

第 22 章 取水・放流管理施設

関連条項 [基準12、運用12-1]

参考文献 [土地改良施設管理基準－頭首工編－]

近年の水需要の増加に伴い水資源開発が進展し、河川水の利用形態は、農業用水のみならず工業用水や水道用水など、多様化、高度化していく傾向にある。

このように高度化された河川における農業用水の取水に当たっては、頭首工地点及びその近傍の気象・水象の所要項目を効率的かつ経済的に観測又は情報を収集し、気象特性等を把握することが、確実な取水管理と併せて適正な放流管理の実施が、地域の水利用秩序を維持する上で特に重要となっており、このことに十分配慮した施設設計の実施が必要である。

ここでは、適正な取水・放流管理に留意した設計事例及び設計上の留意事項について解説する。

22.1 取水管理施設

22.1.1 取水管理施設の要素

頭首工からの農業用水の取水と下流河川への放流とは、相反する行為である。このため、放流施設を考える場合には、取水管理施設と一体的な設計思想により検討する。

取水管理施設においては、農業用水の確実な取水、取水量の制御・管理及び取水量の把握が容易な構造である必要がある。このため、取水管理施設においては、下記の施設等が必要である。

- (1) 取水位制御のための施設（頭首工本体のゲート等）
- (2) 取水量制御のための施設（取水口ゲート等）
- (3) 取水量計測のための施設（流量計測施設、流量計、水位計等）
- (4) 取水管理のための制御システム（遠方操作方式及び自動制御システム等）

22.1.2 取水管理施設の管理・制御のシステム

取水・放流管理施設を設計する場合には、事前に取り水・放流をどのような管理制御システムで行うかを建設後の管理状況も踏まえて十分検討し、施設の機能が発揮されるような施設構造にしておくことが必要である。一般に、近年の頭首工における管理制御システムは次のようなシステムが導入されている。

ケース 1：本川の土砂吐きゲート等の上段に併設された越流式調節ゲートあるいは起伏ゲートにより、堰上流水位（ W_1 ）を一定に制御（設定水位制御）し、必要な取水量を取水口ゲートから取水する。一般に最も多く採用されているシステムである。

ケース 2：堰上流水位を制御せずに、要求量に応じて取水量を制御する。河川水位の大きな変動がなく、河川水位が安定している自然取入れの場合に採用される。

ケース 3：堰上流水位及び取水口ゲートの下流水位（ W_3 ）を一定に制御し、必要な取水量を取水口ゲート下流の流量調節ゲートにより制御する。河川水位の変動が大きい場合や、取水管理を厳密に行う場合などに採用される。

取水管理の高度化が必要な頭首工においては、リアルタイムな取水量制御が必要となるため、定流量取水口ゲートや自動制御システムの導入を検討する。

この時には、上記の管理制御システムを十分考慮し、外乱が多く、流量が変動している河川の流況等にうまく対応する施設構造及び制御システムを設計する。

なお、水位調整を引上げ式ゲート下端からのアンダーフローによる放流で行うと、ゲート操作量に比べて放流量が鋭敏な反応を示し調整が難しいため、水位調整用ゲートには越流式ゲートを採用することが一般的である。

また、ケース3については他のケースとは異なり現時点での事例が少ないことから採用時の検討のために模型実験の内容を22.1.3に示す。

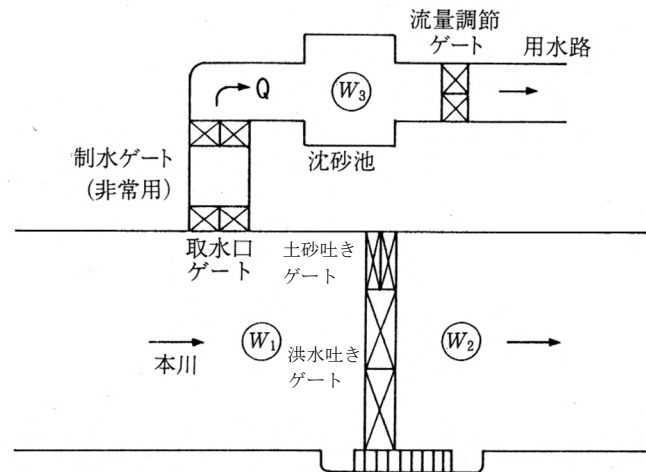


図-22.1-1 頭首工施設機能模式図

22.1.3 取水管理の高度化を図った施設の制御・管理システムの構造

ここでは、以下に示す模型実験により、22.1.4 取水管理の高度化を図った設計例における設計例の検証を行い、ケース3における条件や留意事項を示している。

(1) 全体システム（下流水位一定自動制御方式）

構造を図-22.1-2に示す。この構造は模型実験時に検討されたモデルであり、スケール値は、 $1:10$ ($0.10\text{ m}/1.0\text{ m} = 1/10$) とされている。取入口ゲートは、本川取水水位の変動に対して下流の静水池の水位を精度良く制御する下流水位一定自動制御のアンダーフローゲートを導入する。

ここでは、取水堰及び取入口上流の河川内取水水位は、取水堰本体非越流ゲート高を越えない範囲で、不感帯（20～30 cm を想定）を大きく確保した最低水位保持の制御を想定する。外乱の多い河川内水位の制御には、少なくとも $\pm 5.0 \sim \pm 15\text{ cm}$ 程度の不感帯の設定が必要であることから、取入口ゲートにより河川内の水位変動に物理的なフィルターをかけ、取水量制御のための取水水位制御を堤内地で行うシステムを考える。なお、本川取水水位の制御範囲については、河川管理者との管理規定などの協議により決定されるので留意が必要である。

