II-146 瀬田川洗堰におけるゲート全開操作時の水位と流量の予測

京都大学工学部 正 多田彰秀 京都大学工学部 正 岩佐義朗
京都大学大学院 学 植村典央

1.はじめに： 琵琶湖の流出流量を制御している瀬田川洗堰(以後単に洗堰と呼ぶ)は，計10門のゲートから成っており，その操作は従来より原則として全部を同一開度にして，かつ越流状態に保つ方法がとられてきた。しかしながら，たとえば洪水の減水期に琵琶湖水位をより速やかに低下させるため，越流状態での流量より大きい流量を放流しようとすれば，下流の疎通能力から許される範囲で一部のゲートを全開にし残りは越流状態とする操作(以後"特殊操作"と呼ぶ)が考えられる。本報では，このような操作時の水位～流量関係を一次元運動量解析法により誘導し，現在得られている観測値との検証を行うとともに，この関係式を用いて特殊操作後ある程度時間(数時間のオーダー)が経過したとき出現が予想される定常状態を，不等流解析によって予測し，実際のゲート操作に役立てようとした結果である。

2.ゲート全開操作時の流量公式： 全開された堰からの流出流量と水深との関係を一次元運動量解析法を適用して求める。まず，以下の仮定を設ける。

(仮定)(1)全開されたゲートを通る流れをゲート支柱間を流下する急縮部の流れとみなす。(2)この流れでは,ゲート支柱間を通過するときに限界水深が発生する。したがって，堰より下流の影響は上流へ伝播せず，流量は上流側の水深のみによって決定される。(3)ゲートは水平水路床に設置されている。(4)10門あるゲートは互いに独立であるとする。(5)断面は長方形断面を用いるものとする。

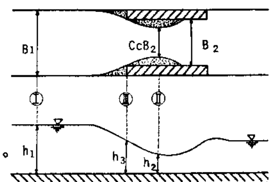

図-1 開水路急縮部の流れ

上記(1)～(5)に示された仮定にもとづき，開水路急縮部の流れを図-1のように表わし，断面Ⅰと断面Ⅱの間に運動量方程式および連続式を適用すれば次式が得られる。

運動量方程式；
$$\frac{1}{2}\lambda_1 \rho g B_1 h_1^2 + \rho\beta_1 Q U_1 - \frac{1}{2}\lambda_3 \rho g (B_1 - B_2) h_3^2 = \frac{1}{2}\lambda_2 \rho g B_2 h_2^2 + \rho\beta_2 Q U_2 + F_f \quad (1)$$

連続式 ；
$$Q = B_1 h_1 U_1 = C_c B_2 h_2 U_2 \quad (2)$$

ここでの記号は，h:水深，U:平均流速，Q:流量，B:水路幅，g:重力加速度，C_c:縮流係数，ρ:密度，F_f:境界面に働く表面まさつ抵抗，λ:圧力分布補正係数，β:運動量補正係数である。なお，添字1,2,3はそれぞれ図-1中の断面ⅠⅡⅢにおける値を示している。また，このような急縮部では通常表面まさつ抵抗が小さいと考えられ$F_f=0$とされる。ゲート支柱より流体が受ける力は，静水圧にもとづくものが主要であると考え(1)式のように$\frac{1}{2}\lambda_3\rho g(B_1-B_2)h_3^2$と表わされている。ここで$h_3$の評価が大きな問題となるが，ここではJaeger[1]および石原・志方[2]の研究にもとづき，最小値として$h_3 \fallingdotseq h_2$，最大値として$h_3 \fallingdotseq h_1$を与えることにし，さらに縮流係数C_cの値にも石原・志方[2]が求めた1.0，0.9および0.8の三通りを与え求められる流量に幅をもたせることにする。いま，$h_3 \fallingdotseq h_1$としたとき，(1)および(2)式より

表-1. $F_{r_2}=1$のときのη_cおよびF_{r_1} ($h_3 \fallingdotseq h_1$)

C_c	1.0	0.9	0.8
η_c	0.749	0.740	0.739
F_{r1}	0.526	0.465	0.413

表-2. $F_{r_2}=1$のときのη_cおよびF_{r_1} ($h_3 \fallingdotseq h_2$)

