

17.4 設計一般

17.4.1 設計の手順

水門扉の設計手順の概要を下記に示す。

表-17.4-1 設計手順と検討項目

	設計検討項目	検討内容
基本設計時	施設の基本条件の設定	設計水位、放流、取水量、水質、堆砂量
	水門扉の基本諸元の設定	水門扉設備の構成、門数、寸法
	操作・制御管理法の設定	操作・制御方式
	水門扉形式の選定、保守点検の設定	扉体、戸当り、開閉装置
	土木構造物の形状決定	堰柱・門柱、床板、開閉装置室
	保守・点検方法の設定	ゲート設備、付属機器等
	設計条件・仕様の決定	設計・操作水位、堆砂高、水質、設計荷重、門数、型式、寸法、揚程、開閉速度、操作方法、材質、輸送、据付、塗装等
実施設計時	水門扉基本形状の決定	扉体断面、水密部、戸溝・箱抜寸法
	操作条件の決定	最小開度、水位と扉体の関係
	部材配置の設定	桁、ローラ、材質、ブロック割り、扉体概算重量
	設計荷重の計算	扉体荷重、泥圧等
	水理力の計算	全閉・半壊時での上向・下向力
	強度計算	部材配置・板厚の決定、コンクリート強度
	開閉荷重の計算	水理力、摩擦力、扉体重量
	開閉装置の機構の決定	全体配置、機器の仕様
	開閉装置の設計	容量、寸法、材質、強度、重量
	電気設備の設計	動力・制御回路、操作盤、配線、電源設備
	保守点検施設・土木構造部との取合	開口部寸法、埋設材、箱抜
	施工計画	製作、溶接、塗装、輸送、据付、検査
	操作運用維持管理計画	操作手順、点検・整備要領

17.4.2 材料

(1) 材料

水門扉に使用する材料は、設備の目的と設置環境に応じてそれぞれの材料の特性を考慮して選定する。材料は、施設機械工事等共通仕様書及び水門鉄管技術基準等に規定されている。

(2) 材料の特性

ア 溶接構造用鋼材と溶接構造用耐候性鋼材

一般構造用圧延鋼材 (SS) は、鋼板、鋼帯、棒鋼及び形鋼等に最も広く用いられる鋼であるが、この C (炭素) % を下げ Mn (マンガン) % を上げることで強度を確保し溶接性を高めたものが溶接構造用圧延鋼材 (SM) である。

C_r (クロム)、 C_u (銅) などを添加して大気中での腐食に耐える性質、耐候性を高めたものが溶接構造用耐候性鋼材 (SMA) である。SM 材に比べて溶接性はやや低下する。耐候性鋼は大気暴露の初期では普通鋼と同様に腐食が進行するが、安定さびをつくるので数年経過すると腐食は進まなくなる。

イ ステンレス鋼材

ステンレス鋼は、酸化性雰囲気中で表面に緻密なクロム酸化物の皮膜を生じる (不動態化) ことから耐食性の優れた材料である。図-17.4-1 に簡単な分類を示す。

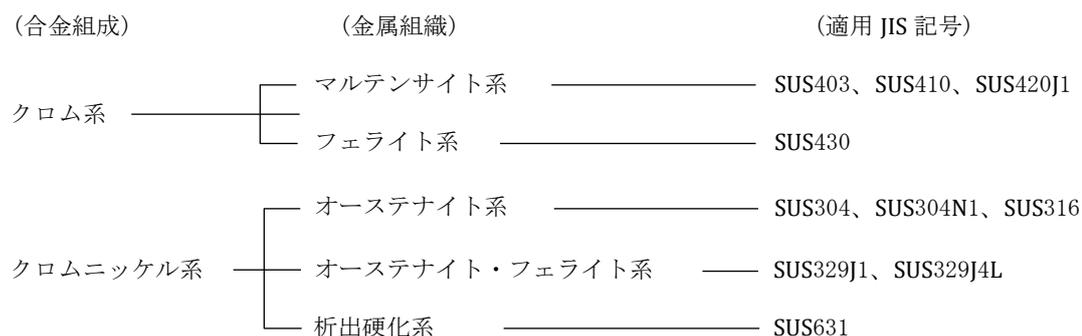


図-17.4-1 ステンレス鋼材分類

ステンレス鋼は JIS の記号に示されるように極めて種類が多いが、水門扉に使用されるものは限られている。耐食性、溶接性に優れた SUS304 は摺動部、金属接触部及び塗装が困難な部分に広く使用されている。強度的に優れている SUS403 は溶接を伴わない軸などに使用される。硬度の高い SUS304N2 などはローラ踏面板に使用される。耐孔食性が良い SUS316 は海水域に、耐粒界腐食性に優れた SUS304L 等の低炭素鋼は溶接後の熱処理を不要とする目的で使用される。

17.4.3 設計荷重

(1) 考慮する設計荷重

扉体の設計に当たっては、扉体重量、静水圧、泥圧、浮力、開閉力、氷圧、津波荷重、地震時動水圧、地震時慣性力、風荷重、雪荷重、温度変化による影響、流水による水圧の変化及びこれに起因する振動による荷重増加を水門扉の用途、種類、据付場所によって組合せ、必要に応じて考慮する。

なお、本技術書は防潮水門等を適用対象外としているため、波圧については適用外としている。

ア 扉体重量

扉体重量は、自重の影響がある場合には考慮する。

イ 静水圧

静水圧は、扉体との接触面に対し垂直に作用するものとし、次式により計算する。

$$P = W_0 \cdot h_0 \dots\dots\dots (17.4-1)$$

ここに、 P : 接触面上の任意の点の静水圧 (kN/m²)

W_0 : 水の単位体積重量 (kN/m³)

h_0 : 扉体の直上流の水位に波浪高を加えた水位から接触面上の任意の点までの水深 (m)

上記の h_0 を計算する場合の波浪高は、下表により算出する。

表-17.4-2 設計水位及び地震による波浪高さを考慮した水位

設計水位		地震による波浪高さを考慮した水位
上流水位	下流水位	
ゲート天端高又はゲート天端高+越流水深	ゲート敷高(河口付近に設置される堰にあつては、下流側の L.W.L)	上流水位については、洪水時以外の常時の管理水位、あるいは平水位時に地震による波浪高さを加算した水位

