_g \cdot \sin \theta) \cdot r$$

ここに、 μ : ブッシュとピンのすべり摩擦係数 0.2

r : ピン半径 0.045 m

$$M_3 = 0.2 \times (2098.223 + 330 \times \sin 30^\circ) \times 0.045$$

$$= 20.369 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (4) 下部水密ゴム摩擦抵抗モーメント

$$M_4 = \mu_0 \cdot (q + P \cdot b_1) \cdot B \cdot r_0$$

ここに、 μ_0 : 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 : 下部ゴムの作用水圧

$$P = W_0 \cdot h_1 = 9.807 \times 3.550 = 34.815 \text{ kN/m}^2$$

B : 受圧幅 30.000 m

r_0 : 接触半径 0.275 m

b_1 : 下部ゴム接触幅 0.020 m

W_0 : 水の単位体積重量 9.807 kN/m³

$$M_4 = 0.7 \times (0.490 + 34.815 \times 0.02) \times 30.000 \times 0.275$$

$$= 6.851 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (5) 側部ゴム摩擦抵抗モーメント

$$M_5 = 2 \cdot \mu_0 \cdot (q + P \cdot b_2) \cdot \ell \cdot R$$

ここに、 P : 作用平均水圧

$$P = \frac{P_0}{B \cdot \ell} = \frac{2098.223}{30.000 \times 3.522} = 19.858 \text{ kN/m}^2$$

ℓ : 扉体の水密長

$$\ell = \frac{H}{\cos \theta} = \frac{3.050}{\cos 30^\circ} = 3.522 \text{ m}$$

H : 受圧高	3.050 m
R : 接触平均半径	1.905 m
b ₂ : 側部ゴム接触幅	0.040 m

$$M_5 = 2 \times 0.7 \times (0.49 + 19.858 \times 0.04) \times 3.522 \times 1.905$$

$$= 12.064 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(6) 合計モーメント

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$

$$= 3069.7 + 330.000 + 20.369 + 6.851 + 12.064$$

$$= 3438.984 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.2 半開時回転モーメント

(1) 水圧による回転モーメント

$$M_1 = P_u \cdot X_u$$

ここに、 P_u : 起立時静水圧荷重 2478.114kN
 X_u : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.587m

$$M_1 = 2478.114 \times 1.587$$

$$= 3932.767 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 自重による回転モーメント

$$M_2 = W_g \cdot \sin \theta \cdot X_g$$

ここに、 θ : 倒伏角 60°

$$M_2 = 330 \times \sin 60^\circ \times 2.000 = 571.577 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 軸受の摩擦抵抗モーメント

$$M_3 = \mu \cdot (P_0 + W_g \cdot \sin \theta) \cdot r$$

$$= 0.2 \times (2478.114 + 330 \times \sin 60^\circ) \times 0.045$$

$$= 24.875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(4) 下部水密ゴム摩擦抵抗モーメント

$$M_4 = \mu_0 \cdot (q + P \cdot b_1) \cdot B \cdot r_0$$

$$= 0.7 \times (0.490 + 34.815 \times 0.02) \times 30.000 \times 0.275$$

$$= 6.851 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(5) 側部ゴム摩擦抵抗モーメント

$$M_5 = 2 \cdot \mu_0 \cdot (q + P \cdot b_2) \cdot \ell \cdot R$$

ここに、 P : 作用平均水圧

$$P = \frac{P_u}{B \cdot \ell} = \frac{2478.114}{30.000 \times 3.562} = 23.190 \text{ kN/m}$$

ℓ : 扉体の水密長

$$\ell = \frac{H}{\cos \theta} = \frac{1.781}{\cos 60^\circ} = 3.562 \text{ m}$$

H : 受圧高 1.781 m

R : 接触平均半径 1.885 m

$$M_5 = 2 \times 0.7 \times (0.490 + 23.190 \times 0.04) \times 3.562 \times 1.885$$

