

第17章 頭首エゲートの種類と設計

関連条項 [基準 10、運用 10-19]

参考文献 [水門鉄管技術基準]・「鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編）」

可動堰のゲートは、頭首工の水利用機能・水理機能を調節する重要な施設であり、設計基準の運用 10-19 では、ゲートに必要な基本的条件を次のように規定している。

- (1) 閉時において、取水に必要な一定水位が確保できる。
- (2) 開時において流水の安全な流下機能が確保できる。
- (3) 必要な水密性及び耐久性を有している。
- (4) 開閉動作が確実である。
- (5) 予想される荷重に対して安全な構造である。
- (6) 操作が確実で保守管理が容易な構造である。

頭首工のゲートには、様々なタイプのものであり、ゲートの設計に当たっては、これらの基本的条件を具備し、当該頭首工の取水形態や河川の状況に合致した形式のものを適切に選定することが重要である。

また、流水による有害な振動・騒音が発生しない構造とすることも考慮する必要がある。

ゲートの使用目的に対応する形式の適用を示すと、表-17.1 のとおりとなる。

表-17.1 ゲートの形式と適用

形式・種類		使用目的	洪水吐き用	土砂吐き用	取水口用	沈排砂池用	魚道用	舟通し用	修理用
			○	○	○	○	○	○	○
上下開閉式	ローラ形式	ローラゲート(ガーダ)	○	○	○	○	○	○	
		長径間ローラゲート(シェルタイプ)	○	○					
		2段式ローラゲート	○	○				○	
	スライド形式	スライドゲート	△	△	○	○		○	
		角落し					○		○
ヒンジ形式	ラジアルゲート			△					
	起伏ゲート	○		○		○			
	ゴム袋体支持式鋼製起伏ゲート	○		○					
バルブ形式	ゲートバルブ			△					
	バタフライバルブ			△					
ゴム袋体形式	ゴム引布製起伏ゲート	○		△					
その他の形式	フローティングゲート							○	

(注) ○：使用することが適当な形式

△：場合によっては使用することが適当な形式又は、既存施設で採用されている事例がある形式

なお、全面更新の場合は検討を要する

ゲートの種類の選定に当たっては、使用目的、設置個所、管理の容易さ、安全性、水利用機能、水理機能の信頼性並びに経済性を勘案して決定する。特に水資源の効率的な使用という見地から、必要水量以上の取水を極力防止できるゲート及び操作方式を選定することが望ましい。

ゲートは、鋼製（鋳鉄製、ステンレス製を含む）の他、アルミ製、ゴム製及びFRP（強化プラスチック）製等があるが、本節では鋼製・ゴム製ゲートを対象とする。

なお、鋼製・ゴム製以外のゲートを使用する場合は、その使用特質を十分検討する。

17.1 ゲートの種類

- | | |
|---------------|------------------------------|
| (1) 上下開閉式ゲート | ローラゲート、スライドゲート、角落し |
| (2) ヒンジ形式ゲート | ラジアルゲート、起伏ゲート、ゴム袋体支持式鋼製起伏ゲート |
| (3) バルブ形式ゲート | ゲートバルブ、バタフライバルブ |
| (4) ゴム袋体形式ゲート | ゴム引布製起伏ゲート |
| (5) その他のゲート | フローティングゲート |

17.2 ゲート各部の一般的名称

ゲートは一般に、扉体、戸当り、固定部、開閉装置から構成される。扉体とは、水圧を受ける部分と、扉体にかかる荷重を固定部に伝達する支承部とをいう。戸当りとは、コンクリートに埋込まれて扉体の水密部が当たり水止めする鋼材面をいう。固定部とは、扉体の支承部よりコンクリートに荷重を伝える部分をいうが、回転式ゲート以外のものにあつては、一般に戸当りと称している。開閉装置とは、扉体を開閉するための装置をいう。