注：ゲート天端高とは、ゲート全閉時における扉体上端の標高をいう。

表-17.4-3 取水口ゲートにおける設計水位及び地震による波浪高さを考慮した水位

	設計水位		地震による波浪高さを考慮した水位
	外水位	内水位	
取入口ゲート	外水の H. W. L (高潮区間においては計画高潮位)	ゲート敷高	外水については、洪水時以外の常時の管理水位あるいは平水位に地震による波浪高さを加算した水位 内水位については、洪水時以外の常時の管理水位あるいは平水位に地震による波浪高さを減算した水位

地震による波浪高

$$h_e = \frac{k \cdot \tau}{2\pi} \sqrt{g \cdot H} \dots\dots\dots (17.4-2)$$

ここに、 h_e : 地震による波浪高 (半波高) (m)

k : 設計震度

τ : 地震周期 (s)

g : 重力の加速度 (m/s²)

H : 水面より基礎地盤までの水深 (m)

ウ 泥圧

泥圧のうち鉛直力は、堆泥の水中における重量とし、水平力は次式による。

$$P_e = C_e \cdot W_1 \cdot d \dots\dots\dots (17.4-3)$$

ここに、 P_e : 接触面上の任意の点における泥圧の水平力 (kN/m²)

C_e : 泥圧係数 (一般に 0.4~0.7)

- k : 設計震度
- H : 設計水面から基礎地盤までの水深 (m)
(風及び地震による波浪高は含まない)
- h : 水面から動水圧の作用する点までの水深 (m)

また、水深 h_1 から h_2 の間の全動水圧は次のとおりである。

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot W_0 \cdot k \cdot \sqrt{H} \cdot (\sqrt{h_2^3} - \sqrt{h_1^3}) \dots\dots\dots (17.4-6)$$

ここに、 P_d : 全動水圧荷重 (単位幅当たり) (kN/m)
 h_1, h_2 : 水深 (m)

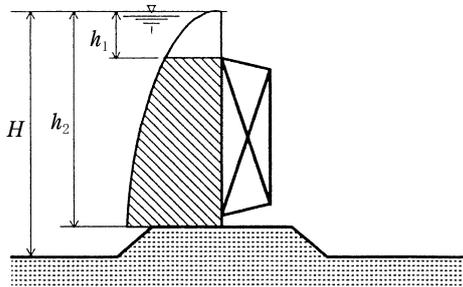


図-17.4-3 地震時全動水圧荷重

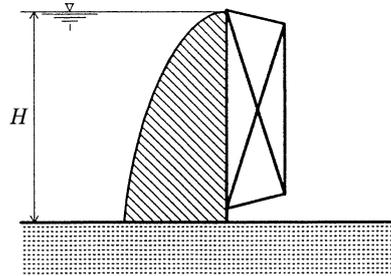


図-17.4-4 地震時全動水圧荷重 ($h_1 = 0, h_2 = H$ の場

特に、 $h_1 = 0, h_2 = H$ の場合、全動水圧荷重は、次のとおりとなる。

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot W_0 \cdot k \cdot \sqrt{H} \cdot (\sqrt{H^3} - 0) = \frac{7}{12} \cdot W_0 \cdot k \cdot H \dots\dots\dots (17.4-7)$$

なお、上流面が斜めの場合にはツァンガ (Zanger) の式を用いる。詳細については鋼構造物計画設計技術指針 (水門扉編) 等を参照のこと。

キ 地震時慣性力

扉体に働く地震時慣性力は、扉体の重量に設計震度を乗じた値とし、水平方向に作用する。

$$I = W \cdot k \dots\dots\dots (17.4-8)$$

ここに、 I : 地震時慣性力 (kN)
 W : 扉体の重量 (kN)
 k : 設計震度

ク 風荷重

風荷重は垂直投影面積に作用するものとして、次の式による。

$$P_w = P \cdot C \cdot A \dots\dots\dots (17.4-9)$$

ここに、 P_w : 風荷重 (kN)
 P : 単位投影面積当たりの風荷重 3 (kN/m²)
 A : 垂直投影面積 (m²)
 C : 形状係数

平面形状に対して 1.2

トラス形状・風上側に対して 1.6

トラス形状・風下側に対して 1.2

円筒形状（1本もの）に対して 0.7

ケ 雪荷重

多雪地域における水門扉の横主桁及び脚柱等では、必要に応じて雪荷重を考慮する。雪荷重は地域によって大幅に異なるが、大体の目安として $3.5 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ 程度である。

$$S_w = P \cdot Z_s \dots\dots\dots (17.4-10)$$

ここに、 S_w : 雪荷重 (kN/m^3)

P : 雪の平均単位重量 (kN/m^3)

Z_s : 設計積雪深 (m)

コ 温度荷重（温度変化による影響）

扉体が拘束されている場合等では、据付時の温度に対して、その後の温度変化による扉体の伸縮による影響を必要に応じて考慮する。

サ 流水による水圧変化

越流水による上・下向力、下流端放流時の上・下向力、扉体内残留水重、水撃圧等は、必要に応じて考慮する。

シ 設計震度

水門扉の設計震度は、基本的には頭首工本体の構造計算に用いる設計震度とするが、水門扉が設置される場所の実状を考慮して定める。

ス 津波荷重

施設画面上、津波の河口からの遡上到達範囲にある頭首工では、静的な水圧荷重に加え、津波が反射、衝突することによって作用する津波荷重を必要に応じて考慮する。なお、津波の遡上到達範囲は、対象とする津波の諸元、河川域、海域の地形条件等に基づき津波遡上シミュレーション等を行って定める必要がある。

津波が頭首工に作用する際に、静水深がある場合には作用津波の状態により a、b、c の式を、静水深がない場合には d の式を適用する事ができる。なお、a、b の式を適用するにあたっては、以下の事項に留意する。