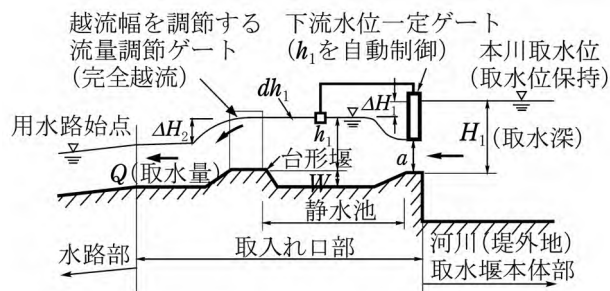


図-22.1-2 取入口構造試案

(2) 目標取水量制御精度

制御水位の不感帯は、現地スケールで $h_1 = \pm 1.0 \sim \pm 2.0 \text{ cm}$ を目標とする（不感帯の最小化）。なお、このレベルの不感帯で自動制御の安定性を確保するには、水位制御場である静水池の風やゲートの噴流流出による波浪防止対策が必要である。また、減勢のための静水池の容量が重要となる（施設容量の確保）。下流水位一定制御の研究事例では、制御ゲートの 55 m 下流で水位制御が行われた事例がある（関谷、1979）。このため、水位制御位置の固定化が重要である。取水量設定は、その下流に位置する流量調節ゲートにより期別及び設定流量により開度（越流開口幅）設定を手動（一般的には電動）で行う。構造は、制御ゲートの開閉による段波の水路下流のチェックゲートなどからの反射による制御水位の攪乱及び下流の水利条件による過剰取水を防止するために完全越流を確保する（流量支配点の明確化）。構造上、比較的低落差（水頭損失小）で完全越流を確保できる台形堰を採用し、この上部に設置する流量調節ゲートは、越流幅を調節するディストリビュータ（農業土木学会、2000）などが考えられる。なお、この台形の完全越流により供給側の、取入口地点での主体的な取水量管理が可能となる。

取水量制御の取水水位変動に対する精度（誤差）は、取水深が例えば 1.0 m であれば、 $\pm 1.5 \sim \pm 3.0 \%$ （不感帯 $\pm 1.0 \sim \pm 2.0 \text{ cm}$: $dQ/Q = 1.5 (dh_1/h_1)$ ）の値が期待できる。

(3) 構成要素とその機能

設計としては損失水頭が小さく、安定した制御を実現する水利構造と制御方式を見い出すことが重要となる。

取入口構造の構成要素とその機能をまとめれば下記のとおりとなる。

ア 下流水位一定ゲート：設定水位自動制御（自由流出状態のアンダーフローゲートを想定）

イ 静水池：設定水位制御場の静水化（減勢、波立防止）

ウ 流量調節ゲート：取水量制御（越流幅調整（電動、手動））

エ 台形堰：取水量制御（完全越流の保持、流量支配点の形成）、取水量の計測、供給主導型

(4) 適用条件

ア 台形堰の設計

(ア) h_2 ：既知（用水路始点での引き継ぎ水位）

(イ) $h_2/h_1 \leq 0.7$ の条件式より h_1 の値を概定する。 $\Delta H_2 = h_1 - h_2$ の水頭損失を確保する。

(ウ) $w = 0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ として、流量係数（完全越流）を求める。 h_1/w は $0.5 \sim 2.0$ の間を基本とする。

$L = 1.0 \text{ m}$ 前後とする。 $w/h_1 = 0.6$ を目安とする。

- (エ) 設計最大取水量の取水が可能かを堰公式より検討し、堰幅とアンダーフローゲート下流水深 h_1 を決定する。

$$\text{台形堰公式} \quad Q = C_1 B h_1^{1.5} \dots\dots\dots (22.1-1)$$

イ アンダーフローゲート

- (ア) 最大流量取水時のアンダーフローゲート想定開度 a は、下流水深 h_1 の 0.7 前後とする。
 (イ) 取水深 H_1 は h_1 の 1.2 倍以上とし、自由流出領域になるように設定する。
 $H_1 \geq 1.0 \text{ m}$ とする。
 (ウ) 図-22.1-3 から流量係数を求め、最大取水量が取水可能な取水幅を求める。
 (エ) ゲート下流の静水池の長さは h_1 の 13 倍程度、 w の 21 倍程度とする。

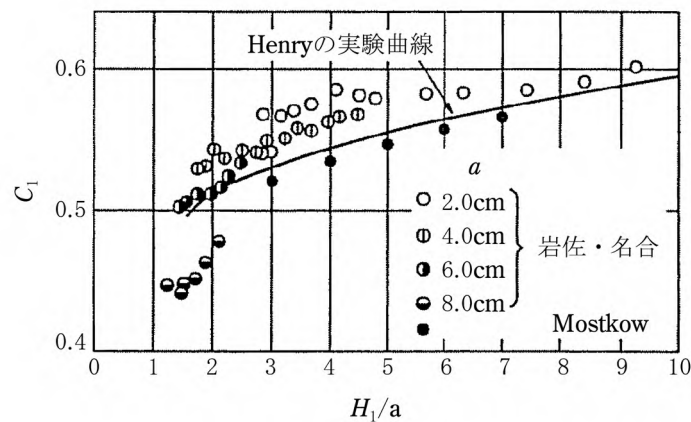


図-22.1-3 アンダーフローゲートの流量係数

ウ 下流水位自動制御

- (ア) 本川取水水位の不感帯は、 $\pm 0.20 \text{ m}$ 程度を前提とする。
 (イ) ゲート制御間隔、30 s 程度とする。
 (ウ) 設定水位の不感帯は、 $\pm 2.0 \text{ cm}$ 程度とする。
 (エ) 水位計測値の平滑化処理は移動平均とし、3～10 回/30 s 程度とする。
 (オ) ゲート単位制御量は、2 cm 程度とする。
 (カ) 設定水位制御の位置 h_1 は、台形堰上流堰頂端から 2.0 m 地点とする。

(5) 留意事項

台形堰においては、 $0.43 < h_1/w < 1.85$ を超える範囲で適用すると、本間公式における流量係数は非常に大きな誤差を生じる。

アンダーフローゲートにおいては、自由流出を保持させることが必要である。

下流水位自動制御においては、上流水位の変動が激しい場合、設定水位計測値の平滑化を行うことでゲートのハンチングを防止することができる。

また、河川流量の変動が激しい場合は、ゲートの単位制御量に着目すると良い。

22.1.4 取水管理の高度化を図った設計例

事例1 自動定水位制御装置を導入した事例^{*1*2}

本取水工は、堰上げ水位による自然流入方式であるが、図-22.1-4 に示すように取水口の入口部に、下流水位一定制御ゲートを設置し、河川の水位（河川における取水水位）が変動しても、取水口の下流水位を一定になるようにしている。取水量は、その下流の管路部のコントロールバルブにより取水量の制御を行うものである。取水量の監視及び計測は管路部の流量計により行う施設設計がなされている。本システムは、22.1.2 取水管理施設の管理・制御のシステムで示した管理制御システムとしてはケース3に類型化できるが、堰上流の水位制御は堰上げ水位の設定であり、定水位制御までは実施していない。

