

河川の流況に対応した頭首工ゲート制御と 運転管理手法について

株式会社 アルファ技研 藤本 嘉三
新津 雅士
西 恭二

1. はじめに

頭首工は、取水位を安定して維持し、かんがい区域の用水需要に合わせて取水量を調節する機能を有するが、他方、堤防等の被害防止や下流の危害防止を図りつつ頭首工ゲートの操作を行う必要がある。

近年はとくに、不特定の人々が河川を利用することが多く、頭首工等の河川流量を変動させる施設は従前に増して慎重な操作が求められている。

頭首工管理の難しさは、河川流況が降雨や融雪など自然現象のほか、多目的ダム等の調節の影響を受けるため、河川流況に応じたきめ細かな操作が必要になることであり、管理労力の大小は河川流況次第といっても過言ではない。このため、頭首工の運用に際しては、当該河川の自然流況を基に、安全確実に管理労力を軽減するゲート制御方式や頭首工操作の支援機能を充実させていくことが望まれる。

そこで、本報は、頭首工の円滑な管理運用に資するため、河川流況に対応した頭首工ゲート制御と運転管理手法についての検討事例を紹介する。

2. 頭首工の管理の原則

2-1 規則・規程等

農業水利施設である頭首工の管理は、「土地改良施設管理基準 - 頭首工 - 」に準ずると同時に、水利使用規則、及び水利使用規則の附帯条件である「管理規程」に従い、具体的な操作はこの規定により行うことが原則である。

頭首工の管理は、設備の内容に応じて電気事業法に

基づく保安規程などが適用されることがある。

2-2 管理規程

管理規程は、頭首工の操作、管理に関する必要な事項が定められている。具体的には、下記のようなものである。

以下、標準堰管理規程¹⁾より引用する。

(水位の制限)

第7条 堰の水位は、堰ゲートにより、標高 m を超えて堰上げしてはならない。

2 管理責任者は、前項に規定する水位以下において 用水の取水を行い、かつ、河川の水位を恒常的に維持させるよう努めなければならない。ただし、堰ゲートにより堰の水位を堰上げしていない場合は、この限りではない

第1項は、河川の安全面から、必要以上に水位を上昇させて高水敷からの迂回流による流況の乱れや堤防からの溢水の被害防止を図る等、防災上の立場から堰上げの最高限度及び取水位の最高限度を規定している。他方、利水面からみると、河川水位が不安定な状態では、安定した取水とそれに伴う水路水位が維持できないばかりか、堰上げ水位が高くなりすぎると、取水ゲート開度一定条件下においては過大取水となり、水路からの溢水による災害の発生も危惧されることとなる。

このため、頭首工における河川水位維持は双方の安全を確保する上で極めて重要といえる。また、これが、頭首工管理において操作者が最も労力を要することでもあろうと思われる。

頭首工の河川水位（堰上げ水位）の管理はゲートの構造性能、操作性能を保持する上限値でもある。

なお、ここに、堰（頭首工）ゲートとは、洪水吐ゲート、土砂吐ゲートをいう。

（放流量の制限）

第 11 条 堰ゲートにより堰の水位を堰上げしている場合において、堰ゲートを開閉して放流量を変動させる場合（以下、放流という。）は、下流の水位に急激な変動を生じさせないように別図第 1 に定めるところによってしなければならない。

本条は、堰ゲートから放流する場合の最大変化量を規定するものであり、堰ゲートからの放流により下流河川の水位が急激に上昇して人命その他に危害を加えたり、河川災害が起きないように放流量の変化量の限度を定めている。具体的には、放流の影響の及ぶ区間で最も危険な箇所を対象に 30 分につき 30cm 程度の水位変化を目安とし、放流量と一定時間（10 分間）の放流量の変化量の関係図（放流限度量曲線図）として作成される（図 - 1）。

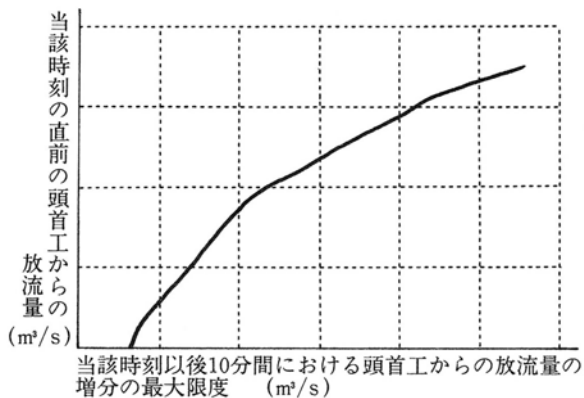


図 - 1 放流限度量曲線図（例）

（堰ゲートの操作等）

第 12 条 洪水吐ゲートの名称は、左岸に近いものから右岸に向かって順次「第 1 号ゲート」「第 2 号ゲート」・・・及び「第 号ゲート」という。
2 洪水吐から放流する場合においては、洪水吐ゲートを次の順序によって開き、第 号ゲートを開いた後さらに放流量を増加するときは、同様の操作を繰り返すものとし、開かれたゲートを閉じるときは、これを開いた順序の逆の順序によって

るものとする。

第 号ゲート

第 号ゲート

・・・

第 号ゲート

3 堰ゲートの 1 回の開閉の動きは、 m を超えてはならない。ただし、堰地点の河川流量が急激に増加している場合において、第 7 条の規定を維持するためにやむをえないと認められるときは、この限りではない。

4 一の堰ゲートを開閉した後、引き続いて他の堰ゲートを開閉するときは、当該堰ゲートが停止したときから少なくとも 秒経過した後でなければ他の堰ゲートを始動させてはならない。

（以下省略）

第 2 項は洪水吐ゲートを操作して放流する場合、ゲートを開く順序及び閉じる順序を規定している。この規定に基づいて、各開度に応じた水位～放流量曲線を作成しておく必要がある。

第 3 項は、下流の水位変動等に係る安全のためにそれぞれのゲートの開閉の限度が規定されている。ただし書きは、第 7 条の堰上げの最高限度を保つためやむをえない措置であるが、第 11 条に規定する放流量の変動の限度内で操作による放流を制限する必要がある。