(7) 津波の波圧分の荷重計算式であるため、頭首工前後に常時水位差がある場合は、頭首工前後の水面以下の静水圧分も荷重に加えて評価する必要がある。

(4) a_1 （入射津波の静水面上の高さ）は、頭首工がない状態のシミュレーション結果があれば津波高さ = a_1 とする。頭首工全閉（完全反射）状態の津波遡上シミュレーション結果を用いる場合は、頭首工前面のせりあがり考慮の津波高（最大水位 - 静水位） = $2a_1$ とすることができる。斜め入射や完全反射でないことが明らかな場合は、その影響を考慮することができる。

a 波状段波が発生する場合

波状段波が発生する場合には、津波波力が大きくなるため、これに対応して修正した谷本式（修正谷本式：静水面の無次元波圧強度を 3.0 に割増した谷本式）を波力算定に適用

することができる。防波堤で波状段波波力を考慮する条件は、おおむね入射津波高さが水深の30%以上で、かつ海底勾配が1/100以下程度の遠浅である場合とされている。

静水位上 $\eta^* = 3.0 \cdot a_1$ の高さで $p=0$ 、静水位で $p_1 = 3.0 \cdot \rho_0 g \cdot a_1$ となる直線分布で、静水位以下は、一様な波圧分布とする。

$$\eta^* = 3.0 \cdot a_1 \dots\dots\dots (17.4-11)$$

$$p_1 = 3.0 \cdot \rho_0 g \cdot a_1 \dots\dots\dots (17.4-12)$$

ここに、 η^* ：静水面上の波圧作用高さ (m)

a_1 ：入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

$\rho_0 g$ ：海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 ：静水面における波圧強度 (kN/m²)

b 波状段波が発生しない場合で、かつ越流が発生しない場合

波状段波が発生しない場合で、かつ越流が発生しない場合には、谷本式を適用することができる。

静水圧上 $\eta^* = 3.0 \cdot a_1$ の高さで $p=0$ 、静水圧で $p_1 = 2.2 \cdot \rho_0 g \cdot a_1$ となる直線分布で、静水位以下は、一様な波圧分布とする。

$$\eta^* = 3.0 \cdot a_1 \dots\dots\dots (17.4-13)$$

$$p_1 = 2.2 \cdot \rho_0 g \cdot a_1 \dots\dots\dots (17.4-14)$$

ここに、 η^* ：静水面上の波圧作用高さ (m)

a_1 ：入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

$\rho_0 g$ ：海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 ：静水面における波圧強度 (kN/m²)

c 設計超過津波等により越流が発生する場合

設計超過津波等の作用により、波状段波が発生しない場合で、かつ越流が発生する場合には、ゲート前面と背面に作用する静水圧差を補正した静水圧差による算定式を適用することができる。なお、若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合は、それより水位の低い越流直前の状態に谷本式を適用した方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較の上、適切に適用する必要がある。

$$p_1 = \alpha_f \cdot \rho_0 g \cdot (\eta_f + h') \dots\dots\dots (17.4-15)$$

$$p_2 = (\eta_f - h_c) / (\eta_f + h') \cdot p_1 \dots\dots\dots (17.4-16)$$

$$p_3 = \alpha_r \cdot \rho_0 g \cdot (\eta_r + h') \dots\dots\dots (17.4-17)$$

ここに、 p_1 ：ゲート前面の底面における波圧強度 (kN/m²)

p_2 ：ゲート前面の天端面における波圧強度 (kN/m²)

p_3 ：ゲート背面の底面における波圧強度 (kN/m²)

$\rho_0 g$ ：海水の単位体積重量 (kN/m³)

h' ：ゲートの底面の水深 (m)

h_c ：静水面からゲート天端面までの高さ (m)

η_f ：ゲート前面の静水面からの津波高さ (m)

η_r ：ゲート背面の静水面からの津波高さ (m)

α_f ：ゲート前面の静水圧補正係数

α_r ：ゲート背面の静水圧補正係数

水理模型実験による検証から、ゲート前面の静水圧補正係数 α_f に 1.05、ゲート背面の静水圧補正係数 α_r に 0.9 を使用することができる。

d 河床がドライな状態での河川津波の場合

河床がドライな状態での河川津波の津波荷重は、陸上遡上津波の津波荷重の算定式である榊山の式を適用することができる。

$$\alpha = 1.0 + 1.4Fr \quad (0.0 \leq Fr \leq 2) \dots\dots\dots (17.4-18)$$

$$p_1 = \alpha \cdot \rho_0 g \cdot \eta \max \dots\dots\dots (17.4-19)$$

ここに、 α ：無次元作用高さ

Z_{max} ：作用高さ (m) $= \alpha \cdot \eta \max$

$\eta \max$ ：進行波の最大水位 (m)

Fr ： $\eta \max$ と同時刻の断面水平流速で定義したフルード数

p_1 ：ゲートの底面における波圧強度 (kN/m²)

$\rho_0 g$ ：海水の単位体積重量 (kN/m³)

(2) 荷重の組合せ

荷重は、次の各項の組合せについて考慮する。

ア 地震時以外：扉体重量、静水圧、残留水重、浮力、上下方向力（水理力）、開閉力、泥圧、波圧、温度荷重、水撃圧、風荷重、雪荷重、氷圧、津波荷重

イ 地震時：地震時動水圧、地震時慣性力、扉体重量、静水圧、残留水重、浮力、上下方向力（水理力）、泥圧、波圧、温度荷重、水撃圧、雪荷重、氷圧

表-17.4-4 水門扉に働く荷重の組合せ ○：考慮 △：使用状態によって考慮

荷重	地震時動水圧	地震時慣性力	扉体重量	静水圧	残留水重	浮力	上下方向力	開閉力	泥圧	波圧	温度荷重	水撃圧	風荷重	雪荷重	氷圧	津波荷重
地震時以外			△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
地震時	○	○	△	○	△	△	△		△	△	△	△		△	△	

※津波は頻度の低い現象であり、高潮対策の対象とする外力を同時に考慮しない。また、津波と洪水の同時生起は考慮しない。

17.4.4 材料の許容応力度

水門扉は確実に機能を発揮するよう、応力度、たわみ度及び座屈について照査し、必要な強度と剛性を有することを確認する。

扉体・戸当り・固定部及びスクリーン（スクリーンバーは除く）に用いられる JIS 規格材料の許容応力度は「鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編）」等の関連図書に示す値とする。ただし、水門扉の用途、水位条件、考慮する荷重（状態）によって補正係数や割増係数を乗じた値とする。