この施設により、取水量変更操作及び定量取水監視等高度な取水管理が実施可能となっている。

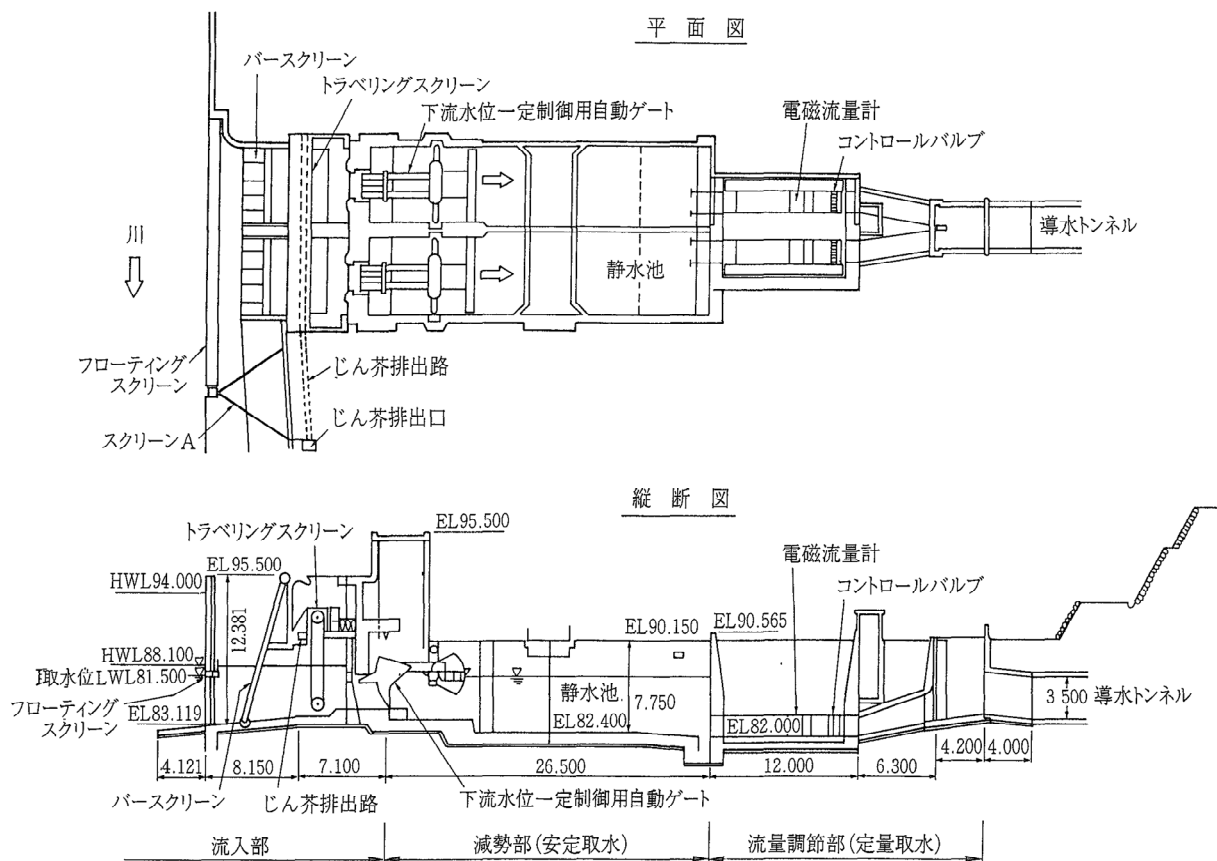


図-22.1-4 自動水位制御装置を導入した事例

本施設の特徴としては、次の事項が挙げられる。

- (1) 流量制御のための取水水位の制御は、取水口下流に位置する自動ゲートの下流水位一定制御により行い、河川の外乱条件を緩和している。
- (2) 取水量の変更は、管路部のバルブで行い、リアルタイムな取水量変更に対応ができる。
- (3) 取水量計測は、管路部（満流）の流量計によりなされるため、高精度である。

[参考] ^{*1} 河辺昌美・下河賢仁・小堀満雄：香川用水の取水工と管路の管理—とくに除じんおよび漏水対策—、農業土木学会誌、55（11）p. 1037～1042.（1987）

^{*2} 鈴木孝一：香川用水地区の水路施設管理について、水と土、No. 95（1993）

なお、本システムは、流量管理制御を主に管路部のバルブにおいて行うため、除塵対策は開水路系の取水工に比べ注意が必要であり、フローティングスクリーン、バースクリーン及びトラベルスクリーンにより管理を行う。

事例2 沈砂池における取水口ゲートの下流水位設定制御と流量調節ゲートによる取水管理の事例

本取水工は、図-22.1-5 に示すように取水工ケース3に該当するものである。まず、堰上流の河川水位は、本川調節ゲートによりある範囲（15 cm 以内）の設定水位に制御される。

次に、取水口ゲート（スルースゲート）により、沈砂池内の水位が設定水位（設定水位±1cm）に制御される。本制御は、いわゆる下流水位一定制御である。流量は、沈砂池末端に設けられている起伏ゲートにより制御されるシステムとなっている。

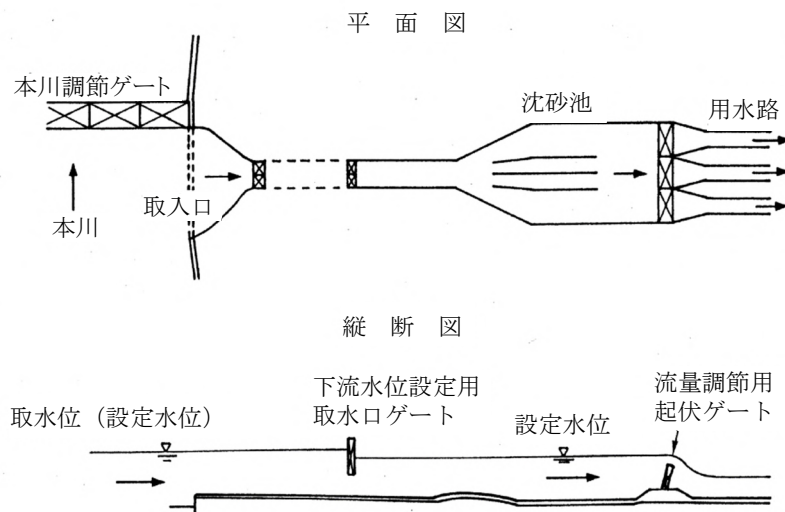


図-22.1-5 2段階の設定水位制御による取水管理の事例

本施設の特徴としては、下記の事例が挙げられる。

- (1) 流量制御のための2段階の設定水位制御がなされており、河川の外乱条件を緩和して、精度の高い水位制御が可能である。
- (2) 水面積の大きい沈砂池内を最終的な取水管理のための水位制御の場としており、設定水位の自動制御システムにおいて、ハンチング等の発生を抑制する水理構造となっている。
- (3) 沈砂池末端の起伏ゲートは、各幹線水路の分水工としての機能も有しており、越流により流量支配点が明確にされているため、流量制御しやすい。