第 4 項は、ゲートの操作を行うに当たって、機械的又は電氣的にオーバーロードとなるのを防ぐため、また、一度に必要以上の放流とならないよう、1 門のゲートを開閉した後、次のゲートはある一定時間経過した後でなければ操作できないものとしている。その時間は、ゲート又は動力設備により異なるが、おおむね 30 秒程度が目安とされている。

3. 頭首工ゲート制御の検討事例

頭首工の堰上げ方式は、従前は固定堰、あるいは全可動堰（とくに、起伏式ゲート）が数多く建設されていたが、1976 年の河川管理施設等構造令施行後は引上げ式ゲートが多くなっている。

そこで、本稿では、引上げ式ゲートを有する A 頭首工の制御方式の検討事例を示す。

3-1 頭首工ゲートの水利・構造諸元

(1) ゲート

- ・洪水吐ゲート（ローラー式）～ 4 門
- ・土砂吐ゲート（フラップ付ローラー式）～ 1 門

(2) 開閉方式

- ・電動によるワイヤーロープ巻取式。

(3) 操作方式

- ・機側操作及び遠隔操作。但し、土砂吐上段扉は設定値水位制御可。

表 - 1 頭首工ゲート諸元一覧

計画取水水位		EL.m	206.51	
最大堰上げ水位		EL.m	206.91	
設計水位	洪水吐	EL.m	206.91	
	土砂吐	EL.m	206.91	
操作水位	洪水吐	EL.m	206.91	
	土砂吐	上段扉	EL.m	206.91
		下段扉	EL.m	206.91
敷高	洪水吐	EL.m	205.11	
	土砂吐	EL.m	204.11	
ゲート天端標高	洪水吐	EL.m	206.61	
	土砂吐	EL.m	206.61	

3-2 河川流況の検討

本例では、上流に多目的ダムが建設中で、ダム完成後はダムによる河川水の流量調節が行われる。一方、A 頭首工は、ダム完成前に運用が予定されていることから、運用開始時期にタイムラグが生ずる。

頭首工ゲートの操作制御は河川流況に左右されることから、頭首工の予定管理者への管理委託後の運用が円滑に実行されるためには、頭首工ゲートの操作制御においては、ダム操作後流況のみでなく、過渡的期間にあるダム操作前流況（現況流況）についても検討する必要がある。

具体的には、ダム操作前後の河川流況特性を把握し、それぞれの流況に対して計画されたゲート設備とその操作制御方式が十分な機能を有しているか否か、及び各段階でゲート操作上留意すべき事項は何か等について検証を行い、これらの検討結果を予定管理者に引き継ぐことが重要である。

このことから、以下に、ダム操作後流況と操作前流況の 2 ケースのゲート操作制御について検討する。

(1) ダム操作後の河川流況特性

A 頭首工地点の 10 ヶ年間のかんがい期の河川流況（日平均流量）は表 - 2、図 - 2 のようになっている。

表 - 2 A 頭首工地点におけるダム操作後の流況（期間：5 月 1 日～8 月 31 日）

流量年	最大流量 (1/123)	豊水量 (32/123)	平水量 (62/123)	低水量 (93/123)	渇水量 (120/123)	最小流量 (123/123)
1971年	22.817	8.146	7.778	7.145	6.661	6.661
1972年	32.628	8.403	7.959	7.308	5.832	5.832
1973年	42.746	8.434	7.583	7.069	6.133	5.673
1974年	58.156	10.285	7.396	6.880	5.701	5.701
1975年	12.793	7.976	7.613	7.265	6.418	6.418
1976年	16.424	8.082	7.676	7.171	6.207	6.207
1977年	44.798	8.728	8.007	7.620	5.740	5.740
1978年	21.328	9.331	7.477	6.974	6.454	6.454
1979年	30.128	9.653	7.779	7.030	6.180	6.180
1980年	25.263	10.470	7.774	7.376	2.971	2.971
平均	30.708	8.951	7.704	7.184	5.830	5.784

- 注) 1. かんがい期間は5月1日～8月31日までの123日間とした。
 2. 豊水量は、大きい方から順に数えて32番目とした。
 3. 平水量は、大きい方から順に数えて62番目とした。
 4. 低水量は、大きい方から順に数えて93番目とした。
 5. 渇水量は、大きい方から順に数えて120番目とした。