$$= 13.326 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(6) 合計モーメント

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$

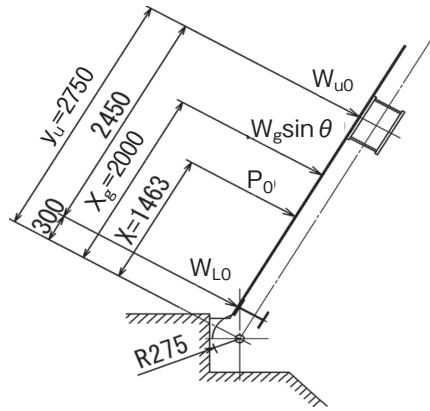
$$= 3932.767 + 571.577 + 24.875 + 6.851 + 13.326$$

$$= 4549.396 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

5. 主 桁

5.1 起 伏 時

(1) 配 置



(2) 主桁の作用荷重

1) 上 部 桁

$$W_{u0} = \frac{P_O \cdot X + W_g \cdot \sin \theta \cdot X_g}{y_u}$$

ここに, P_O : 静水圧荷重 2098.223 kN

X : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.463 m

W_g : 扉体自重 330 kN

θ : 倒伏角 30°

X_g : 回転軸中心から扉体自重の作用点までの距離 2.000 m

y_u : 回転軸中心から上部桁までの距離 2.750 m

$$W_{u0} = \frac{2098.223 \times 1.463 + 330 \times \sin 30^\circ \times 2.000}{2.750}$$

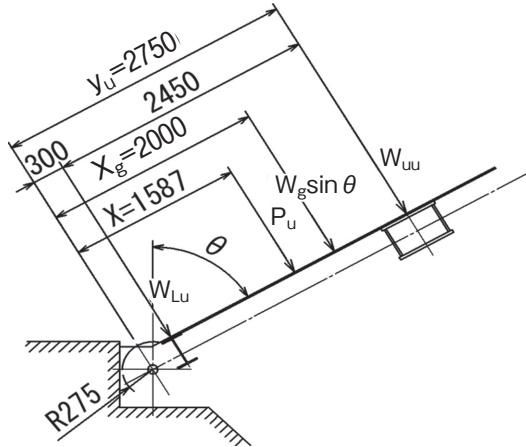
$$= 1236.255 \text{ kN}$$

2) 下部桁

$$\begin{aligned}
 W_{LO} &= P_O + W_g \cdot \sin \theta - W_{uo} \\
 &= 2098.223 + 330 \times \sin 30^\circ - 1236.255 \\
 &= 1026.968 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.2 半開時

(1) 配置



(2) 主桁の作用荷重

1) 上部桁

$$W_{uu} = \frac{P_u \cdot X + W_g \cdot \sin \theta \cdot X_g}{y_u}$$

ここに、 P_u : 静水圧荷重 2478.114 kN
 X : 回転軸中心から全水圧の作用点までの距離 1.587 m
 θ : 倒伏角 60°

$$W_{uu} = \frac{2478.114 \times 1.587 + 330 \times \sin 60^\circ \times 2.000}{2.750}$$

$$= 1637.943 \text{ kN}$$

2) 下部桁

$$\begin{aligned}
 W_{Lu} &= P_u + W_g \cdot \sin \theta - W_{uu} \\
 &= 2478.114 + 330 \times \sin 60^\circ - 1637.943 \\
 &= 1125.959 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

※以降の計算は、荷重の大なる半開時にて行う。

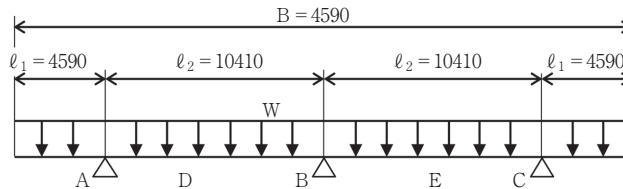
5.3 主桁の強度

(1) 上部桁

桁の配置は主ローラ部の支点反力が等しくなる次頁の配置とする。

$$\ell_1 = 0.153 \cdot B = 0.153 \times 30.000 = 4.590 \text{ m}$$

$$\ell_2 = 0.347 \cdot B = 0.347 \times 30.000 = 10.410 \text{ m}$$



$$W = \frac{W_{uu}}{B} = \frac{1637.943}{30.000} = 54.598 \text{ kN/m}$$

1) 支点反力

$$R_A = R_B = R_C = \frac{W_{uu}}{3} = \frac{1637.943}{3} = 545.981 \text{ kN}$$

2) 曲げモーメント

$$M_A = M_C = \frac{W \cdot (0.153 \cdot B)^2}{2} = \frac{54.598 \times (0.153 \times 30.000)^2}{2}$$

$$= 575.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_B = 0.786 \cdot M_A$$

$$= 0.786 \times 575.138 = 452.058 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_D = M_E = 0.393 \cdot M_A$$

$$= 0.393 \times 575.138 = 226.029 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max} = 575.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