事例3 流量支配点を明確にした取水工の事例^{*3*4}

取水口のゲートは、オリフィスによる引き上げゲートで設計するのが一般的であるが、本事例は、新規利水のため図-22.1-6 に示すように、下流への放流量を確保するために、取水量を厳密に管理する取水構造となっている。

^{*3} 目置克巳・四方田穆・上田豊男・藤井洋治：十津川紀の川農業水利事業下瀬頭首工について、水と土、No. 11（1972）

^{*4} 川合亨・菊岡保人・皆川勝美・岩崎和己：蛇行著しい岩床河川に設置する取水施設の実験的研究、農業土木試験場技報、B（水理）、No. 15（1968）

まず、取水口ゲートは、起伏式となっており、特に渇水時において、越流（限界流）地点で流量支配点を作り、下流の取水量検定堰（越流式）の $Q-H$ 曲線により、取水口ゲート開度操作が行われる自動制御システムとなっている。

本事例は、水頭に余裕があるため流量制御が限界流の発生する流量支配点で行われていることから、安定した取水管理を可能としている。

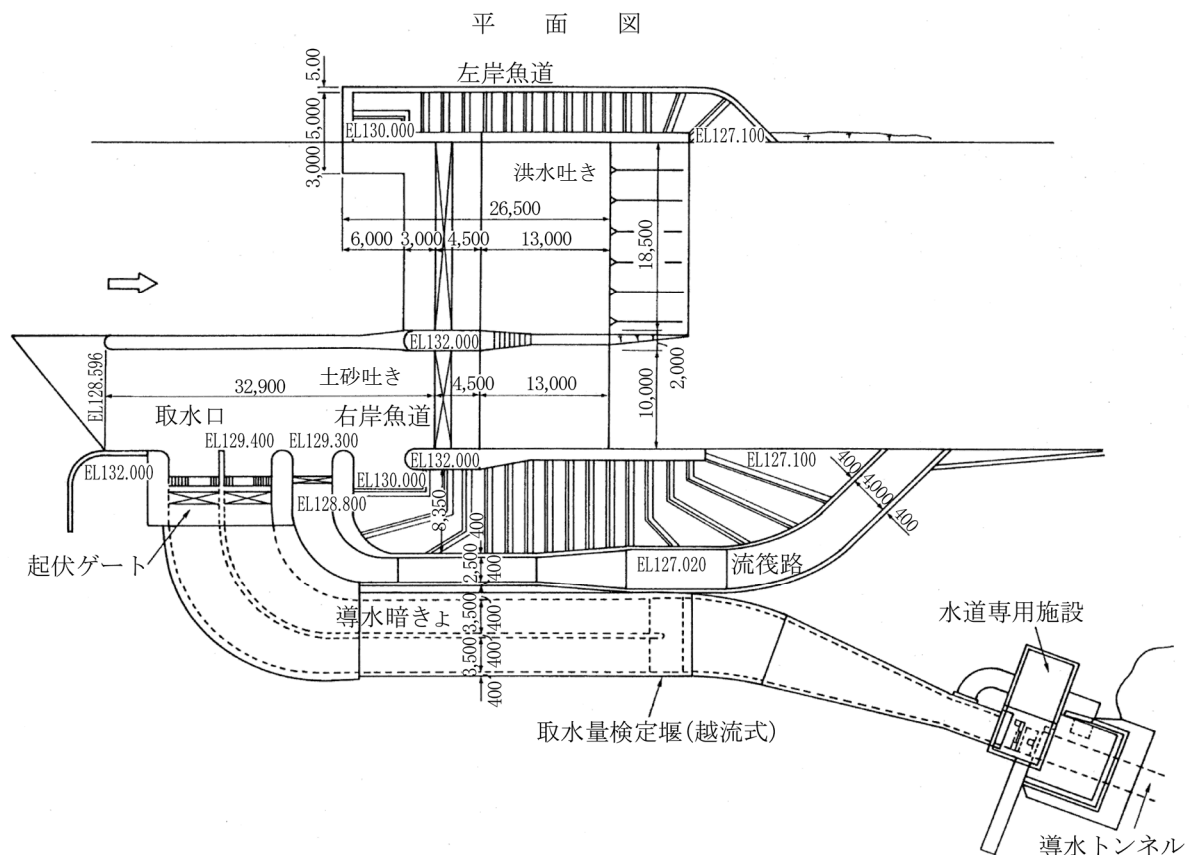


図-22.1-6 流量支配点を明確にした取水工の事例

22.2 放流管理施設

22.2.1 平常時の放流施設

頭首工下流の水利権者等に対する責任放流の確保や、河川の流水の正常な機能を維持する必要性から、頭首工においては確実な放流とその放流量を把握することが可能な施設構造を設計する必要がある。

(1) 放流施設の構造

一般に、頭首工における放流は、土砂吐き及び洪水吐きにおけるフラップゲートの操作や魚道で十分対応できる場合にはこれらの施設を兼用することが可能である。

現在供用されている頭首工においては、主に魚道と土砂吐き、洪水吐きを放流施設として兼用している場合が多い。しかし、微少流量の調整が必要な場合には、水位、開度によってゲート振動が発生したり、流量確認が困難な場合が生じることがある。また、魚道においては、放流量が

増加すると魚の遡上に支障を来したりする場合がある。

このため、放流施設としては、土砂吐きゲートのみによるなどの微少流量の制御が可能な兼用方式を検討し、一方、兼用することが操作管理上困難な場合には、専用の放水路等による放流施設を検討する必要がある。