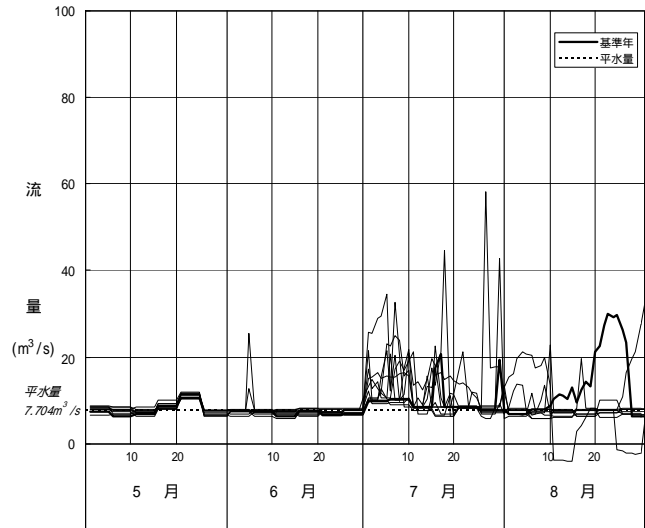


図 - 2 A 頭首工地点におけるダム操作後流況

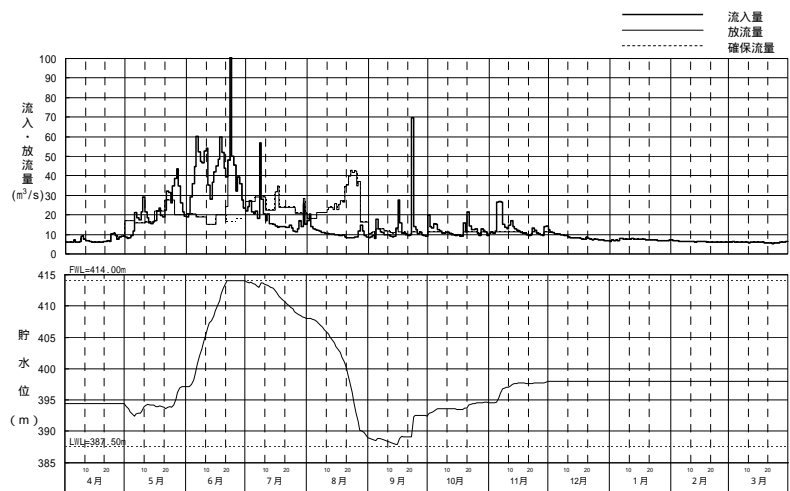


図 - 3 多目的ダムの貯水池運用計画図

表 - 2 より、ダム操作後は豊水量、平水量、低水量に大差なく、5月～6月の融雪期間の流況は極めて安定している。このことは、図 - 3 より、ダムの調節によるものである。

流況がやや不安定になるのは、ダム満水後の7月初旬から台風期の7月下旬であり、この時期は頭首工操作において注意、警戒が必要な時期と言える。

(2) ダム操作前の河川流況特性

操作前の頭首工地点流量は、「川の防災情報」(国土交通省河川局水情報国土データ管理センターHP)より、下流河川基準点流量に現況水利権量を加算して推定した(表 - 3、図 - 4)。

表 - 3 A頭首工地点のダム操作前の流況

流 量 年	最大流量 (1/123)	豊水量 (32/123)	平水量 (62/123)	低水量 (93/123)	渇水量 (120/123)	最小流量 (123/123)
1971年	84.630	33.340	13.610	8.270	2.180	1.700
1972年	55.850	24.340	18.570	13.970	8.500	7.160
1973年	183.610	40.520	25.810	16.060	11.100	10.590
1974年	145.830	34.610	20.770	12.710	7.470	5.930
1975年	246.420	28.070	20.830	15.440	8.800	8.360
1976年	73.080	26.040	14.330	7.620	3.450	2.860
1977年	106.100	27.900	12.460	8.480	4.340	3.860
1978年	87.340	32.090	17.680	11.680	7.030	6.280
1979年	64.110	30.440	22.250	16.450	8.310	7.010
1980年	86.060	25.930	13.030	6.540	1.680	1.480
平均	113.303	30.328	17.934	11.722	6.286	5.523

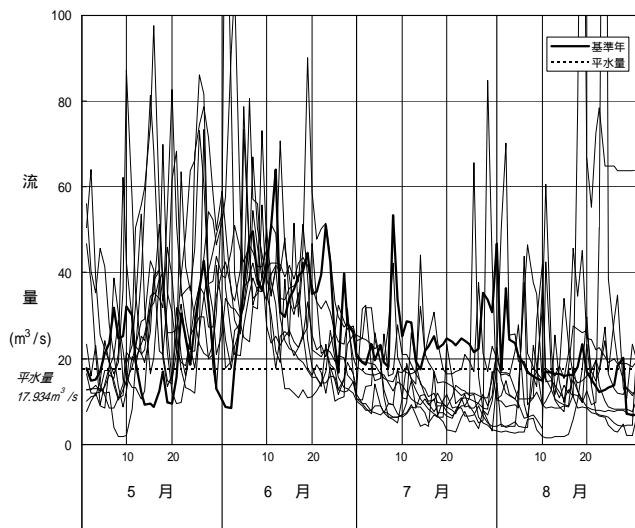


図 - 4 A頭首工地点におけるダム操作前流況

ダム操作後は下流利水量と基準点正常流量を維持するようにダムで調節されるため、河川流量が平滑化されるが、ダム操作前は操作後流況に比し、豊水量、平水量が2～3倍大きく(表 - 4)、図 - 4ではとくに融雪期の5月、6月及び洪水期にあたる8月の流量変動が大きいことが分かる。

表 - 4 頭首工地点のダム操作前・後の流況 (計画基準年 1979)

	最大流量 (1/123)	豊水量 (32/123)	平水量 (62/123)	低水量 (93/123)	渇水量 (120/123)	最小流量 (123/123)
操作前	65.632	32.192	23.822	17.972	9.832	8.532
操作後	30.128	9.653	7.779	7.030	6.180	6.180

3-3 土砂吐ゲート(上段扉)流量制御の適応性検証

土砂吐ゲートには、安定取水水位確保のための水位調整を考慮した2段ゲートが装備されている。この上段扉(フラップゲート)は、管理規程第7条第2項に規定される水位の制限を守るとともに、利水に必要な取水水位を確保するものである。

いま、前項の頭首工地点河川流量をもとに、上段扉でどの程度制御可能か検証してみる。

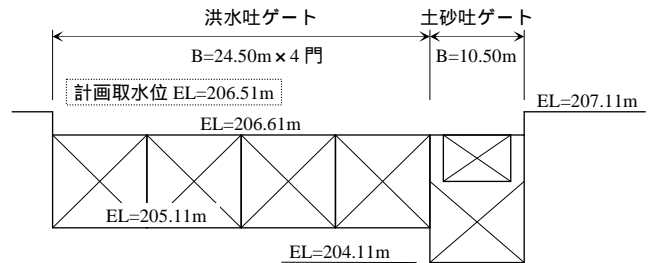


図 - 5 頭首工ゲート模式図

(1) 検討ケース

頭首工の堰上げ水位は、洪水吐ゲート天端からの越流を許容している。河川の増水時において一時的に、ゲート天端からの放流(越流)とゲート開操作によるゲート下端からの放流が同時になされることがあるが、この状態を長時間継続すると、ゲートに振動が発生したり、振動の増幅によるゲート構造、水理機能への影響が懸念される。ゲート施設等の保全及び水理機能維持には、極力ゲートからの越流を生じさせない管理が望ましいといえる。