許容応力度は、降伏点に対して安全率を 2 とした。なお、安全率には、JIS に規定された板厚公差について考慮したものである。

本項で示す許容応力度は次のとおりである。

(1) 許容応力度の項目

- ア 許容軸方向引張応力度及び許容曲げ引張応力度 (N/mm^2)
- イ 許容軸方向圧縮応力度 (N/mm^2)
 - (ア) 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度 (N/mm^2)
 - (イ) 両縁支持板の局部座屈に対する許容応力度 (N/mm^2)
 - (ウ) 補剛板の局部座屈に対する許容応力度 (N/mm^2)
- ウ 許容曲げ圧縮応力度 (N/mm^2)
- エ 許容せん断応力度及び許容支圧応力度 (N/mm^2)

[参考] 許容応力度の考え方

a 公称応力ひずみ図

荷重の大きさを原断面積で除した応力度を縦軸に、試験片の伸縮量を原長さで除したひずみを横軸にした図に示す応力とひずみとの関係を公称応力ひずみ線図という。一般にこの図をもって材料の機械的性質を示す。下図は、その一例である。

b 降伏点

一般に応力ひずみ図において応力の小さい間は応力とひずみとは比例して増加するが、ある応力に達するとひずみの増加のほうが比例関係にある最大応力度を比例限度という。

比例限度を超える応力を与えるときは、応力のわずかの増加又は増加することなく、ひずみが急激に増加する点に達する。この点の応力度を降伏点という。図の ABC の部分がそれを示す。

c 引張り、圧縮、曲げ応力

許容応力度は降伏点の $1/2$ とする。

d せん断応力度

許容せん断応力度は許容引張応力度の $1/\sqrt{3}$ 倍とする。

e 支圧応力度

許容支圧応力度は許容引張応力度の 1.5 倍とする。

f 両縁支持板の局部座屈に対する許容応力度

圧縮応力を受ける両縁支持板、補剛板、及び自由突出板は、板厚が薄いと局部的な座屈を起こすおそれがあるので、板の幅厚比に注意する。これは、幅厚比の大きい領域では低い応力度の面外たわみや剛度の低下が生じやすいためである。低下の値については関連技術書を参照されたい。

g 補剛板の局部座屈に対する許容応力度

補剛板に使用される板要素は、一般に板厚が薄く溶接による初期変形、残留応力などの初期不整の影響が大きいこと、また補剛材は板の両縁支持条件を満たすほど十分に剛ではないことなどから、補剛板を両縁支持板と同じように扱うのは必ずしも妥当ではない。このようなことから補剛材の必要剛比については関連技術書等を参照されたい。

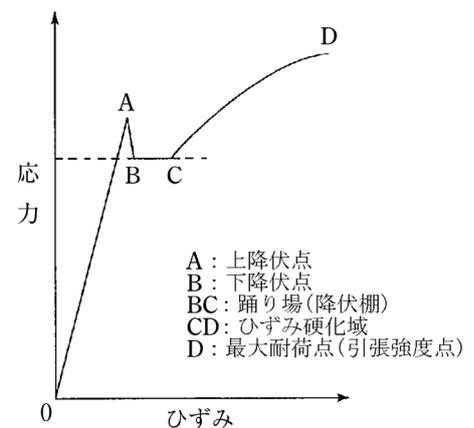


図-17.4-5 応力ひずみ線図

(2) 合成応力度

同方向以外の応力が同時に作用する場合は、その合成応力度を次式により計算し、許容値以内にしなければならない。

ア 一軸方向応力とせん断応力を受ける場合

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (17.4-20)$$

イ 二軸方向応力とせん断応力を受ける場合

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (17.4-21)$$

ここに、 σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

σ_1 : 軸応力度 (引張を正とする) (N/mm²)

σ_2 : σ_1 に直角な方向の軸応力度 (引張を正とする) (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

合成応力度に対する許容値は、次のとおりとする。

常時 : $1.1 \sigma_a$

ここに、 σ_a : 許容引張応力度 (N/mm²)

17.4.5 許容応力度の補正

扉体、戸当り、固定部及び付帯施設に用いる許容応力度は、設備の用途、水位条件によって下表に示す各係数を用いて補正する。

表-17.4-5 許容応力度に乗ずる係数

施設	用途	許容応力度に乗ずる係数
堰・水門等	一般水門 (調節ゲート・制水ゲート・土砂吐きゲート・取水ゲートなど) 魚道用ゲート 閘門用ゲート スクリーン	1.0
	修理用ゲート	1.5
据付架台		1.5

17.4.6 許容応力度の割増

許容応力度は考慮する荷重又は状態によって 17.4.5 項の補正值を考慮し、下表の値を乗じたものとする。

表-17.4-6 許容応力度に乗ずる係数

考慮する荷重 (状態)	割増係数
地震時の荷重	1.5
コンクリート打込み又はグラウト注入圧	1.5

17.4.7 最小板厚及び細長比

(1) 水門扉に使用する主要部材の最小板厚は、余裕高を含み鋼板 6 mm 以上、形鋼では 5 mm 以上とする。

(2) 水門扉に使用する部材の細長比 (l/r) は表-17.4-7 に示す値以下とする。主要部材とは水門扉

の機能を確保するために必要な部材で、これ以外を二次部材とする。トラス部材は主要部材とする。

表-17.4-7 部材の細長比

部 材		細長比 (ℓ/r)
圧縮材	主要部材	120
	二次部材	150
引張材	主要部材	200
	二次部材	240

ここに、 ℓ : 引張部材の場合は骨組長さ、圧縮部材の場合は有効座屈長さ
 r : 部材総断面の断面二次半径

17.4.8 許容たわみ度

(1) 扉体の曲げによるたわみは径間に対して表-17.4-8 に示す値以下とする。径間は、ローラゲートの場合はローラ中心間隔、スライドゲートでは支持間隔、ラジアルゲート及び背面支持方式の起伏ゲートでは主桁の支持間隔とする。小形水門扉とは、扉体面積が 10m² 未満のもの、低圧水門扉とは、設計水深が 25 m 未満のもの、高圧水門扉は設計水深が 25 m 以上のものをいう。