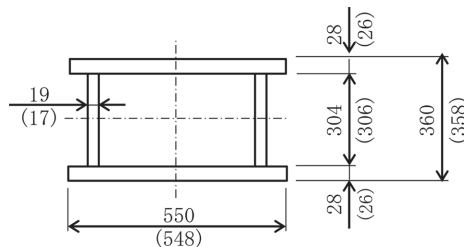
3) せん断力

$$S_{\max} = 0.181 \cdot W \cdot B$$

$$= 0.181 \times 54.598 \times 30.000$$

$$= 296.467 \text{ kN}$$

4) 断面性能



$$I = 86802 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Z = 4849 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 389.00 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{web}} = 104.04 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

5) 曲げ応力度およびせん断応力度

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{575.138 \times 10^6}{4849 \times 10^3}$$

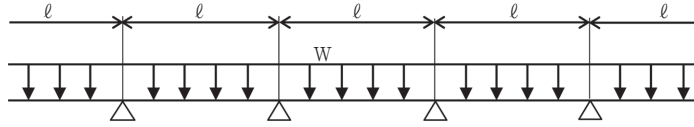
$$= 119 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A_{\text{web}}} = \frac{296.467 \times 10^3}{104.04 \times 10^2}$$

$$= 28 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

(2) 下部桁

下部桁は支承間を等間隔とし、無限連続梁として計算する。



$$W = \frac{W_{Lu}}{B} = \frac{1125.959}{30.000} = 37.532 \text{ kN/m}$$

1) 曲げモーメントおよびせん断力

$$M_{\max} = \frac{W \cdot \ell^2}{12}$$

$$= \frac{37.532 \times 4.000^2}{12}$$

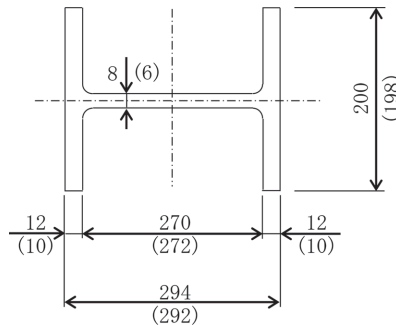
$$= 50.043 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S_{\max} = \frac{W \cdot \ell}{2}$$

$$= \frac{37.532 \times 4.000}{2}$$

$$= 75.064 \text{ kN}$$

2) 断面性能



H形鋼 H294×200×8/12

$$I = 8882 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Z = 608.4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 55.92 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{web}} = 16.32 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

3) 曲げ応力度およびせん断応力度

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{50.043 \times 10^6}{608.4 \times 10^3}$$

$$= 82 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SS400})$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A_{\text{web}}} = \frac{75.064 \times 10^3}{16.32 \times 10^2}$$

$$= 46 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SS400})$$

(3) たわみ度

たわみは、起立時の水圧荷重より決定する。

1) 上部桁

$$\delta = \frac{W_{uo}/B \cdot \ell_2^2}{384 \cdot E \cdot I} (2 \cdot \ell_2^2 - 6 \cdot \ell_1^2)$$

ここに、 W_{uo} ：起立時上部桁作用荷重 1236.255 kN

W_{Lo} ：起立時下部桁作用荷重 1026.968 kN

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1236255/30000 \times 10410^2}{384 \times 0.206 \times 10^6 \times 86802 \times 10^4} (2 \times 10410^2 - 6 \times 4590^2) \\ &= 5.875 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{\delta}{\ell_2} = \frac{5.875}{10410} = \frac{1}{1772} < \frac{1}{800}$$

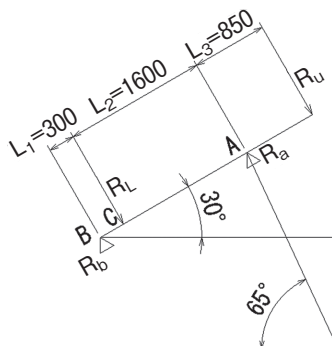
2) 下部桁

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{W_{Lo}/B \cdot \ell^4}{384 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{1026968/30000 \times 4000^4}{384 \times 0.206 \times 10^6 \times 8882 \times 10^4} \\ &= 1.247 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{\delta}{\ell} = \frac{1.247}{4000} = \frac{1}{3208} < \frac{1}{800}$$