上記理由より、ここでは洪水吐ゲートからの越流を許容しない下記2ケースについて、頭首工地点の放流量を基に、土砂吐上段扉によるかんがい期間の制御可能頻度を検証する。

ケース1: 河川水位を WL=206.61m (=洪水吐ゲート天端標高)としたとき

ケース2: 河川水位を WL=206.51m (=計画取水水位)としたとき

なお、計算範囲は、上段扉全開まで(越流水深 h=0.01m ~ h=0.80m)とした。

(2) 上段扉の流量公式

上段扉の流量公式は、下式²⁾を用いた。

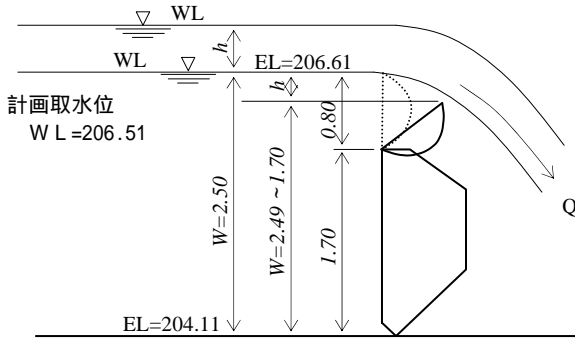


図 - 6 土砂吐ゲート概念図

$$Q = C \times B \times h^{3/2}$$

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{W} \right) (1 + \varepsilon)$$

計算結果より、洪水吐ゲートの越流を許容しない場合での上段扉の制御可能流量は 11m³/s となる。

(3) A 頭首工におけるダム操作後の放流量

ダム操作後の A 頭首工放流量を図 - 7 に示す。

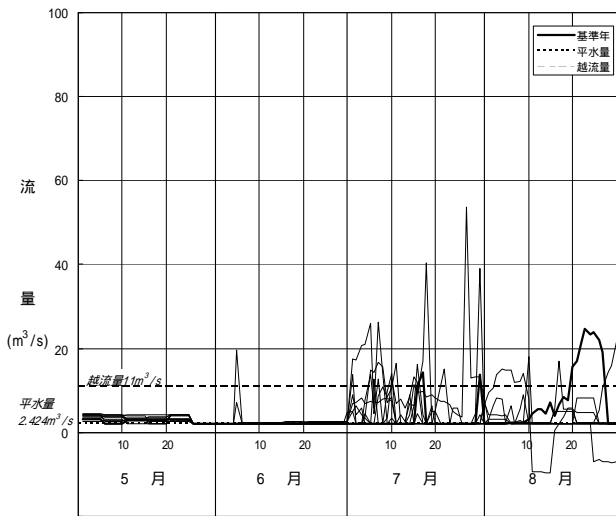


図 - 7 ダム操作後の頭首工地点放流量

注) 頭首工放流量は、頭首工地点河川流量から取水量を差し引いた値とした。

(4) 上段扉制御可能頻度の検討

上段扉を上記 2 ケースで転倒させたときの制御可能頻度 (超過頻度・非超過率) は表 - 5 のとおりである。

表 - 5 土砂吐上段扉の制御可能頻度

検討ケースと上流水位	ケース 1 WL=206.61m (ゲート天端標高)	ケース 2 WL=206.51m (計画取水水位)	備考	
	越流量 Q=11m ³ /s 上段扉全開時 越流水深0.80m	越流量 Q=9m ³ /s 上段扉全開時 越流水深0.70m		
年	超過頻度 (日)	非超過率 (%)	超過頻度 (日)	非超過率 (%)
1971年	1	99	1	99
1972年	4	97	4	97
1973年	9	93	11	91
1974年	8	93	11	91
1975年	0	100	0	100
1976年	0	100	0	100
1977年	7	94	9	93
1978年	6	95	7	94
1979年	11	91	11	91
1980年	10	92	14	89
平均	5.6	95.4	6.8	94.5

表より、上段扉全開時ではかんがい期間 123 日間の内、ケース 1 では 95.4%、ケース 2 の場合でも 94.5% の割合で制御可能である。

本結果から、洪水吐ゲートから越流を許容せずとも、土砂吐上段扉での制御は十分可能と判断され、設定値制御等による自動運転システムの導入により、水位保持に要する労力の軽減とゲート施設等の保全及び水理機能の維持が可能と判断される。

一方、ダム操作前の河川流況は流量変動が大きく、平水量も 11m³/s を上回っている (表 - 3、表 - 4) ことから、ダム運用開始までの「過渡的期間」は洪水吐ゲートの操作頻度が多くなるといえる。このため、予定管理者に対しては、ダム運用開始前のゲート操作には十分に注意するよう周知する必要がある。

3-4 頭首工ゲートの操作支援のための段階操作シミュレーション

頭首工ゲート設備の操作機能の検証、及び供用開始後の実管理への対応における操作設備設計のための支援、あるいはゲート開度～放流量演算の操作者への支援のため、図 - 7 に示す放流限度を守りつつ頭首工ゲートを開操作する、「段階操作シミュレーション」を行った。