(2) 機械台、開閉装置架台、スクリーン受桁、点検台の梁材のたわみは支点間距離に対して表-17.4-8 に示す値以下とする。

機械台及び開閉装置架台のたわみ度の計算は定格トルク時の荷重によるものとする。

機械台とは開閉装置の構成機器が直接取付られた部分を、開閉装置架台とは開閉装置室の床のような構造部材とする。

(3) たわみ度の算定に用いる設計荷重は地震時以外の荷重とする。

表-17.4-8 許容たわみ度

形 式	許容たわみ度	形 式	許容たわみ度
水 門 扉(ゴム水密)	1/800	修理用ゲート	1/600
小形水門扉(ゴム水密)	1/600	機械台	1/2,000
低圧水門扉(金属水密)	1/1,000	開閉装置架台	1/1,000
高圧水門扉(金属水密)	1/2,000	スクリーン受台	1/600
長径間ローラゲート (シェルタイプ)	1/800(水平、鉛直) 1/600(合成)	点検台等梁材	1/600

17.4.9 余裕厚

(1) 余裕厚とは腐食厚及び摩耗厚を示す。

(2) 水門扉の部材は計算板厚に表-17.4-9 に示す値以上の余裕厚を加える。

表-17.4-9 余裕厚

単位 (mm)

接水条件	常時接水している		常時接水していない	
	片面接水	両面接水	片面接水	両面接水
水 質				
淡 水	1.0	2.0	0.5	1.0
海 水	1.5	3.0	1.0	2.0

- (3) 土砂による摩耗が予想される場合は、使用条件に対応した摩耗厚を考慮する。
- (4) 角落しのように使用頻度が少なく、補修塗装ができるものは余裕厚を見込まなくてもよい。
- (5) ステンレス鋼等の耐食性良好な材料を使用した場合は腐食厚を見込まないものとする。水門扉においてステンレスクラッド鋼を用いる場合はステンレス鋼の厚さは強度に見込まない。

17.4.10 許容面圧

摺動部、回転部の許容面圧は表-17.4-10を標準とする。

表-17.4-10 許容面圧

単位：(N/mm²)

材 料	記 号	摺 動 部		回 転 部		
		摺動時	静止時	扉 体 支承部	開閉装置 軸 受	静止時
青銅鑄物 りん青銅鑄物 鉛青銅鑄物	CAC4〇〇(旧 BC) CAC5〇〇(旧 BC) CAC6〇〇(旧 BC)	6 以下	18 以下	14 以下	6 以下	28 以下
自己潤滑形軸受 (オイルレスメタル)	CAC304(旧 BsC4)	注1)	注1)	23 以下	23 以下	45 以下

注1) 摺動時 23 N/mm²以下、静止時 45 N/mm²以下とすることが多い。

注2) スピンドル式のメタルブッシュの面圧は 4 N/mm²以下とし、個体潤滑剤配合グリスを使用する。なお、スピンドルへの異物付着が少ないなど、設置条件が良く保守管理が容易に行える場合には、最大 6 N/mm²でもよい。また、面圧が 2 N/mm²以下の場合梁チューム系グリスでもよい。

17.4.11 溶接継手効率

水門扉の溶接継手効率は表-17.4-11のとおりとする。

表-17.4-11 溶接継手効率

単位 (%)

区 分		工場溶接	現場溶接
突合せ溶接	溶接全長について試験を行うとき	100	95
	抜き取りで試験を行うとき(注)	95	90
	試験を行わないとき	85	80
すみ肉溶接		95	90

(注) 試験とは放射線透過試験又は超音波探傷試験とする。この場合の検査すべき溶接線長は、主要耐圧部又は主要構造部突合せ継手の全溶接線長の5%以上とし、高圧ゲート、分岐管、新材料はこれを20%以上とする。

17.4.12 摩擦係数

水門扉の摺動部及び回転部の摩擦係数は、表-17.4-12を標準とする。

なお、適用に当たっては関連技術書等を参考にされたい。

表-17.4-12 水門扉の各部の摩擦係数

項 目		摩擦係数
支承部のローラころがり摩擦		1.0
支承部軸受	すべり軸受	0.2
	ころがり軸受 ¹⁾	0.01~0.02
水密ゴムとステンレス鋼とのすべり摩擦 ²⁾	濡れているとき	0.5~0.7
	乾いているとき	0.9~1.2
	摺動面が四フッ化エチレン樹脂・超高分子量ポリエチレン樹脂の場合	0.1
水密部又は支承部金属間のすべり摩擦 ³⁾		0.3~0.6
金属と堆泥のすべり摩擦 ³⁾		0.3~0.5

注 1) ころがり軸受のころがり摩擦係数は、軸受形式等により異なるが、一般的に 0.01 を採用する例が多い。

2) 水密ゴムの摩擦係数は、水密ゴムの材質等により異なるが、一般的に濡れているときは 0.7、乾いているときは、1.2 の値を採用する例が多い。

3) 水密部又は支承部金属間のすべり摩擦係数は、材質、給油の有無及び整備状況等により幅があり、面圧によっても異なるが、一般的な値として 0.4 を採用する例が多い。摺動面の損傷が予想される場合には、0.5 程度を採用することがある。

17.5 開閉装置

17.5.1 開閉荷重

(1) 開閉荷重

ア 開閉荷重は、次の項目を安全側に組合せて計算する。

- (ア) 扉体可動部重量（バラスト等重量を含む）
- (イ) 支承部摩擦力
- (ウ) 水密ゴム摩擦力
- (エ) 堆泥による摩擦力
- (オ) 浮力
- (カ) 上下方向水理力
- (キ) その他の荷重

a 堰等に設置され、長期間水没するゲートの場合は、扉体内部に土砂が堆積するおそれがあるので設置地点の周辺条件に応じて、その荷重を付加する。

b 必要に応じて雪荷重、扉体内残留水の重量、波による荷重等を考慮する。

イ 締切時に押下力を期待できない開閉装置形式（ワイヤロープウインチ式など）の場合、全閉を確実にするための締切力の余裕は全抵抗分の 25%以上とする。締切力が不足する場合は扉体にバラストを添加する。

ウ 扉体重量には、ワイヤロープ、スピンドル及びバラック棒等、扉体と開閉装置を連結するものの自重も含める。ただし、締切力に対しては安全側に考え、扉体に剛結合されたもの以外の連結材の自重は、扉体重量に含めないことが多い。