6. 縦桁

縦桁は、上部主桁および下部主桁の作用荷重を油圧シリンダと支承部で支持された梁として計算する。



(1) 作用荷重

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{W_{uu}}{3} \\ &= \frac{1637.943}{3} = 545.981 \text{ kN} \end{aligned}$$

ここに、 W_{uu} : 上部桁作用荷重	1637.943 kN
W_{Lu} : 下部桁作用荷重	1125.959 kN
ℓ : 支承間 (距離)	4.000 m
B : 受圧幅	30.000 m

$$R_L = \frac{W_{Lu} \cdot \ell}{B}$$

$$= \frac{1125.959 \times 4.000}{30.000} = 150.128 \text{ kN}$$

(2) 支点反力

$$R_a = R_u + R_L - R_b$$

$$= 545.981 + 150.128 - (-117.831) = 813.940 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{1}{L_1 + L_2} \times (L_2 \cdot R_L - L_3 \cdot R_u)$$

$$= \frac{1}{0.300 + 1.600} \times (1.600 \times 150.128 - 0.850 \times 545.981)$$

$$= -117.831 \text{ kN}$$

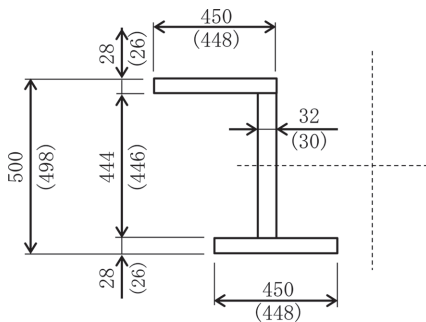
(3) 曲げモーメントおよびせん断力

$$M_A = R_u \cdot L_3 = 545.981 \times 0.850 = 464.084 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_C = R_b \cdot L_1 = -117.831 \times 0.300 = -35.349 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = R_u = 545.981 \text{ kN}$$

(4) 断面性能



$$I = 152060 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Z = 6107 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 366.76 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A_{web} = 133.8 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(5) 曲げ応力度

$$\sigma = \frac{M_A}{2 \cdot Z} = \frac{464.084 \times 10^6}{2 \times 6107 \times 10^3}$$

$$= 38 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

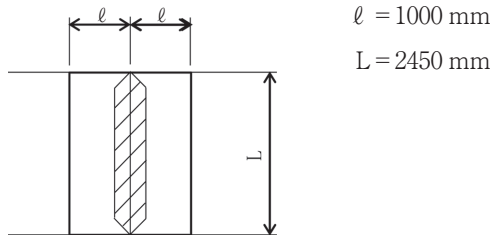
(6) せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{2 \cdot A_{web}} = \frac{545.981 \times 10^3}{2 \times 133.8 \times 10^2}$$

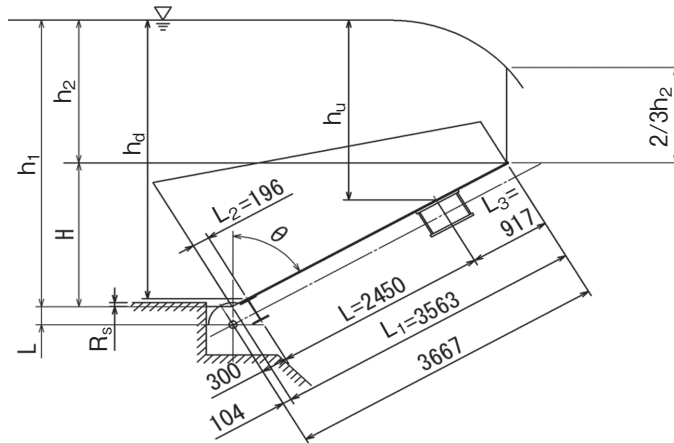
$$= 20 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