ゲート最小開度がどの程度になるか、また、その最小開度はゲート制御機能に合致しているかを検証する。

段階操作において、頭首工ゲートの流出形態 (自由流出か、もぐり流出か) を確認し、操作設備設計の

支援としたり、あるいは放流量及び頭首工地点河川流量演算の早見表等による操作者の操作判断等における基礎資料とする。

(1) ゲート段階操作の計算手順

頭首工ゲート段階操作計算手順及び計算方法を以下に示す。

ゲートからの放流量は、下式²⁾を用いる。

$$Q = C \times a \times B \times \sqrt{2g \times h_0}$$

下流河川の水位上昇は10分間10cmを限度とした。

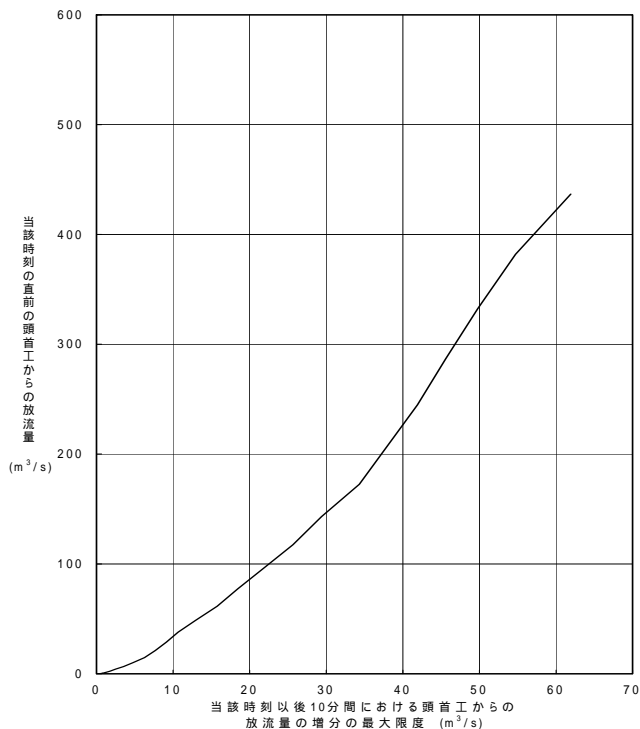


図 - 8 A頭首工の放流限度量曲線図

ゲート1回の操作は管理規程より0.30mを限度とし、ゲート操作順位は管理規程より表-6によった。

表 - 6 頭首工ゲートの操作順位

洪水吐ゲート				土砂吐ゲート	
1号	2号	3号	4号	下段扉	上段扉
				全開	全開まで
					全開まで
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
i+3 (全開)	i+1 (全開)	i (全開)	1+2 (全開)	i+4 (全開まで)	

河川水位はWL=206.61m(= 計画取水水位 + 10cm = ゲート天端標高) として行った。

ゲートを段階的に操作するに従い、下流河川流量(放流量)が増加し、下流河川水深の上昇によ

り、ゲートからの流出形態は、自由流出から潜り流出へと変化する。流出形態の判定は、ゲート開度(a)、上流水深(h₀)及び下流水深(hd)の関係から図-9³⁾を用いた。また、流量係数Cはスルースゲートの流量係数²⁾によった。

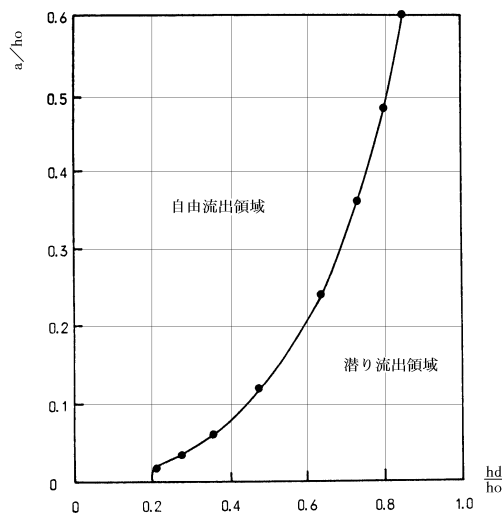


図 - 9 流出形態判定図

魚道放流量は、一定放流とした。

下流水深(hd)は、頭首工地点直下断面についてManningの等流公式より求めた。

(2) 段階操作計算結果

段階操作の結果を表-7に示す。本結果より以下の点が指摘される。

ゲートの最小動作開度は、洪水吐ゲートでは「操作段階2」より7cm(開度4.7%)であり、土砂吐ゲートで「操作段階15」より11cmであり、それぞれ開閉装置の機能上問題はなく、運用上支障がない。

洪水吐ゲートは、上流水深h₀=150cmに対し、ゲート開度(a)が90cmまでは自由流出である。

土砂吐ゲートは、上流水深h₀=250cmに対し、ゲート開度(a)が150cmまでは自由流出である。

以上より、頭首工操作に際し、「開度~放流量」演算はa/h₀ 2/3において自由流出として問題はないと判断される。

表 - 7 段階操作計算結果

操作段階	第1号洪水吐ゲート			第2号洪水吐ゲート			第3号洪水吐ゲート			第4号洪水吐ゲート			土砂吐ゲート				頭首工ゲート放流量 (m³/s)	全放流量 (m³/s)	下流水深 h₀(m)	放流限度量 (m³/s)	増加放流量 (m³/s)						
	開度 (m)	流出形態	流量係数	放流量 (m³/s)	開度 (m)	流出形態	流量係数	放流量 (m³/s)	開度 (m)	流出形態	流量係数	放流量 (m³/s)	開度 (m)	フラップゲート	流出形態	流量係数						放流量 (m³/s)					
1	全閉			0.000	全閉			0.000	全閉			0.000	全閉					11.271	11.271	14.050	0.14	5.911	5.486				
2	全閉			0.000	全閉			0.000	0.07	自由	0.59	5.486	全閉					11.271	16.757	19.536	0.18	7.295	7.054				
3	全閉			0.000	全閉			0.000	0.16	自由	0.59	12.540	全閉					11.271	23.811	26.590	0.21	8.683	8.648				
4	全閉			0.000	全閉			0.000	0.29	自由	0.55	21.189	全閉					11.271	32.460	35.239	0.25	10.134	9.352				
5	全閉			0.000	0.11	自由	0.59	8.622	0.30	自由	0.55	21.919	全閉					11.271	41.812	44.591	0.29	11.945	11.836				
6	全閉			0.000	0.28	自由	0.55	20.458	0.30	自由	0.55	21.919	全閉					11.271	53.648	56.427	0.34	14.621	14.560				
7	全閉			0.000	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	自由	0.55	21.919	0.17	自由	0.58	13.098	全閉	全閉				11.271	68.208	70.987	0.39	17.380	16.659
8	0.10	自由	0.59	7.838	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	自由	0.55	21.919	全閉	全閉				11.271	84.866	87.645	0.44	19.895	23.251
9	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	自由	0.55	21.919	0.42	自由	0.53	29.571	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	全閉	自由	0.58	12.789	108.117	110.896	0.51	24.731	23.845	
10	0.30	自由	0.55	21.919	0.47	自由	0.53	33.091	0.60	自由	0.53	42.244	0.30	自由	0.55	21.919	0.30	全閉	自由	0.58	12.789	131.963	134.742	0.58	27.616	27.366	
11	0.30	自由	0.55	21.919	0.60	自由	0.53	42.244	0.60	自由	0.53	42.244	0.57	自由	0.53	40.132	0.30	全閉	自由	0.58	12.789	159.328	162.107	0.64	32.515	33.901	
12	0.60	自由	0.53	42.244	0.60	自由	0.53	42.244	0.63	自由	0.51	42.683	0.60	自由	0.53	42.244	0.60	全閉	自由	0.54	23.814	193.229	196.008	0.72	36.541	35.748	
13	0.60	自由	0.53	42.244	0.90	自由	0.50	59.779	0.90	自由	0.50	59.779	0.64	自由	0.51	43.360	0.60	全閉	自由	0.54	23.814	228.977	231.756	0.80	40.250	40.915	
14	0.90	自由	0.50	59.779	0.90	自由	0.50	59.779	0.90	自由	0.50	59.779	0.90	自由	0.50	59.779	0.79	全閉	自由	0.53	30.774	269.892	272.671	0.88	44.184	38.564	
15	0.90	自由	0.50	59.779	1.20	潜り	0.47	74.924	1.20	潜り	0.47	74.924	0.98	自由	0.50	65.093	0.90	全閉	自由	0.51	33.737	308.457	311.236	0.96	47.664	46.210	
16	1.20	潜り	0.47	74.924	1.20	潜り	0.47	74.924	1.36	潜り	0.47	84.913	1.20	潜り	0.47	74.924	1.20	全閉	自由	0.51	44.982	354.666	357.445	1.04	51.849	51.464	
17	1.38	潜り	0.47	86.162	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.20	全閉	自由	0.51	44.982	406.130	408.909	1.13	58.511	15.643	
18	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	全閉	自由	0.50	55.125	421.773	424.552	1.15	59.806	2.352	
19	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.50	潜り	0.46	91.662	1.70	全閉	潜り	0.46	57.477	424.125	426.904	1.16	60.749		