17.5.2 開閉装置の安全率

(1) 適用範囲

ここで規定する安全率及び許容応力度の適用範囲は次のとおりとする。

- ア 電動機出力軸よりドラムまでの全動力伝達系
 - イ 開閉装置フレーム
 - ウ ワイヤロープ
 - エ 開閉装置側シーブ・シーブ軸・シーブブラケット
 - オ 扉体側シーブ・シーブ軸(ただし、シーブブラケットは含まない)
 - カ ラック及びスピンドル式の場合は、扉体取付けピンから開閉装置フレームまで
 - キ 油圧シリンダの場合は、扉体取付けピンからシリンダ及びシリンダフレーム、架台まで及び油圧配管、油圧ユニット
- (2) 定格トルクに対する安全率

開閉装置に使用する材料の安全率は、使用原動機の定格トルクから算出した応力度が使用材料の引張強さに対し表-17.5-1 に示す値以上とする。

表-17.5-1 開閉装置使用材料の安全率

使用材料	記号	安全率		
		引張	圧縮	せん断
一般構造用圧延材	SS	5	5	8.7
溶接構造用圧延材	SM	5	5	8.7
機械構造用炭素鋼鋼材	S-C	5	5	8.7
ステンレス鋼棒	SUS	5	5	8.7
炭素鋼鍛鋼品	SF	5	5	8.7
炭素鋼鋳鋼品	SC	5	5	8.7
ねずみ鋳鉄品	FC	10	3.5	17
球状黒鉛鋳鉄品	FCD	7	2.5	12
青銅鋳物	BC	8	8	10
ワイヤロープ		8	—	—
板リンクチェーン		6.5		

注 1) ワイヤロープについては、ワイヤロープの破断荷重に対する、開閉荷重から算出した張力(開閉荷重をロープ掛数及びシーブ効率で除したもの)の安全率を示す。

2) 板リンクチェーンを使用する場合は、開閉荷重から算出したチェーン各部の応力度が、その材料の引張強さに対し表-17.5-1 に示す値以上の安全率を有しなければならない。

- (3) 設計トルクと安全率・許容応力度との関係

動力の種類に対する設計トルクと安全率・許容応力度の関係を表-17.5-2 に示す。

なお、ワイヤロープの降伏点荷重は、切断荷重の 65%とする。

表-17.5-2 設計トルクと安全率又は許容応力度

動力の種類		設計トルク	安全率又は許容応力度
電動機 又は 内燃機関予備	常用	定格トルク	表-17.5-1 に示す値
		最大トルク	降伏点の 90%
	予備	定格トルク	表-17.5-1 に示す値の 1/1.5
		最大トルク	降伏点の 90%
人 力	常用	定格トルク(手動力 100(N)、30rpm)	表-17.5-1 に示す値
		過負荷防止装置の設定トルク	降伏点の 90%
	予備	定格トルク(手動力 100(N)、30rpm)	表-17.5-1 に示す値の 1/1.5
		過負荷防止装置の設定トルク	降伏点の 90%
電動機・内燃機関・人力	常用予備	リリース弁の設定圧力から求めたトルク	表-17.5-1 に示す値
自重降下時		降下時荷重から計算したトルク	表-17.5-1 に示す値
		ダウンプル力を加算したトルク	表-17.5-1 に示す値の 1/1.5

注 1) 防止装置の設定値は、過負荷防止装置の信頼度を考慮して決めること。

(4) 油圧シリンダ・ラック・スピンドルの安全率

油圧シリンダ・ラック・スピンドルの限界座屈応力度に対する安全率は、表-17.5-3 の値を標準とする。

表-17.5-3 限界座屈応力度に対する安全率

開閉装置の種類	設定条件		安全率	
			常用動力	予備動力
油圧シリンダ	閉側のリリース弁、又は減圧弁の設定圧力時の応力度		4	4
ラック 及び スピンドル	電動機及び 内燃機関	定格トルクから算出した応力度に対し	4	4
	手動	最大手動力から算出した応力度に対し (最大手動力=過負荷防止装置設置値)	1.1	1.1

17.5.3 開閉速度

水門扉の開閉速度とは、全揚程を開閉するときの平均速度であり、0.3 m/min を標準とする。標準速度以外の速度を必要とするゲートとその理由を表-17.5-4 に示す。

表-17.5-4 標準以外の開閉速度の例

ゲートの種類	操作	開閉速度 又は開閉時間	理由
洪水吐きゲート、土砂吐きゲート等	開	0.3(m/min)を超える	水面より上の巻上時間の短縮のため
起伏ゲート マイタゲート	開閉	10~20(min)	全開又は全閉に要する時間
ラック式の自重降下	閉	6.0(m/min)以下	急降下を要求される

注) 予備動力による開閉速度は 0.05~0.10m/min とし手動起動可能な内燃機関の容量 (10Ps 以下) に合わせる。

17.5.4 揚程

水門扉は全開時、流水に対し安全で、かつ、保守管理が容易に行える位置になければならない。

全閉位置から最大開位置までの距離を揚程とする。

揚程は用途、設置場所、休止着脱、保守点検の内容等により、下記の点に留意する。

(1) 取水堰ゲート

取水堰に設置されるゲートの最大引上げ時の扉体下端高さは、計画高水位に表-17.5-5 に示す値を加えた値とする。

表-17.5-5 取水堰ゲートの扉体下端高さ

計画高水位 (m^3/s)	200 未満	200 以上 500 未満	500 以上 2,000 未満	2,000 以上 5,000 未満	5,000 以上 10,000 未満	10,000 以上
計画高水位に 加える値(m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0

(2) 起伏ゲート

起伏ゲートの全開時（倒伏時）の扉体上面の高さは計画河床高以下とする。

(3) 頭首工の取水口ゲート

頭首工の取水口ゲートのように四方水密のゲートでは、扉体とカーテンウォールの間に塵芥がたまらないよう、扉体下端がリセス部より高くなるよう揚程を定めることが望ましい。