7. 補助縦桁

補助縦桁は、上下桁で支持された単純梁として計算する。



(1) 曲げモーメント



$$M = \frac{q \cdot l}{24} (3 \cdot L^2 - l^2)$$

ここに、 h_d : 下部主桁位置の水深 m

$$\begin{aligned} h_d &= h_1 - \left(h_1 - \frac{2}{3} h_2 \right) \cdot \frac{L_2}{L_1} \\ &= 3.550 - \left(3.550 - \frac{2}{3} \times 1.769 \right) \times \frac{0.196}{3.563} \\ &= 3.420 \text{ m} \end{aligned}$$

h_u : 上部主桁位置の水深

$$\begin{aligned} h_u &= h_1 - \left(h_1 - \frac{2}{3} h_2 \right) \cdot \frac{L_2 + L}{L_1} \\ &= 3.550 - \left(3.550 - \frac{2}{3} \times 1.769 \right) \times \frac{(0.196 + 2.450)}{3.563} \\ &= 1.789 \text{ m} \end{aligned}$$

q : 平均水圧

$$\begin{aligned} q &= \frac{(h_d + h_u)}{2} \cdot W_0 = \frac{(3.420 + 1.789)}{2} \times 9.807 \\ &= 25.542 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$M = \frac{25.542 \times 1.000}{24} \times (3 \times 2.450^2 - 1.000^2)$$

$$= 18.100 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

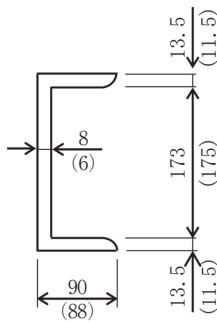
(2) せん断力

$$S = \frac{q \cdot \ell}{2} \left(L - \frac{\ell}{2} \right)$$

$$S = \frac{25.542 \times 1.000}{2} \times \left(2.450 - \frac{1.000}{2} \right)$$

$$= 24.903 \text{ kN}$$

(3) 断面性能



溝形鋼 C200×90×8/13.5

$$I = 2030 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Z = 205 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 30.74 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{web}} = 10.50 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(4) 曲げ応力度

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{18.100 \times 10^6}{205 \times 10^3}$$

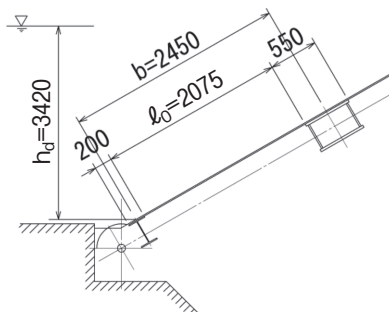
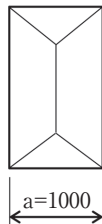
$$= 88 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SS400})$$

(5) せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{A_{\text{web}}} = \frac{24.903 \times 10^3}{10.50 \times 10^2}$$

$$= 24 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SS400})$$

8. スキンプレート



$$\frac{\ell}{L} = \frac{1000}{2450} = 0.408$$

∴ 適用区分①とする。

計算辺長

$$a = \ell = 1000 \text{ mm}$$

$$b = L = 2450 \text{ mm}$$

応力補正係数

$$\sigma_1 \text{ に対し } 0.8$$

$$\sigma = \frac{k \cdot a^2 \cdot P}{100 \cdot (t - \varepsilon)^2} \cdot 0.8$$

ここに、 P : 作用水圧 33,540 N/m² (= 3.420 × 9.807)

a : 区画の短辺 1000 mm

b : 区画の長辺 2450 mm

k : b/a により定まる定数

$$b/a = 2.45 \quad k = 50.0$$

t : 使用板厚 14 mm

ε : 余裕厚 3 mm

$$\sigma = \frac{50.0 \times 1000^2 \times 33,540 \times 10^{-3}}{100 \times (14 - 3)^2} \times 0.8$$

$$= 111 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

9. 主ローラ

(1) 接触応力度

$$\sigma = 0.591 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E_1 \cdot E_2}{B_0 \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}}$$

ここに、 σ : ヘルツの接触応力度 N/mm²

P : ローラの作用荷重

$$P = \frac{R_a}{\cos \alpha} = \frac{813,940}{\cos 5^\circ} = 817,049 \text{ kN} = 817,049 \text{ N}$$

R_a : 縦桁における上部主桁の作用荷重 (6.(2)参照)