17.3 各種ゲートの特徴

17.3.1 ローラゲート

ローラゲートはゲートの代表的な形式で、水圧荷重はスキンプレート、補助桁を介して水平主桁に伝え、扉体両端に配置された端縦桁からローラを経て戸当りに伝達される。ガーダタイプの他に全面殻体構造で伝達するシェルタイプがある。開閉方式は、ワイヤロープ、スピンドル又はラックにより垂直に巻上げられるのが普通である。ローラゲートは、形状、機構が簡単でスライドゲートに比べて巻上荷重が小さく、また信頼性が高いことから、頭首工用ゲートとして最も多くの使用実績を有しており、小型ゲートから長径間ゲートに至るまで広範囲に採用されている。

扉体構造上から分類すれば2形式があり、扉高（ H ）と径間長（ L ）の比（ H/L ）によっておおよそ使い分けられている（図-17.3-3 ローラゲートのタイプ）。

また、長径間ゲートにおいては扉体の剛性について十分検討するとともに、太陽の直射により扉体が反り上り漏水のおそれもあるので H/L をあまり小さくとらないようにし、水密ゴムの形状等にも留意する。

この他、半開放流時におけるゲートの振動を考慮しなければならない。ゲートに振動が発生する状態は上下流水位とゲート開度によって変わる。ゲート下流側の流れが自由流出状態ならば振動は発生しないが、下流水位がゲート敷高よりも高い潜流出状態で放流すると振動することがある。振動を誘起する原因としては、跳水の干渉、ゲート直下流に生ずる波動、ゲート底板（リップ）下に発生する渦等が挙げられる。

跳水の干渉は、底板の傾斜角度を 20° ぐらいにすることにより避けられるが、微小開度における

渦等の影響を受けやすい潜流出状態で長時間放流することは極力避けるべきである。また、自由流出状態の場合も、微小開度放流時は土砂等による水密ゴムの摩耗を引き起こすので避けるべきである。

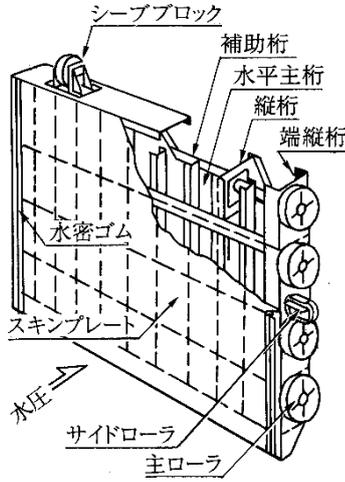


図-17.3-1 ローラゲート扉体構造

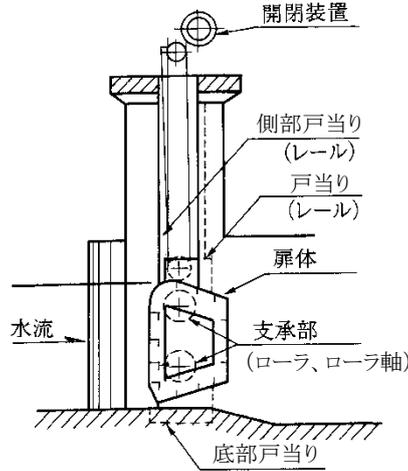
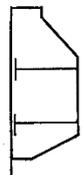


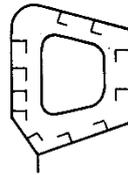
図-17.3-2 長径間ローラゲート（シェルタイプ）

扉体形式	適合径間 (m)	適合 H/L
(1) ガーダタイプ	~15	~1/5
(2) シェルタイプ	15~80	1/5~1/20

最小扉高 1.0m 程度



ガーダタイプ



シェルタイプ

図-17.3-3 ローラゲートのタイプ

17.3.2 2 段式ローラゲート

ゲートの径間が長い頭首工で放流量が少ない場合、数 cm 単位での開度調整が必要となり高度な操作が要求される。このような場合は 2 段ゲートを採用すると流量及び水位調節が容易である。

2 段ローラタイプ、フックタイプは堰柱の高さを低くすることができるため流量の調節又は堰柱の高さを減ずることを目的とした場合に有効である。流量調節を目的とする場合の越流対象流量は、取水方式、操作方式及び当該河川の流況等を十分検討して決定する。

2 段式ローラゲートは、水密部構造、戸当り部構造、開閉機構が複雑になるうえ、1 段を構成する単体のゲートの H/L が小さくなるので構造上の安定に留意する。

また、越流水による振動が発生し周辺住民から苦情が出るなどの事例もあるので、スポイラ（越流時に扉体背面に空気を供給するための水切り板）を適正に設ける等の対策を講じる。