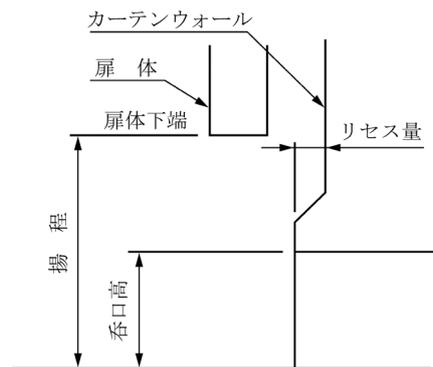


図-17.5-1 取水口ゲートの揚程

17.5.5 開閉用動力設備・電源設備

(1) 主動力設備

水門扉の開閉用主動力としては、電動機・内燃機関・人力があるが、下記に示す各動力を比較検討した上で、電動機を主動力とすることを原則とする。

ただし、特別な理由がある場合は内燃機関又は人力を採用する場合もある。

ア 電動機

- (ア) 電動機は起動の信頼性が高く、長期間放置した後でもほぼ確実に起動する。
- (イ) 定格回転数が保証され、負荷の変動に対しても回転数はほとんど変化しないので一定速度開閉を要求される水門扉に適している。
- (ウ) 押釦による電気信号で開閉操作を行うことから操作が容易である。
- (エ) 遠隔操作・上下限での自動停止等、他からの電気信号による操作が可能である。

イ 内燃機関

- (ア) 水門扉の設置地点が、電源引込みが困難な場所で、かつ、小規模水門の場合、経済的な理由から、やむを得ず内燃機関を動力として使用する場合がある。

- (イ) 内燃機関は、長期間休止後の機動性が悪く信頼性に劣る。
- (ロ) ガバナが取り付けられている場合でも小形エンジンでは負荷又は温度の変動に対し厳密に回転数を一定に保つことは難しいので、開閉速度の一定保持は困難である。正確な開閉速度を要求されない場合にのみ採用できる。
- (ハ) 内燃機関を主動力とした場合は、常に燃料や冷却水の保全、バッテリーの充電等を点検する。また、長時間休止の場合は定期的に慣らし運転をする。
- (ニ) 使用内燃機関の定格出力は、計算負荷出力の 150%以上とする。
- (ホ) 環境によっては、騒音対策又は排気対策を講じること。

ウ 人力

- (ア) 小規模で、使用頻度が著しく少なく、かつ、開閉力も小さい場合、経済的な理由から人力を開閉動力として採用することができる。
- (イ) 人力は開閉速度が極端に遅く、長時間の駆動は人力の限界から困難である。
人力による開閉は、100 (N) 以下の力で回転するものとし、毎分 30 回転、連続作動時間は 10 分程度が目安である。
- (ロ) 上記以上の力が加えられた場合、開閉装置各部に計算値以上の力が働かないよう、過負荷防止装置を設けること。過負荷装置の設定値は所要開閉トルクの 200%とする。
- (ハ) 手動ハンドルから手を離れた時に、扉体の重量により自重降下しないようセルフロック機構とする。

(2) 予備動力設備

予備動力設備は、常用の動力が停止した場合に迅速、確実かつ容易に水門扉を開閉操作できるものとする。

予備動力設備とは、主動力設備が故障した場合の予備として併設されるもので予備電動機、内燃機関、人力駆動装置等開閉装置に組み込まれた動力設備をいう。

ア 予備動力設備の設置

水門扉の開閉装置には、主動力設備が故障した場合の予備として、予備動力設備を併設することを原則とする。ただし、小規模水門扉等で人力を主動力としたもの、及び浮力を利用するゲート等については、予備動力設備を設ける必要はない。

イ 予備動力設備計画の留意事項

- (ア) 径間の長いゲートで、2 モータ 2 ドラムワイヤロープウインチ式等の場合、開閉装置に直結した内燃機関を動力とすると左右の内燃機関の同時起動・停止及び回転数の同調が困難なため、扉体の片吊りや誤作動を起こしやすいので一般に採用しない。
- (イ) 予備動力による操作では、一般に機側において手動操作とせざるを得ないので、扉体の状況を確認できる位置で操作できるよう、設備の配置を考慮する。
- (ロ) 電源故障を配慮して予備動力を計画した場合は、夜間作業に備えて操作に必要な最小限の照明を確保する。
- (ハ) 予備動力への切換や、予備動力による開閉操作は、常時操作と同程度に容易に行える構造・機構とする。

ウ 内燃機関を予備動力とする場合

- (ア) 定置式あるいは可搬式の内燃機関により開閉装置の切換装置を介して機側操作を行う方式は、停電を始め配線系統・機側操作盤等、すべての電氣的な故障に対して対応できる。

- (イ) 電氣的制御が一切ないため、開閉操作・速度制御・上下限停止等すべての制御を、機側において目視により手動で行う。
- (ウ) 起動用バッテリー等を要しない手動起動式ディーゼルエンジンの採用を原則とし、容易に手動起動ができる限界として 10 Ps 以下の容量のものとする。
- (エ) 環境によっては騒音対策あるいは排気対策を講じる。

エ 人力の予備動力とする場合

- (ア) 人力の容量は 17.5.5(1)のウの(イ)による。
- (イ) 主動力から人力に切替える際、伝達系の制動が開放され、自重降下することのないような切換装置を採用すること。

(3) 電源設備

動力を電動とする場合、電源設備は確実かつ容易に電力を供給できるものとする。電源方式の選定に際しては、施設の目的、規模、操作制御方式、設置場所等を考慮して、安定性や信頼性のある適正なものを選定する。

17.6 保護装置及び付属装置

開閉装置にはその形式に応じて表-17.6-1 に示す保護装置及び付属装置を設ける。

表-17.6-1 保護装置及び付属装置とその適用

保護装置及び付属装置の種類	開閉装置の形式						
	ワイヤロープ ウインチ式	スピンドル 式	ラック式	シリンダ式	シリンダワイヤ ロープ式	油圧モータ ワイヤロープ式	
保護装置	1. 制限開閉装置	○	○	○	○	○	○
	2. 非常用上制限開閉装置	○	○	○	—	○	○
	3. 過負荷検出装置、及び過負荷防止装置	○	○	○	○	○	○
	4. 扉体傾斜補正装置	○	—	—	○	○	○
	5. ワイヤロープゆるみ検出装置	○	—	—	—	○	○
	6. ワイヤロープ外れ防止装置	○	—	—	—	○	○
	7. インターロック装置	○	○	○	○	○	○
付属装置	1. 扉体休止装置	○	—	—	○	○	○
	2. 扉体開度指示装置	○	○	○	○	○	○
	3. ワイヤロープ端末調整装置	○	—	—	—	○	○
	4. 計装装置	○	○	○	○	○	○
	5. その他(カバー、オイルパンなど)	○	○	○	○	○	○