α : 倒伏時の扉体法線と油圧シリンダのなす角度 (6.(2)参照)

E₁ : ローラの弾性係数 20.6 × 10⁴ N/mm²

E₂ : ローラの踏面板の弾性係数 20.6 × 10⁴ N/mm²

R : ローラ半径 220 mm

C : 接触幅の半分 mm

Z : 最大せん断応力度が発生する深さ mm

B₀ : ローラ有効踏面板幅 215 mm

H_B : ローラのブリネル硬さ 250 N/mm²とする。

$$\sigma = 0.59 \times \sqrt{\frac{817,049 \times 206,000 \times 206,000}{215 \times 220 \times (206,000 + 206,000)}}$$

$$= 788 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 943 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{9.807}{2 \cdot \nu} \cdot H_B = \frac{9.807}{2 \times 1.3} \times 250 = 943 \text{ N/mm}^2$$

$$C = 1.08 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}{B_0 \cdot E_1 \cdot E_2}}$$

$$= 1.08 \times \sqrt{\frac{817049 \times 220 \times (206000 + 206000)}{215 \times 206000 \times 206000}}$$

$$= 3.077 \text{ mm}$$

$$Z = 0.78 \cdot C$$

$$= 0.78 \times 3.077 = 2.40 \text{ mm}$$

ラム側の支圧板厚は、 $t = 4 \cdot Z$ 以上とする。

$$t = 4 \cdot Z$$

$$= 4 \times 2.40 = 9.60 \text{ mm}$$

(2) ブッシュ面圧

$$\sigma = \frac{P}{d \cdot \ell}$$

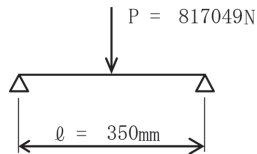
ここに、 P : 作用荷重 kN

d : ローラ軸径 240 mm

ℓ : ブッシュ幅 215 mm

$$\sigma = \frac{817049}{240 \times 215} = 16 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 23 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{無給油軸受})$$

(3) ローラ軸



1) 曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot \ell}{4}$$

$$= \frac{817.049 \times 0.35}{4} = 71.492 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) せん断力

$$S = \frac{P}{2}$$

$$= \frac{817.049}{2} = 408.525 \text{ kN}$$

3) 曲げ応力度

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

$$= \frac{71.492 \times 10^6}{\frac{\pi \times 240^3}{32}} = 53 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SUS304})$$

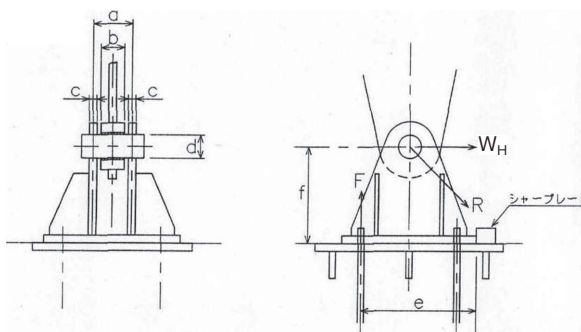
4) せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{A} \cdot \frac{4}{3}$$

$$= \frac{408.525 \times 10^3}{\frac{\pi \times 120^2}{4}} \times \frac{4}{3} = 48 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 60 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SUS304})$$

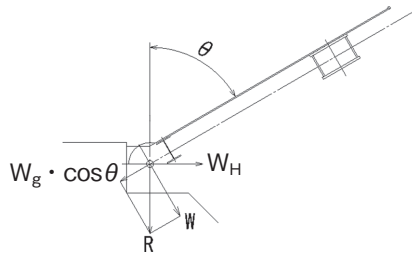
10. 支承部の強度

10.1 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	140 mm
	b : 回転側軸受ボス幅	80 mm
	c : 支承ブラケット受幅	16 mm
	d : 支承ピン径	90 mm
	e : アンカーボルト距離	440 mm
	f : 支承ピン高さ	375 mm

10.2 支承部作用荷重



- (1) 支承ピンに作用する最大荷重（半開時）

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

ここに、 W ：最大水平作用時の支承ピッチ間の下部主桁作用荷重

$$W = \frac{W_{Lu}}{B} \cdot \ell = \frac{1125.959}{30} \times 4.000 = 150.128 \text{ kN}$$