(備考) ・魚道放流量は一定放流(Q=2.779m³/s)とした。

4. ゲート制御による頭首工管理への支援

上述のように、頭首工管理においては堰上げ水位を恒常的に維持することが重要であるが、他方で刻々と変化する河川流況に対応したゲート操作は管理者にとっては多大な労力を強いられることとなる。

洪水警戒時及び洪水時等の非常時においては、洪水警戒体制のもとで頭首工に常駐し、ゲート操作にあたることは避けられない。しかし、平水時においては、前項3-3のような検討を行うことにより、自動運転システム(設定値制御等)による操作支援が管理労力軽減に有効な手段となるか否かを把握することが可能となる。

5. ゲート操作支援

放流限度量を遵守しつつゲート操作を行うには前出のように、水位、ゲート開度、下流水位の関係から放流量やゲート開度算定が必要であり、ゲート門数が多いほどその計算手順や計算ルール、図表の検索など管理者にとってはやや煩雑ともいえる作業が伴う。

そこで、ここでは前項3-4の検討結果を踏まえて、ゲート操作に要するこれら作業を省力化しゲート操作の支援とする、下記の2つの提案を行う。

操作支援システムの構築

供用開始前の頭首工管理設備導入の際に、種々の操作を考慮して、あらかじめプログラミングされた

「操作支援システム」を構築して労力を軽減する。

運転操作マニュアルの整備

供用中の頭首工で、システム化されていない場合、計算手順や計算方法を解説した「管理操作マニュアル」を整備し、管理者の計算処理を容易にする。以下に、上記の2つの検討事例を示す。

5-1 操作支援システム

前項3-4の検討結果より、上流水深(h₀)とゲート開度(a)の関係が、 $a = 2/3 h_0$ において自由流出とした場合、以下の支援を考える。

操作支援 : 操作対象ゲートを操作者に指示し、放流限度量に対応した開度を算定する。

操作支援 : 操作者が操作対象ゲートを入力し、放流限度量に対応したゲート開度を算定する。

操作支援 : 操作者が、現在河川水位、全放流量に対し、操作対象ゲート開度を指定して、全放流量を算定する。

(1) 操作支援

現在全放流量に対する放流限度量を算定し、操作対象ゲートを操作者に指示し、放流限度量に対応した開度を算定する。

管理規程に定められているゲート操作順位の考え方は、1回の開閉が30cmまでは当該ゲートの操作を連続

して行える(ただし、連続した操作の場合でも30秒間は停止させる)ので、当該ゲートの操作開度30cmを区切りとして次号ゲートへ移行するものとする。

参考に、図-10にフローチャート(例)を示す。

(2) 操作支援

主として堰ゲートの点検整備等で特定のゲートが動作不能状態のとき、管理規程の操作順位と異なるゲートを運用する際に活用する。

現在全放流量に対する放流限度量を算定し、操作者が指定したゲートにおける、放流限度量に対応した開度を算定する。指定されたゲートNoが、管理規程の操作順位と異なる場合には、操作者に判定を確認し、計算を実行または開始に戻る。

(3) 操作支援

操作者がゲートNo、開度を指定して、全放流量を算定する。

指定されたゲート操作順位が管理規程と異なる場合には、操作者に判定を確認し、放流量を算定または開始に戻る。参考に、図-11にフローチャート(例)を示す。

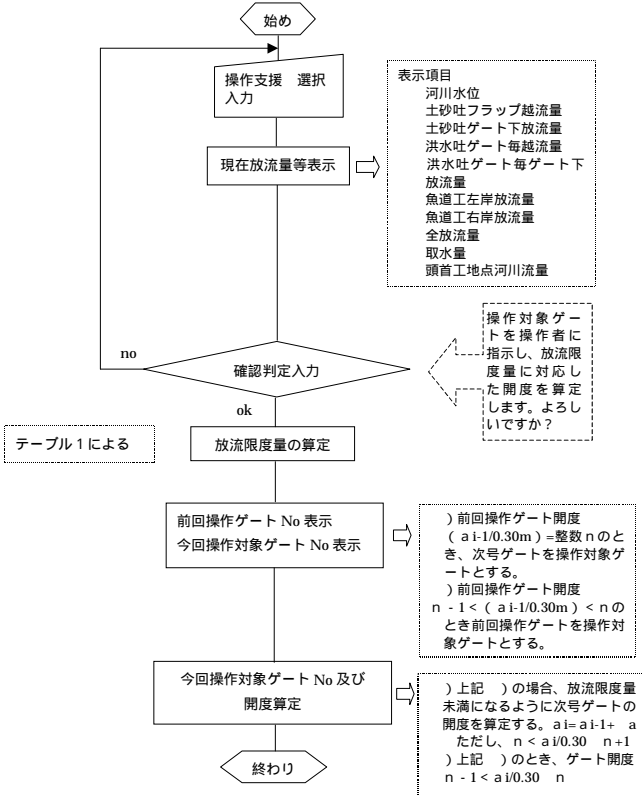


図-10 操作支援のフローチャート(例)