2 段式ローラゲートの構造には次の三つの形式がある。

(1) 2 段式ローラタイプ

シェルタイプ又はガーダタイプゲートを 2 段に組合せて用いる形式である。通常は各々に戸当り及び開閉装置を設けて操作する。

(2) フックタイプ

上段ゲートをフックタイプにして下段用のローラゲートと組み合わせた形式である。上段ゲートの下部ローラは下段ゲートのスキムプレート面を転動し荷重を伝達する構造になっているのが多い。

開閉装置はワイヤ掛けによって1台で操作することが多い。

(3) 起伏ゲート付きローラゲートタイプ

上段ゲートに起伏ゲートを用い、下段にはローラゲートを用いて組み合わせた形式である。水密構造及び開閉機構が比較的容易なため、頭首工の水位調節ゲートとして多く採用されている。開閉装置は、上段操作用と下段操作用を設けるが、下段扉体巻上げ時には連動操作が可能になるような機構を設けている。なお、上段の起伏ゲートの扉高はゲート全高の1/3以下とすることが望ましい。

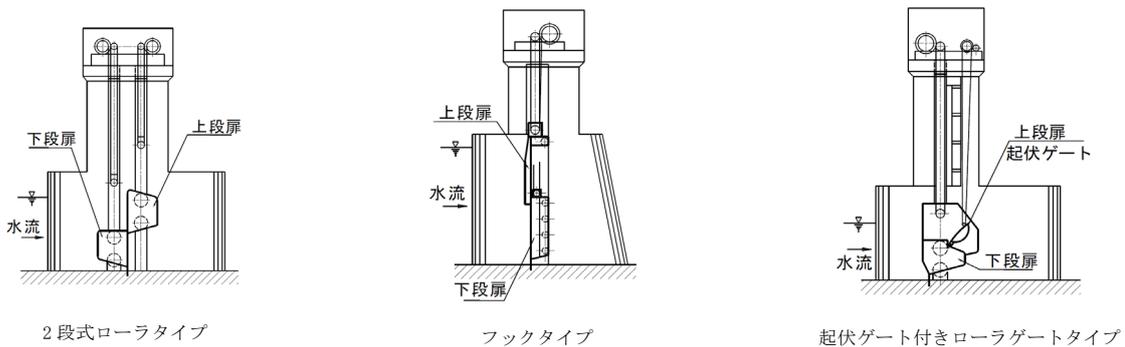


図-17.3-4 2 段式ローラゲートのタイプ

17.3.3 スライドゲート

径間及び水位差が比較的小さい場合に採用される。支承部に金属板を用いた簡単な構造となるが、水圧を受けて操作する場合、支承部と戸当りレールが直接摺動するため開閉荷重が大きくなる。したがって、水圧バランスで操作される以外は、大型の水門扉には適さない。開閉装置としては通常スピンドル式、ラック式又は油圧シリンダ式が使われている。

17.3.4 角落し

角落しは、常時使用状態にある水門扉の修理用として使用することを目的としたゲートの一種である。扉体を複数に分割し、それらを積重ねて締切り機能を持たせる構造となる。また、扉体の格納、運搬、据付け、撤去時のクレーン等を考慮する。