(2) 兼用施設による場合

兼用する施設としては、比較的下流への放流量が少ない場合には、魚道を利用する場合が多く、流量が大きくなると洪水吐き及び土砂吐き等の利用が多くなる。

魚道の場合には、魚の遡上環境から、魚道の流況を制御する必要がある、放流により、魚道内の流速や流況が悪化しないような管理が不可欠である。

洪水吐き及び土砂吐きを兼用とする場合は、頭首工の安全管理の観点から、下流護床工の洗掘を防止するために、河川全幅から均一に流水を放流することが求められるが、放流量管理の観点からは、放流する区間を限定して管理制御することが必要となる。このためには、放流工として兼用する部分の護床工は強固なものにする必要がある。

一般に放流部分としては、土砂吐き等の上段扉（フラップゲート等）を利用する。

この時、放流量の制御及び計測のために、フラップゲート等の水理特性を水理実験等から十分に把握しておくことが重要である。

フラップゲートの流量係数を求めた実験結果の例として図-22.2-1を示す。フラップゲートからの流量は、式(22.2-1)により示される。

$$Q = C \cdot B \cdot H^{3/2} \quad (\text{完全越流の場合}) \quad \dots\dots\dots (22.2-1)$$

ここに、 Q ：越流量

C ：流量係数

B ：越流幅 (m)

H ：越流水深 (m)

流量係数は、越流水深 (H) 及びゲートの起伏高 (W) により、変化する。

このため、管理・制御システムを構築するためには、これらの実験データをパラメーターとして組み込み、精度の高い放流管理システムの設計を行う。

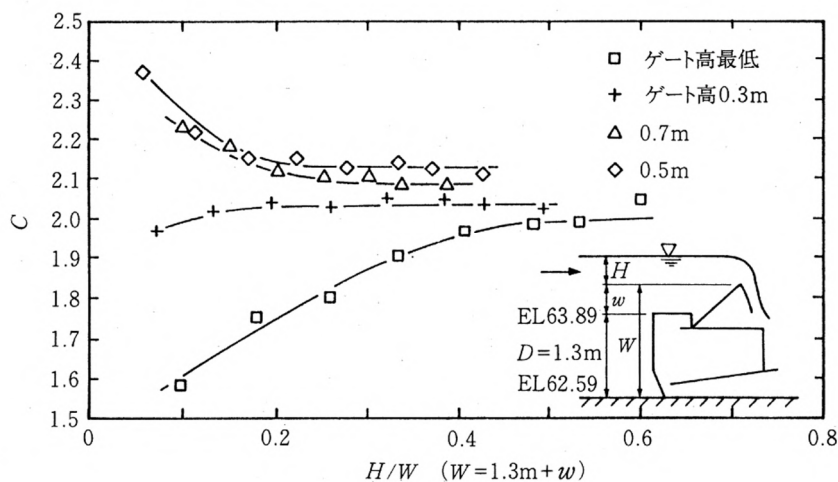


図-22.2-1 頭首工土砂吐きフラップゲートの流量係数に関する実験結果例

(3) 専用施設による場合

微小流量調節等の問題により、兼用施設では、対応不可能な場合には専用施設として、放水路等のバイパス水路等を検討する必要がある。放水路の構造は、所要の水量を確実に放流するため、一般に取入口は堰の上流に設け制水ゲートを設置する。

なお、管路式の放水路では、呑口部及びゲートバルブ付近での塵芥による閉塞が予想されるため、除塵施設の設置が不可欠である。

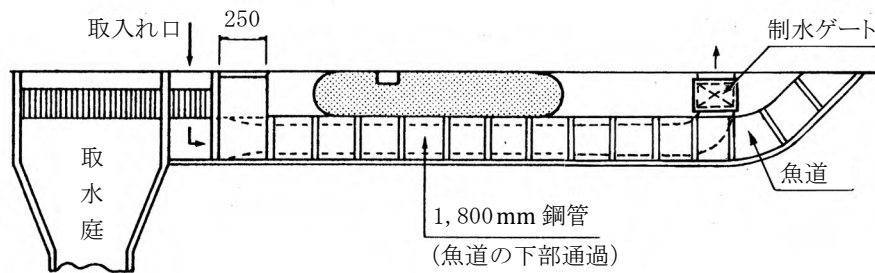


図-22.2-2 放水路の実施例

22.2.2 洪水時の放流施設

頭首工の洪水放流は、一般に洪水吐きゲート、土砂吐きゲートで行う。放流方法は管理規程等により定められるが、下流河川に対し安全に対処することが基本となる。ゲートの操作方法によっては流水に異常な状態が発生する恐れがあるので、あらかじめゲート開閉又は倒伏の順序、1回の操作による開閉量を定めておく。ゲートの操作は、1門又は一部のゲートによる開閉だけでは行わないようにする。

洪水時におけるゲートの開度量は、上・下流河川の水位変動に与える影響が大きく、過度な開度量で操作した場合には、下流河川への流下量が一時的に増加して急激な水位変動を招き、また、片寄った放流が下流河川の流れを攪乱させ被害発生につながるケースもある。このため、それぞれのゲートの1回の開閉の幅が決められた値を超えないよう制限することにより、下流河川水位（基準地点水位）の急激な水位上昇（急激な水位上昇とは一般に30 cm～50 cm/30分を超える場合をいう。）を生じさせないよう頭首工からの安定した放流に努める。なお、やむを得ずこれを超える場合は、一般住民及び入川者に周知させるための措置として、現地の状況に応じた立札・電光掲示板等による掲示を行うほか、サイレン・警鐘・拡声機・回転灯等で警告し、安全を確認した上で、放流する。

ゲート始動間隔は、複数ゲートの同時始動でオーバーロードが発生しないよう、一般的には10～30秒程度の制限を設けることが望ましい。

22.3 自動制御システム

頭首工からの取水を安定に保つためには、頭首工上流水位の変動及び取入口の外乱（水面動揺）並びにゲート動作による水位変動を十分吸収できるシステムを構築することが重要である。

水位変動要因としては、一般には河川水位の変動要因が大きいいため、頭首工上流水位を一定に保つための自動制御システムが採用されている。

なお、自動制御システムの構築においては、必ず運用開始前にハンチング等の支障がないかを確認し、もし支障があれば不感帯幅等のパラメータの最適値を選択するなどして、予定管理者が円滑に使用できるようにしておくことが必要である。

22.3.1 自動制御システムの種類と特徴

頭首工上流水位を一定の高さに維持するための自動制御システムとして、一般に、定水位制御方式が採用されている。

この定水位制御方式には、水位偏差方式と不感帯方式があり、流入量変化が大きい場合は水位偏差方式を用い、流入量変化が少なく安定している場合は不感帯方式を用いるのが有効である。