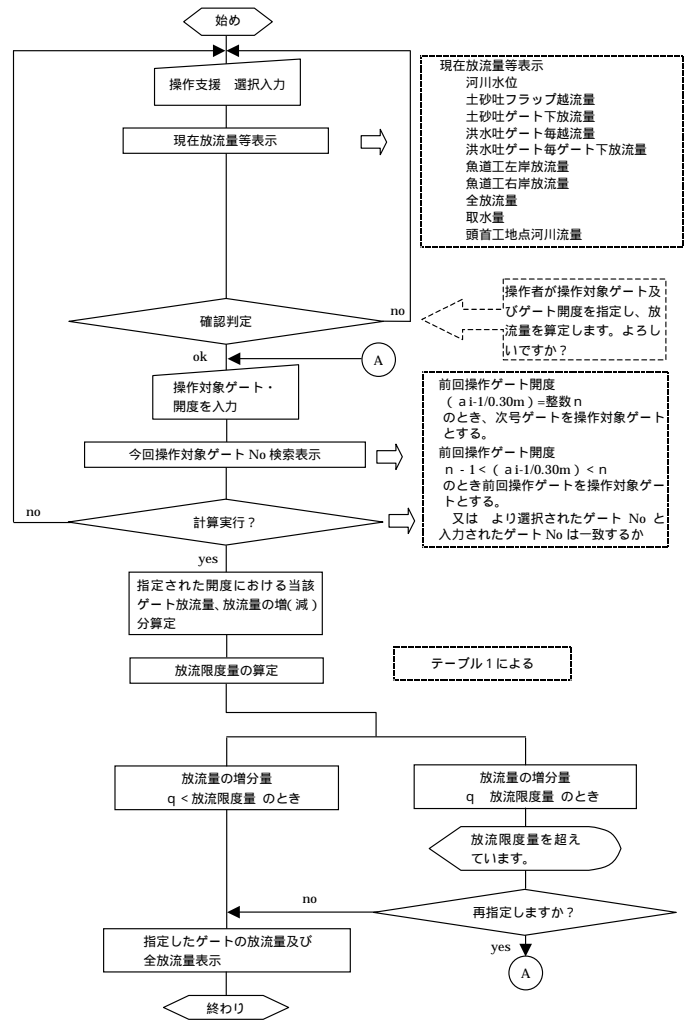


図-11 操作支援のフローチャート(例)

上記の操作支援の内容を、頭首工の管理設備導入時にCRT装置などにあらかじめプログラムしておくことで、予定管理者にとってはゲート操作の有効な操作支援ツール(ガイド)になり得るものと考えられる。

5-2 運転操作マニュアル

システム化された設備を有しない頭首工管理においては、前出の「段階操作シミュレーション」を行い、ゲートの運転操作の手順や手順に対応した計算図表を示し、その使用方法を解説したマニュアルを整備する。

また、近年はデジタル化が高度に発達している現状を踏まえ、デジタル映像データによる解説ビデオ(DVD)などを用意すると、管理者にとってよりわかりやすいマニュアルができると考えられる。

図-12及び図-13は、B頭首工の操作マニュアルの作成例の一部である。

図 - 12 では、頭首工ゲート操作フローとその根拠となる管理規程の該当箇所及び使用すべき計算図表等を併記したものである。このように頭首工操作の全体像を示すことで、操作者による操作段階が操作フローのどこにあるかを把握することが容易になる。

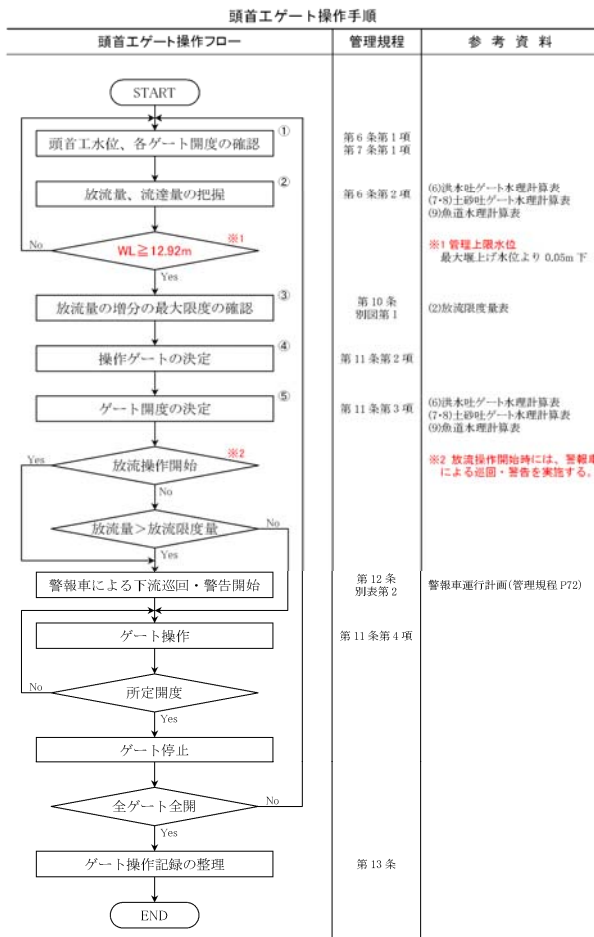


図 - 12 頭首工ゲート操作手順記載例

放流限度量に基づく放流量及びゲート開度を算定するときには図 - 13 を参考とする。その他、ここでは記載を省略するが、具体的な計算例や施設特性等を踏まえた操作上の留意点、注意事項等を示すことにより一層より分かりやすい内容のマニュアルとなろう。