なお、この他に修理用ゲートとしてはフローティングタイプ及び盾タイプがある。

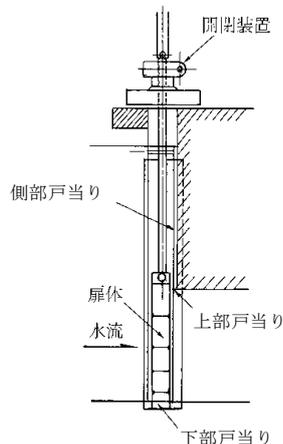


図-17.3-5 スライドゲート

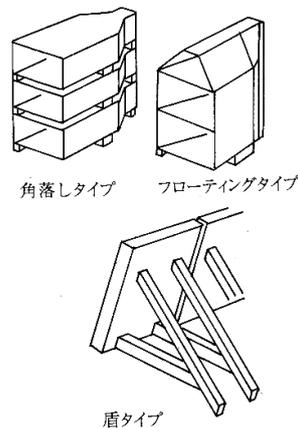


図-17.3-6 修理用ゲートのタイプ

17.3.5 ラジアルゲート

トラニオンピンを中心として扉体を円弧状にし、水圧荷重は前面に張られたスキンプレートから補助桁、主桁、脚材を介してピンに集中され固定部に伝達される。ラジアルゲートは戸溝を必要とせず、水理的、構造的に有利な点を有する。また、トラニオンピンを中心に回転して開閉するため巻上荷重が比較的小さくなる等経済性から優れた面もある。

しかし、ローラゲートに比べ複雑な立体構造をしており、かつ剛性の少ない部材が多く、荷重がトラニオンピン部に集中すること等から、設計、製作、据付けに当たっては十分な検討を要する。

また、越流水が脚材と干渉するので構造的に弱いといえることや、揚程上の制約から頭首工用ゲートとしてはあまり採用されていない。

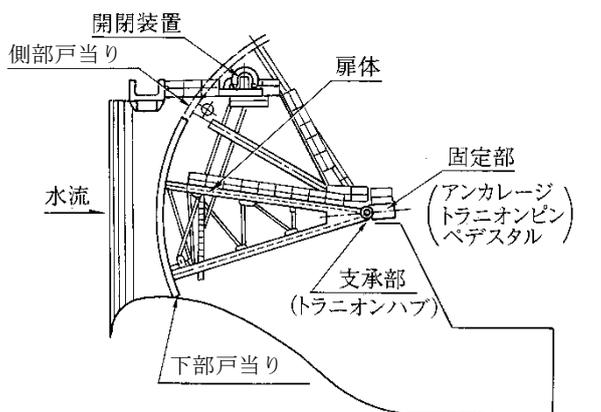


図-17.3-7 ラジアルゲート

17.3.6 起伏ゲート

扉体は底部を床版とヒンジ構造で結合し回転操作するゲートである。多点支承となるのでローラゲートに比べて扉体断面が縮小でき扉高と径間の比が小さい場合にも適用できる。

越流による流量調節を行うので流量の調節が容易であり水位による自動転倒も可能である。また、堰柱の数を少なく低くできる利点がある。

しかし、床版にヒンジ結合する場合は、ヒンジ取付部に0.5~1.0 m程度(又は扉の厚さ程度)の落差をつける必要がある。また、扉体背面に堆砂や流下物が残存して除去されない場合は完全倒伏不能や扉体、シリンダ等の損傷のおそれがあるので、十分掃流できるように下流側エプロンに段差を設けたり、扉体形状を考慮する等の対策を講じる。

設計に当たっては、越流水により危険な振動が発生しないようスポイラを設ける。また、流砂の激しいところでは排砂設備を設ける等の対策を講じるとともに、スキンプレート面は塗装効果が期待できないので塗装に代わるステンレス鋼板か、ステンレスクラッド鋼を用いることが望ましい。床版に支承部、油圧シリンダ等を設ける場合は、点検・補修がしやすいようにする必要がある。通常使用される起伏ゲートの形式は、扉体構造、開閉装置の配置、開閉装置の機構に関し、次のように分類できる。

(1) 扉体構造

ア トルク軸タイプ イ 横主桁タイプ ウ 魚腹タイプ

(2) 開閉装置の配置

ア 堰柱部に設ける側端支持方式 イ 中間部に設ける背面支持方式

(3) 開閉機構

ア 機械式 イ 油圧式

油圧式の場合、一定開度を長期間保持するのは難しい。したがって、パッキンからの漏油対策、油圧配管の腐食対策等を講じることが必要である。

これらの形式の組合せで全体様式が決定されるので、設置個所の立地条件、操作条件に適合した組合せを十分に検討することが必要である。

なお、扉高に関して、洪水の安全流下確保の面から河川構造令規則に次の規定がある。

(ア) ゲートの起立時における上端の高さは、計画横断形に係る低水路の河床の高さと計画高水位との中間位以下とすること。ただし、ゲートを洪水時においても土砂、流木その他の流下物によって倒伏が妨げられない構造とすると、ゲートの起立時における上端の高さを堤内地盤高又は計画高水位のうちいずれか低い方の高さ以下とすることができる。