W_g ：支承ピッチ間の扉体自重

$$W_g = \frac{330}{30} \times 4.000 = 44.000 \text{ kN}$$

θ ：倒伏角 60°

$$R = \sqrt{150.128^2 + (44.000 \times \cos 60^\circ)^2} = 151.731 \text{ kN}$$

支承ピン荷重は $152 \text{ kN} = 152000 \text{ N}$ として以下計算する。

- (2) 最大水平作用水圧荷重（全起立時）

$$W_H = W' \cdot \cos \theta$$

ここに、 W' ：起立時の支承ピッチ間の下部主桁作用荷重

$$W' = \frac{W_{Lo}}{B} \cdot \ell = \frac{1026.968}{30} \times 4.000 = 136.929 \text{ kN}$$

θ ：倒伏角 30°

$$W_H = 136.929 \times \cos 30^\circ = 118.584 \text{ kN}$$

10.3 支承ピンの強度

- (1) 支承ピンの断面性能

- 1) 断面積

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 90^2}{4} = 6362 \text{ mm}^2$$

- 2) 断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \times 90^3}{32} = 71569 \text{ mm}^3$$

(2) 支承ピンの応力度

材質SUS304

1) 曲げ応力度

曲げモーメント

$$M = \frac{R \cdot a}{4} = \frac{151.731 \times 10^3 \times 140}{4} = 5310585 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

曲げ応力度

$$\sigma_d = \frac{M}{Z} = \frac{5310585}{71569} = 74 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{all} = 100 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SUS304})$$

2) せん断応力度

$$\tau_d = \frac{4}{3} \times \frac{R}{2A} = \frac{4}{3} \times \frac{151.731 \times 10^3}{2 \times 6362} = 16 \text{ N/mm}^2 < \tau_{all} = 60 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SUS304})$$

10.4 ブッシュの面圧

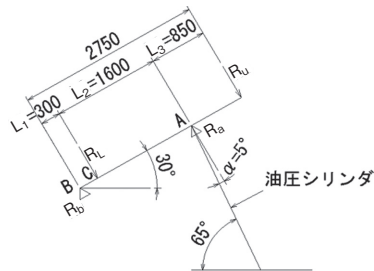
$$P_{cd} = \frac{R}{b \cdot d} = \frac{151.731 \times 10^3}{80 \times 90} = 21 \text{ N/mm}^2 < P_{c,all} = 23 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{無給油軸受})$$

10.5 軸受ブラケットの支圧応力

$$\sigma_{cc} = \frac{R}{2 \cdot c \cdot d} = \frac{151.731 \times 10^3}{2 \times 16 \times 90} = 53 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,all} = 180 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

11. 油圧シリンダ

11.1 油圧シリンダに作用する荷重



$$F_s = \frac{M}{n \cdot \cos a \cdot (L_1 + L_2)}$$

ここに、
 M : 半開時の回転モーメントの合計 4549.396 kN・m
 n : シリンダ本数 3本
 a : シリンダ傾斜角度 5°

$$F_s = \frac{4549.396 \times 10^3}{3 \times \cos 5^\circ \times (0.300 + 1.600)} = 801188.41 \text{ 3N}$$

11.2 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（ゲート用開閉装置（油圧式）設計要領 10.8 MPa
第3章3-1-3表3.1.3-1より 定格圧力14Mpaとしての目安）

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \times 801188.413}{10.8 \times \pi}} = 307 \text{ mm}$$

∴ $\phi 320$ とする。

11.3 油圧シリンダの強度

(1) 油圧シリンダの円周方向応力

$$\sigma = \frac{P_0 \cdot D_0}{2 \cdot t}$$

ここに、 P_0 ：定格圧力 14.0 MPa

t ：シリンダチューブ肉厚 36 mm

$$\sigma = \frac{14.0 \times 320}{2 \times 36} = 62 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = \frac{400}{5} \times 0.95 = 76 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{SM400})$$

11.4 所要油量

$$v = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S_t$$

ここに、 n ：シリンダ本数 3本

S_t ：シリンダストローク 1900 mm

$$v = 3 \times \frac{\pi \times 320^2}{4} \times 1900 \times 10^{-6} = 458 \text{ } \ell$$