(1) 水位偏差方式

水位偏差方式は、上流水位を許容水位幅内に維持するために採用されている放流方式であり、水位偏差に応じて目標放流を増減させるものである。

上流水位が設定水位（ H_s ）を上限、下限水位（ H_0 ）を下限とする操作水位幅内（ ΔH ）にあるとき、全放流量が次式を満足するように水位偏差（ h ）に対応する目標全放流量を算出するものである。

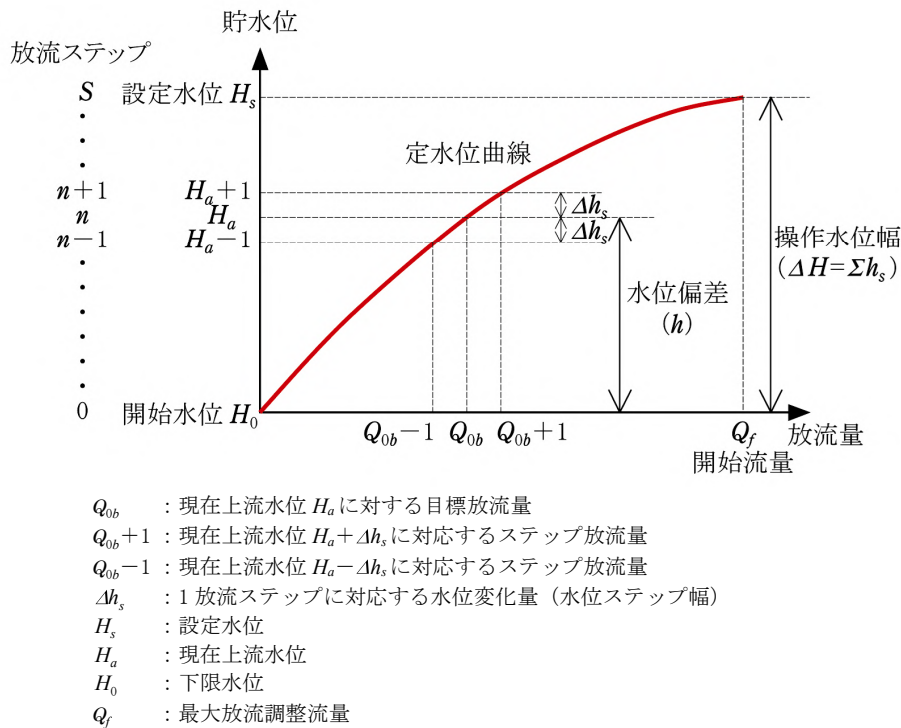


図-22.3-1 水位偏差方式概念図

目標全放流量の算出は、放流ステップー放流量対応表により行う。

放流ステップー放流量対応表は、以下に示す放流ステップ数、水位ステップ幅、ステップ放流量より構成される。

これらは、設定値の変更が可能なものとする。

(2) 不感帯方式

不感帯方式は、上流水位が設定された水位を中心に不感帯内に維持するように上流水位の変化に応じて放流量を増減させる上流水位定水位制御方式である。水位偏差方式に比べ簡便な方式であり、水位偏差量に無関係に、あらかじめ設定された単位ステップ動作を行う。上流水位変化が大きい場合にはハンチングを生じやすいため適用できない。

22.3.2 自動制御システムの設計例

事例 取水管理施設の操作性能の評価及び向上対策の事例

本頭首工は、上流水位一定管理型の取水施設である。このため、取水量が一定の場合であっても、頭首工地点への流入量の変動すると、上流水位を一定に保つため、ゲート操作による取水管理が必要となる。既設の管理施設では、扉体幅 30 m のローラゲートを開閉し、ゲート下端からの放流量を増減することにより水位調節していたが、微少開度での操作や熟練要員の確保等操作性能の面から課題が多々あった。

このため、管理実績の面から上流水位一定管理について分析を行うとともに、操作性能向上のための対策として洪水吐き制水門ゲートの上段にフラップゲートを付加し、水位偏差ステップ方式による上流水位一定制御方式の導入を検討した。

(1) 水位管理の現状と課題

本頭首工の上流水位管理の基本パターンは図-22.3-2 に示すとおりであるが、このうち平水時 ($600 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下) における流量が少ない場合の操作性能に関する課題について取り扱った。