(イ) ゲートの直高は3 m以下とする。

ゲートの直高は、3 m以下とすること。ただし、ゲートを洪水時においても土砂、流木その他の流下物によって倒伏が妨げられない構造とすると、この限りでない。

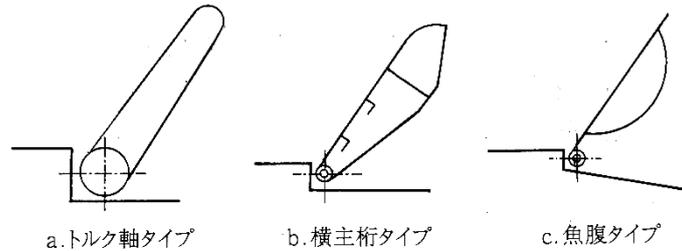


図-17.3-8 起伏ゲートのタイプ

17.3.7 ゴム袋体支持式鋼製起伏ゲート

ゴム袋体支持式鋼製起伏ゲート（以下「SR堰」という）は、鋼製の扉体を有し、ゴム引布製の袋体の膨張・収縮により扉体を起伏させるゲート形式で、1径間を複数の単位ゲートに分割し、隣接する単位ゲートを中間水密ゴムで接続する型式が河川では一般に用いられている。SR堰は、その構成部材の特徴から、以下に示すような油圧シリンダ式等の鋼製起伏ゲートとゴム堰との中間的な特性を有し、堰高3m程度までの実績がある。堰高3mを超える場合には、要求される機能、材料、構造等について検討する必要がある。

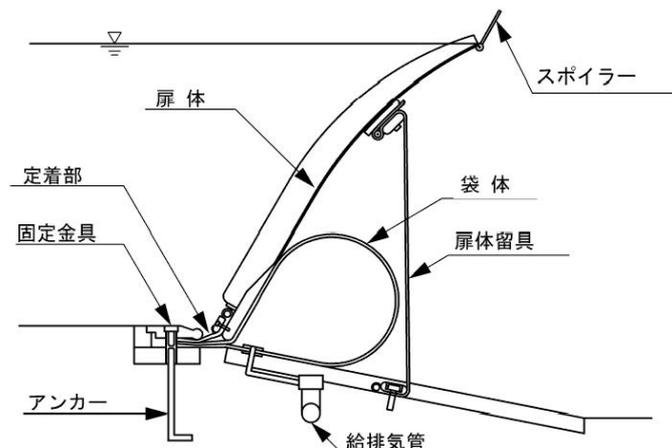


図-17.3-9 SR堰

SR 堰は、複数の単位ゲートで構成されることから、起伏ゲートに比べて径間方向に柔軟に変形し、扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても河積が確保しやすいという利点を有している。また、堆砂が生じた場合、堆砂厚が大きい部分の堰高が低下することになるので、流水によるフラッシュ排砂の効率が良くなる。ゴム堰と比べて、倒伏過程でVノッチ現象が発生しないため、中間開度操作が可能であり、扉体背面に給気すれば越流振動が発生しにくいなどの利点を有している。また、倒伏時には袋体が扉体で保護されるので損傷しにくいなどの点も優れている。一方、起伏装置となる袋体が柔構造のため、水位変化による堰高変化や堆砂の影響等に関しては、ゴム堰と類似した特性があり、SR 堰を設置するに当たっては、要求される機能、材料、構造等について十分な検討を行う必要がある。

SR 堰に関して、次の技術資料が整備されているので参考にして設計するとよい。

- ・鋼製起伏堰（ゴム袋体支持式）設計指針（一次案 増補版）、SR 堰技術検討会（平成 19 年 5 月）
- ・ゴム袋体をゲート又は起伏装置に用いる堰のゴム袋体に関する基準（案）・同解説 国土交通省（平成 27 年 3 月）