表-17.6-1 に示した各装置の内容は次のとおりである。

(1) 制限開閉装置

扉体の揚程の上限・下限及び特定の位置で開閉装置を自動的に停止させるもので、防水性に優れ、確実に作動するものとする。一般に、スクリュウ式、カム式、ディスク式、遊星歯車式等が使用される。

なお、油圧シリンダ式の場合は、ストロークエンドで油圧がリリース弁の設定圧力となることから、この圧力を検知して上限・下限を検知するものもある。

(2) 非常用上制限開閉装置

制限開閉装置が故障等により作動しない場合に作動するもので、制限開閉装置とは別個の系統

とする。一般に、扉体と連動する押上げ棒によりリミットスイッチを作動させる直動式が用いられる。

(3) 過負荷検出・防止装置

開閉装置に過負荷が発生した場合に、伝達力を自動的に遮断するものである。過負荷の検出は過電流継電器を基本とし、ワイヤロープウインチ式、ラック式、スピンドル式の場合は、必要に応じてロードセル、スプリング式、トルクリミッタ、滑りクラッチ等を併設することを原則とする。油圧シリンダワイヤロープ式の場合は、一般にリリースバルブを用いる。

なお、手動装置を設ける場合は、人力によるトルクが電動機の最大トルクを超えないように過負荷防止装置を設けることがある。

(4) 扉体傾斜補正装置

径間の長いゲート等で、扉体を左右別個の開閉装置で開閉する形式において、相互間の起動停止時間の誤差等により生ずる扉体の傾斜を補正するもので、差動シンクロを利用し自動的に修正する形式が一般に使用されている。油圧式では、流量制御弁により各油圧シリンダへの流量調節を行う、油圧配管長を揃えて配管抵抗を同一にするなど、油圧回路による同調を行う。また、併用してワイヤロープウインチ式と同様に差動シンクロによる電気的な信号で油圧の流量補正を自動的に行うこともある。

(5) ワイヤロープゆるみ検出装置

ワイヤロープ式において、ジャミング（扉体と戸当りの間に異物が噛み込んだり、異常傾斜等何らかの原因で扉体の開閉が不可能になること）や、扉体と底部戸当りの間に異物を挟み降下不能となることによって生ずるワイヤロープのゆるみや外れを防ぐため、ロープ張力の異常低下を検知するものである。ロープ張力の低下を感知する機構とリミットスイッチを組み合わせたものが一般に用いられる。

(6) インターロック装置

開閉装置には、誤操作又は重複作動による事故を防止するため、インターロック装置を設ける。インターロック装置には次のようなものがある。

ア 機側と遠隔操作を有する設備では、機側操作を優先し、機側において操作中は遠隔操作ができないようにするもの。

イ 開閉用動力を切換えて操作する場合は、一方の開閉用動力で運転中は他の開閉用動力では駆動できないようにするもの。

ウ 扉体が休止装置に保持されているときは「閉」の釦を押しても、閉操作できないようにするもの。

エ 自動着脱式以外の休止フック付き水門扉で、扉体が休止位置よりも下方にある状態では、休止装置着位置にあっても扉体が休止装置を突き上げないようにするもの。

(7) ワイヤロープ外れ防止装置

前記「ワイヤロープゆるみ検出装置」に示す理由によりワイヤロープがゆるんだ時、ワイヤロープがシーブから外れないよう、シーブ周辺に外れ防止構造を設置する。

(8) ワイヤロープ端末調整装置

ワイヤロープウインチ開閉装置において、左右のワイヤロープの長さを調整するため、ワイヤロープの端末にねじ式の調整装置を設けるのが一般的である。この装置には、ワイヤロープゆるみ検出装置や過負荷を検出する装置を組込むことが多い。ロープの掛け方は開閉装置の形式・開

閉力等によって異なるが、一般に、ワイヤロープの端末でロープ長さを調整できるよう掛数は偶数本とするが、やむを得ず1本掛けとする場合はターンバックル等でワイヤロープと扉体を連結して容易に調整が行える構造とすることが望ましい。

(9) 扉体開度指示装置（開度計）

扉体開度の検出方法としては、開閉装置の軸等の回転数から検出するもの、開閉装置とは別個に扉体の動きを直接検出するもの及び戸当りに埋設されたセンサにより直接扉体の位置を検出するものなどがある。開閉装置の回転数から検出するものは配置が容易であるが精度はやや劣る。扉体や戸当りから直接検出する形式のものは高い精度を得られるが配置に制約を受けたり、メンテナンスが困難なものもあるので、それぞれのゲートの制御に適したものを使用する。

表示は、機側操作のみの場合は機側操作盤で、遠隔操作も行う場合は機側操作盤及び遠隔操作盤に表示することが多い。機側には機側操作盤以外に機械台上に独立したアナログ開度計を設けるのが一般的である。

表示形式にはアナログ表示とデジタル表示がある。電気式の場合、開度信号の種類としてアナログ信号とデジタル信号があり、アナログ信号で行うものはシンクロ発信器・ポテンショメータ方式が、デジタル信号で行うものはリードスイッチ式・RS/AD変換器等がある。アナログ信号をデジタル信号に変換するものとして、A/Dコンバータが使用されている。

(10) 扉体休止装置

この装置は、扉体及び開閉装置等の点検・整備する場合及び扉体を長期休止する場合に、開閉装置から切離して使用するもので、手動、電動又は自動操作ができるとともに、着脱が容易に確認できるものとする。ワイヤロープウインチ式の場合はフック式が使用され、油圧シリンダ式の場合はフック式又はねじ式がそれぞれ一般に使用されている。ラック式の場合は開閉機本体内部にロック機構を有したものが採用されている。

(11) その他

操作員及び点検・整備要員その他に対する安全対策として、必要に応じ次のような安全装置を設ける。

- ア 開放歯車や露出した回転部分を覆うカバー・ケース類
- イ 内燃機関の排気管の保護のカバー類
- ウ 高所・ピット等に巡らす防護柵
- エ 階段・踊場等の手摺
- オ 危険表示板