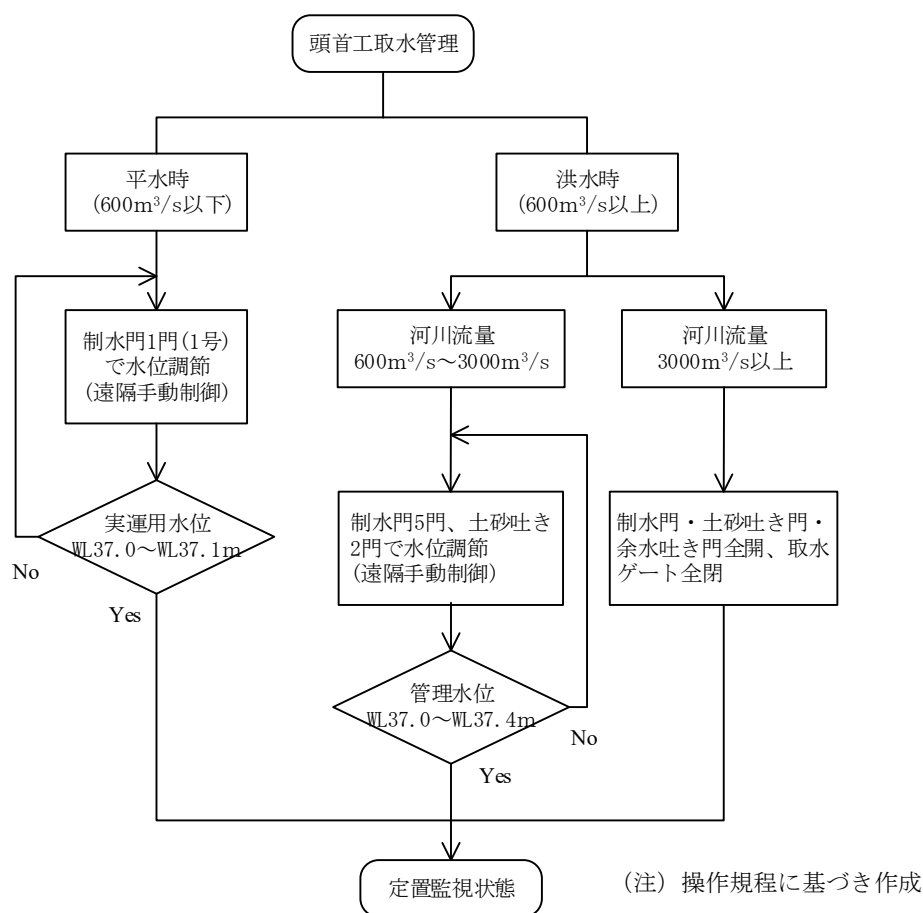


図-22.3-2 水位管理の基本パターン

この頭首工の管理水位は通年、WL 37.0～37.1 mと約10 cmの範囲での管理が求められている。

図-22.3-3は、かんがい期における頭首工流入地点での河川流量変動の実測事例（3 ケース）を時間単位で示している。これによれば、無降雨の場合であっても日単位の中で最大（8月15日）と最小（5月15日）の比は、1.1～2.1である。また、30 mm程度の降雨（7月1日）があった場合、この比は3.5と高くなる。このため、水位管理の基本パターン（図-22.3-2）に示すように、制水門の開度調整を上流水位の変動に併せて行い、水位を管理値の中に入れる操作が必要となる。

次に、この水位調整操作を行った場合の上流水位の変動を図-22.3-4に示す。水面が震動しているように見えるのは、この間、制水門の開度を調整し目標値に近づけるための操作をしていることを意味している。この理由は、降雨時はもちろんのこと、無降雨時においても時間当たりの流量変動が水位管理操作を必要とするほど大きいことに起因している。

また、その水位管理のための制水門は幅30 mあり、構造的には、アンダーフローによる制御方式となっている。さらに、ゲート開度も微少操作（1 cm刻みの単位）であり、単位操作での流量調節量は1.6 m³/sになる。このため、水位管理の負担が大きく、熟練操作員の経験に期待するところが少なくなかった。

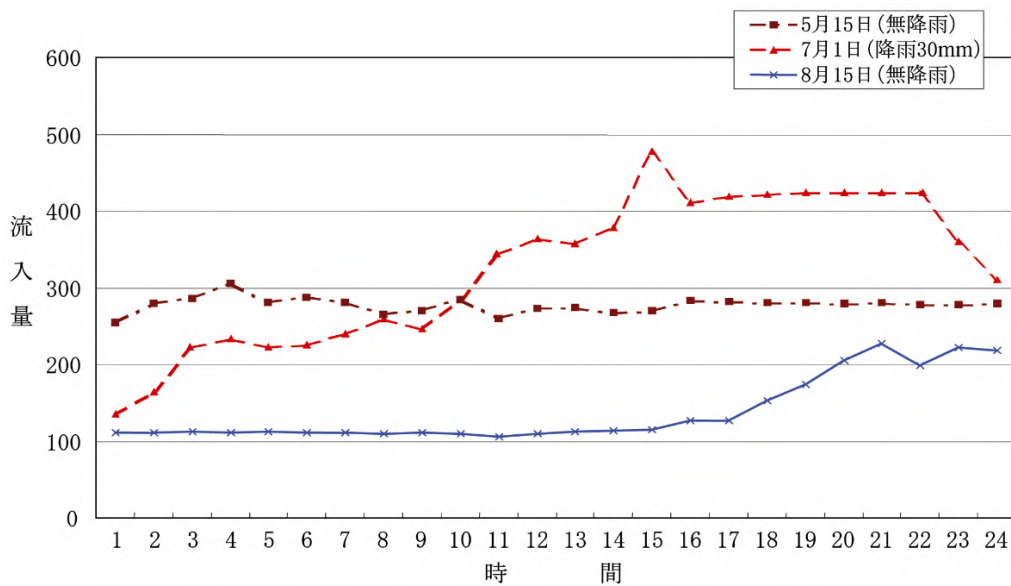


図-22.3-3 頭首工流入地点での流量変動(時間)

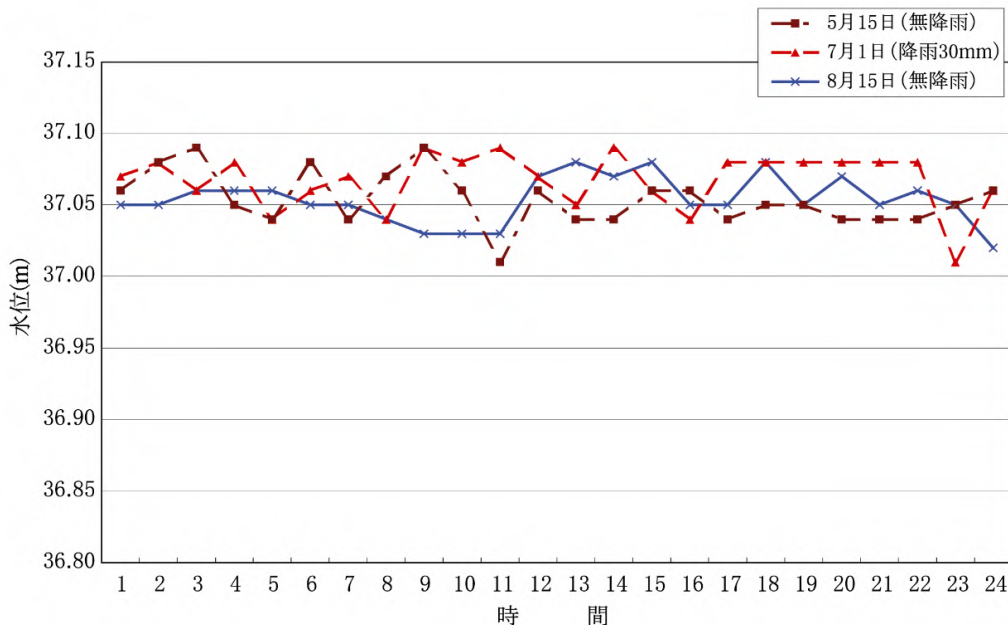


図-22.3-4 上流水位の管理特性(時間)