段階操作計算方法

頭首工ゲート段階操作計算方法について、以下に示す。

頭首工ゲート段階操作計算表(落水操作)

流達量 Q=2.323m³/s

経過時間	頭首工水位 (El.m)	土砂吐		No.1洪水吐		No.2洪水吐		魚道流下量 (m ³ /s)	操作前放流量 (m ³ /s)	操作後放流量 (m ³ /s)	増加放流量 (m ³ /s)
		開度 (m)	放流量 (m ³ /s)	開度 (m)	放流量 (m ³ /s)	開度 (m)	放流量 (m ³ /s)				
10:00	12.73	全開	2.250	全開	2.026	全開	0.626	0.821	2.323	0.981	3.224
10:10	12.72	全開	0.192	2.45	1.326	2.42	1.958	0.791	3.224	1.125	4.267
10:20	12.71	全開	0.139	2.38	2.669	2.42	1.738	0.762	4.267	1.278	5.308
10:30	12.69	全開	0.053	2.38	2.186	2.32	3.731	0.704	5.308	1.399	6.674
10:40	12.67	全開	0.000	2.28	4.307	2.32	3.184	0.649	6.674	1.547	8.140
10:50	12.64	全開	0.000	2.28	3.454	2.21	5.544	0.568	8.140	1.683	9.566

① 頭首工水位、各ゲート開度の確認

- 頭首工水位は、土砂吐ゲート左側堰柱に取り付けられた自記水位計の読みに基づき算定する。(管理規程第6条第1項)
- 各ゲート開度は、各ゲートの機側操作盤より確認する。

② 放流量、流達量の把握

- 洪水吐ゲート：洪水吐ゲート「河川水位～開度～流量」計算表 (P43～P100)
- 土砂吐ゲート：土砂吐ゲート「河川水位～開度～流量」計算表 (P102～P155) 及び土砂吐ゲート「河川水位～越流量」計算表 (P157)
- 魚道流下量：魚道「河川水位～流下量」計算表 (P160～P161)
- ④全放流量=洪水吐ゲート放流量+土砂吐ゲート放流量・越流量+魚道流下量
- 流達量=全放流量+取水(河川水位安定時)

③ 放流量の増分の最大限度の確認

- 放流量の増分の最大限度は、放流限度量表 (P17～P19) より、④全放流量の直近下位の流量に対するΔQ

④ 操作ゲートの決定

- 管理規程第11条第2項の規定より決定する。
- 開操作時は、No.1洪水吐ゲート→No.2洪水吐ゲートの順序で開き、洪水吐ゲート全開後に土砂吐ゲートを開操作する。閉操作時は、逆の順序となる。
- ゲート開度は、0.30m/回以内とする。(管理規程第11条第3項)

⑤ ゲート開度の決定

- ④流量(操作対象ゲートの放流量+③流量)の直近下位に対応するゲート開度を各ゲートの水理計算表より求める。(②参照)
- 土砂吐ゲートについては、放流量(オフィス流出)と越流量の合算値となる。

図 - 13 段階操作計算方法記載例

7.まとめ

河川流況に対応した頭首工のゲート制御とその運用管理について検討した結果以下のことが示唆された。

上流に多目的ダム等が計画されている頭首工においては、ダムの運用開始前・後での流況が著しく変化することがあるため、ダムの運用開始前に頭首工の供用が開始される場合の、「過渡的期間」において水位調整用ゲートでの制御対応が困難になり、洪水吐ゲートの操作頻度が高くなる。このようなケースにおいては予定管理者に対して十分な周知が必要であること。

水位調整用ゲートの制御方式検討において、流況分析の結果次第ではあるが、設定値制御の導入により頭首工の管理労力軽減が可能であること。

頭首工管理においては、管理規程に基づき、放流限度量を遵守しつつゲート操作を行う必要があるが、水位、ゲート開度、下流水位の関係から放流量やゲート開度算定が必要となり、煩雑な計算が伴う

ことから、頭首工管理設備導入にあたってはこれらの演算や操作すべきゲートを指示する等のシステム化により、確実に安全な操作を可能とすること。

システム化された頭首工以外の頭首工においては、操作手順や計算方法、図表の使い方などを解説した「運転操作マニュアル」の整備が有効であること。

8. おわりに

近年、地球温暖化問題が躍起される中、局所的豪雨の発生や融雪の早期化など気象変動の兆候が指摘されており、河川流況もそれに伴って従前のパターンと異なることも考えられる。

刻々と変化する河川流況に対応して、操作を円滑かつ迅速に処理するには、できるだけ最近の水文データをもとに河川流況の特性を定量的に把握することが重要と考える。

今後、新たに建設される施設あるいは建設中の施設は、最新の河川流況により頭首工ゲートの機能を検証し、あるべきゲート制御方式や運用手法をあらかじめ検討する必要があるだろう。

本稿が、今後の頭首工ゲート制御方式の検討や操作マニュアル作成にあたって参考になれば幸いである。

最後に、本報文の寄稿の機会を与えてくださいました全国農業土木技術連盟北海道地方連盟協議会並びに農業土木北海道編集委員会各位に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) ダム等の管理規程について(昭和57年7月16日北開局建第83号)
- 2) 水理公式集 P243、P254、P255(平成11年11月土木学会)
- 3) 長径間ゲートの振動特性に関する研究(土木学会論文報告集第279号) P81~P91

略 歴

藤本 嘉三(ふじもと よしみ)



1960年 北海道に生まれる
1980年 専修大学北海道短期大学
土木科卒業
1985年 (株)アルファ技研 入社
現在に至る

新津 雅士(にいづ まさし)



1963年 北海道に生まれる
1987年 帯広畜産大学畜産学部
農業工学科卒業
(株)アルファ技研 入社
現在に至る

西恭二(にし きょうじ)



1962年 北海道に生まれる
1985年 弘前大学農学部
農業工学科卒業
(株)アルファ技研 入社
現在に至る