17.3.8 ゲートバルブ（スルースバルブ）

ゲートの扉体に対応する弁体と、戸当り固定部に対応するケーシング及び開閉装置により構成される。機構がコンパクトで安価であることにより樋管の流量調節用として採用される。流量調節用として使用する場合は管路終端部に設け、給気を十分に行い得るようにし、中間開度での振動を防止するために片勾配形バルブを用いることが望ましい。また、戸溝部に堆砂等の障害物が残存するおそれがあるので保守管理を十分行うとともにドレーンによる排除対策を必要とする。ただし、このバルブは流速 10 m/s 以上での流量調節には適さない。

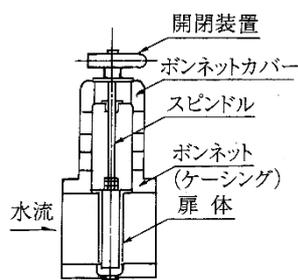


図-17.3-10 スルースバルブ

17.3.9 バタフライバルブ

ゲートバルブと同様に流量調節用として採用される。

17.3.10 ゴム引布製起伏ゲート

ゴム引布製起伏ゲート（以下「ゴム堰」という）は、ゴム引布製の袋体を有し、水又は空気を袋体に圧入しあるいは排除することにより、これを膨張・収縮させて起伏させる構造のものである。

一般にゴム堰は、倒伏の確実性、径間長の長大化、下部工の簡略化、施工の容易性と工期の短縮、維持管理の容易性、不同沈下への追随性、耐震性、水密性等の優れた特性を有しており、堰高 6m 程度までの実績があるが、工場での生産体制、輸送時の制約条件等を考慮し、構造規模を検討する必

要がある。また、ゴム堰の柔構造に起因する袋体の変形やVノッチ現象の発生等により精密な水位制御ができないことがあるため、設置目的や設置場所によっては、その求められる機能が十分に満たされないことも考えられる。ゴム堰の持つ基本的な特性のうち、採用に当たって検討すべき事項としては、以下に示すものがある。

(1) 水位変化と袋体変形

頭首工上下流の水位変化によって袋体の変形し、堰高も変化する。特に、感潮区間あるいは他構造物の背水の影響を受ける場所では、頭首工としての水位維持機能を損なう場合もある。

(2) 最大越流水深と袋体の振動

越流水深がある限界を越えて大きくなった場合には、越流水脈の影響によって袋体に振動が生じる。

(3) Vノッチ現象

膨張媒体として空気を用いた場合は、倒伏の過程でVノッチと称する袋体の局部的変形が生じるため、水位及び放流量の制御が困難になる。

(4) 波浪の影響

波浪による袋体の張力変動について検討する必要がある。

(5) 不完全倒伏の影響

頭首工上下流の水位差が小さく、かつ、流速が小さい場所においては、倒伏後の収縮袋体が水中を浮遊するなど、倒伏が不完全な状態となる。

(6) 袋体等の損傷防止

転石や流下物の多い河川では、袋体や固定金具が摩耗、損傷を受けやすくなる。

(7) 堆砂の影響

倒伏時に袋体上に多量の堆砂が生じた場合には、袋体の正常な起立操作や堰高維持・制御が不可能となる場合がある。

(8) 給排水管の配置

給排施設、内圧検知管等の配置に制約を受ける場合は、土砂等の目詰まりを起こさないように配管ルートを適切に選定しなければならない。

(9) 維持修繕

常時越流状態にある頭首工では、袋体が損傷を受けた場合に、締切等の仮設なしには水中補修が困難であることに留意しなければならない。

なお、近年、ゴム袋体の不具合（破裂、亀裂、漏気等）による問題が多数確認されていることから、以上を踏まえた適切な計画、設計及び維持管理を行うことが重要である。

ゴム堰に関して、次の技術資料が整備されているので参考にして設計するとよい。

- ・ゴム引布製起伏堰技術基準(案)、(社)国土開発技術センター(平成12年10月)
- ・ゴム引布製起伏堰施設技術指針 農林水産省 (平成19年3月)
- ・ゴム袋体をゲート又は起伏装置に用いる堰のゴム袋体に関する基準(案)・同解説 国土交通省(平成27年3月)
- ・ゴム引布製起伏堰及び鋼製起伏堰(ゴム袋体支持式)のゴム袋体に関する技術資料、(一財)国土技術研究センター(平成28年1月)