(2) 水位管理の操作性能の向上対策

本事例では、水位管理の基本パターンのうち、平水時の操作性能を向上させるため、図-22.3-5に示すようなシェル構造ゲートにフラップゲートを付加させた2段式ゲートにすることにより、水位調整が容易に行える構造とした。これにより、既設制水門による管理では、1 cm の単位での操作が求められたが、同一の流量制御をおおよそ 10 cm 単位の操作範囲に拡大することができた。

また、自動制御システムは、本頭首工地点における流量特性より、水位偏差方式を採用している。この方式は、頭首工への流入量が増減した場合、上流基準水位と実水位の偏差から流入量と放流量のバランスをとって堰上流水位を範囲内に保つようにフラップゲートを制御する方式である(図-22.3-6)。

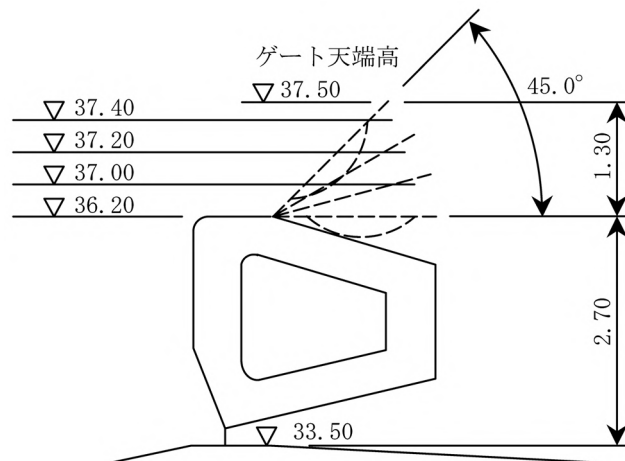


図-22.3-5 フラップゲート付き2段式ゲートの構造

フラップゲートの流量調整範囲を越えた場合、ベース流量を制水門から放流し、同時にフラップゲートの水位偏差による微調整が出来るようにしている。

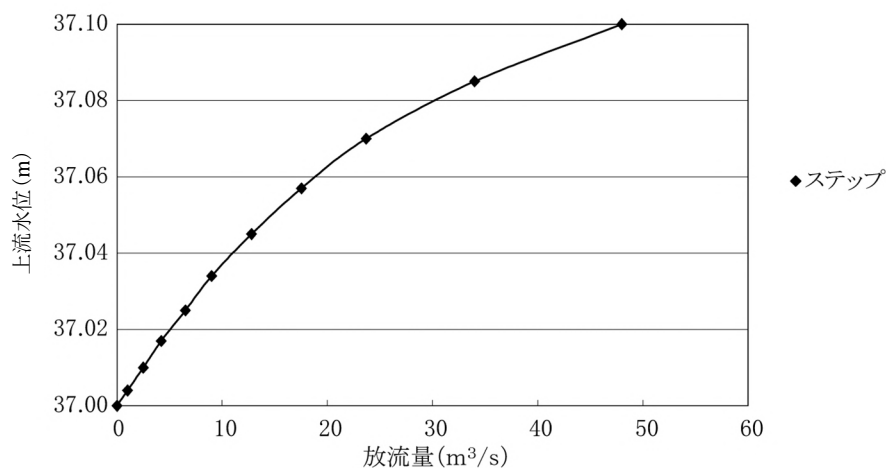


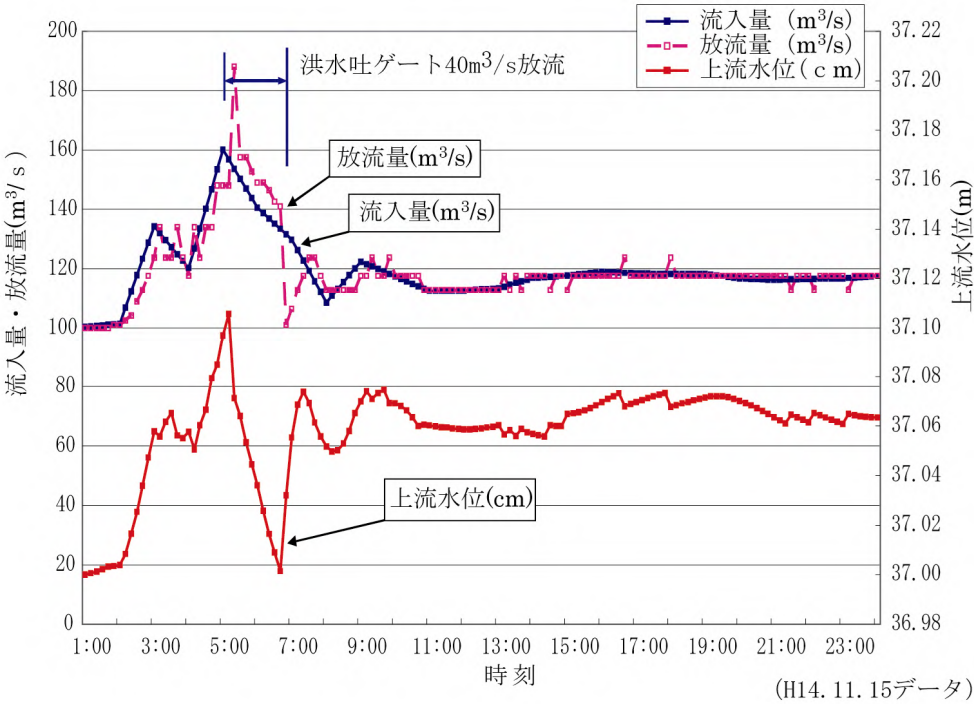
図-22.3-6 水位偏差ステップ方式のステップと放流量の関係

(3) 性能評価

フラップゲートによる水位偏差ステップ方式の自動制御を行った場合の放流量調整を、実際の流量データを用いてシミュレーションした結果の一つを、図-22.3-7に示す。

制御設定は、ステップ幅の平均幅を1cmとし、上位のステップに行くほどステップ幅を広くとったものであり、管理範囲に収束することが確認できている。このことから水位偏差ステップ方式が最適と考えられる。

過去の実測データに基づいた頭首工地点における流量特性から、上流水位制御方式について、頭首工の操作性能の向上対策を検証した例である。



シミュレーション条件

1. 10 分毎に水位確認し基準水位との偏差でフラップゲートを開閉する。
2. フラップゲートの開閉は 10cm 単位で動作させる。
3. 上流水位が管理範囲を超える場合は、別ゲートの下端放流を行う。

図-22. 3-7 水位偏差方式の流入量・放流量と上流水位