11.5 油圧ユニット

(1) 定格吐出量

$$Q_P = \frac{1.1 \cdot v}{t}$$

ここに、 t ：開閉時間 20 min

$$Q_P = \frac{1.1 \times 458}{20} = 25.2 \text{ } \ell / \text{min}$$

(2) 電動機出力

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

ここに、 P_d ：定格圧力 14 MPa

y ：全効率 0.8

$$P_m = \frac{14 \times 25.2}{60 \times 0.8} = 7.4 \text{ kW}$$

∴ $P_m = 7.5 \text{ kW}$ の電動機を使用する

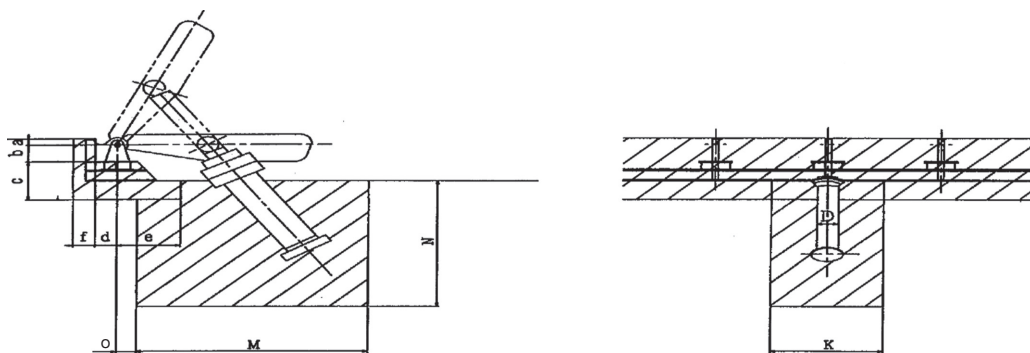
(3) 使用ポンプ

ポンプは次のものを使用する。

- 形式 ベーンポンプ
- 定格圧力 14.0 MPa
- 吐出量 25.2 ℓ/min
- 所要動力 7.5 kW

12. 支承部の標準的箱抜き寸法の例

扉体側にローラを設置する場合で、起伏ゲートの全起立時の角度が60°の場合の油圧シリンダの配置を考慮した箱抜き寸法と支承部の標準的な箱抜き寸法関係例を以下に示す。



検討条件例

- 設計水深 扉高 + 0.5 m (下流側 0 m)
- 使用油圧力 14 MPa
- 扉体, 支承部材質 SM400
- 支承ピン材質 SUS304

a寸法

(単位: mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	150	200	250	300	350	400
20 m	150	200	250	300	350	400
30 m	150	200	250	300	350	400
40 m	150	200	250	300	350	400

b寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	225	300	375	450	525	600
20 m	225	300	375	450	525	600
30 m	225	300	375	450	525	600
40 m	225	300	375	450	525	600

c寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	600	800	1000	1200	1400	1600
20 m	600	800	1000	1200	1400	1600
30 m	600	800	1000	1200	1400	1600
40 m	600	800	1000	1200	1400	1600

d寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	200	250	300	350	400	450
20 m	200	250	300	350	400	450
30 m	200	250	300	350	400	450
40 m	200	250	300	350	400	450

e寸法

(単位：mm)

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

f寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	200	200	200	200	200	200
20 m	200	200	200	200	200	200
30 m	200	200	200	200	200	200
40 m	200	200	200	200	200	200

M寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	3500	3700	3800	4100	4300	4500
20 m	3500	3700	3800	4100	4300	4500
30 m	3500	3700	3800	4100	4300	4500
40 m	3500	3700	3800	4100	4300	4500

N寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	1300	1700	2100	2500	3000	3400
20 m	1300	1700	2100	2500	3000	3400
30 m	1300	1700	2100	2500	3000	3400
40 m	1300	1700	2100	2500	3000	3400

K寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	1300	1400	1500	1500	1600	1700
20 m	1400	1500	1600	1700	1800	1900
30 m	1400	1500	1600	1700	1800	1900
40 m	1400	1500	1600	1700	1800	1900

O寸法

(単位：mm)

扉高 径間	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
10 m	200	200	200	200	200	200
20 m	200	200	200	200	200	200
30 m	200	200	200	200	200	200
40 m	200	200	200	200	200	200