C_c	1.0	0.9	0.8
η_c	0.798	0.785	0.781
F_{r1}	0.578	0.508	0.448

表-3. (7)式における係数Cの値

	(1) $h_3 = h_1$			(2) $h_3 = h_2$		
C_c	1.0	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8
C (m/s)	21.9	19.4	17.2	24.1	21.2	18.7

$$F_{r_1}^2 = \{\beta_* \eta(1-\eta^2)\} / 2\left(\frac{1}{C_c\beta_*} - \eta\right) \quad (3)$$

$$F_{r_2}^2 = (1-\eta^2) / 2C_c\eta^2(1-C_c\beta_*\eta) \quad (4)$$

が得られる。ここで，$\beta_* = B_2/B_1$ ($=10.8^m/13.3^m = 0.812$)，$F_{r_1} = U_1/\sqrt{gh_1}$，$F_{r_2} = U_2/\sqrt{gh_2}$，$\eta = h_2/h_1$である。また，簡単のために$\beta_1=\beta_2=1.0$，$\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=1.0$としている。仮定(2)より，断面Ⅱで限界水深が発生するから，$F_{r_2}=1$となる$\eta=\eta_c$を(4)式より求め，その値を用い(3)式よりF_{r_1}を求めると表-1のようになる。同様に，$h_3 \fallingdotseq h_2$としたとき，(1)および(2)式より次の二式が得られ$F_{r_2}=1$としてF_{r_1}を求めると表-2が得られる。

$$F_{r_1}^2 = \{\eta(1-\eta^2)\} / 2\left(\frac{1}{C_c\beta_*} - \eta\right) \quad (5)$$

および

$$F_{r_2}^2 = (1-\eta^2) / 2C_c\beta_*\eta^2(1-C_c\beta_*\eta) \quad (6)$$

以上より全開されたゲート1門あたりの流量Q_0を，$Q_0 = B_1 h_1 U_1 = B_1 h_1 F_{r_1}\sqrt{gh_1} = C h_1^{3/2}$ (7) と表わせば，係数Cの

の値は表-3のようにまとめられる。

以上の結果とすでに求められている越流状態のゲート一門あたりの流量Q_eを組み合わせることにより特殊操作時の流量公式が導かれる。すなわち，

$$Q = n_o Q_o + n_e Q_e \qquad (9)$$

ここで，n_o：全開ゲート数，n_e：越流ゲート数である。

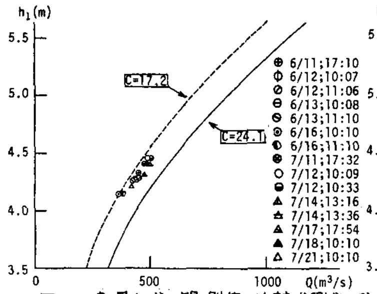

図-2 流量公式と観測値の比較(全開ゲート2門)

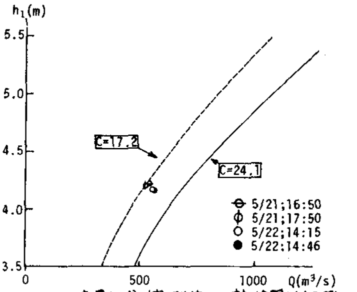

図-3 流量公式と観測値の比較(全開ゲート3門)

3 観測値と流量公式の比較： 図-2および図-3は，全開ゲート数がそれぞれ2門および3門の場合の観測値と(9)式から導かれる計算式とを比較したものである。図中の実線は(7)式において$C=24.1\ \mathrm{m^{1/2}/s}$としたときの計算値を示し，破線は同式で$C=17.2\ \mathrm{m^{1/2}/s}$としたときの計算値を示す曲線である。前者は全開のゲートから流出する流量を最大に，後者はそれを最小に見積っており，どの図においても観測値は両曲線の間に存在し，とくに破線の曲線すなわち洗堰流量を最小に見積った曲線に近いことがうかがわれる。

4 不等流解析による水位および流量の予測： 全門が越流状態の場合から一部のゲートを全開にすれば，流出流量は徐々に増加し，それに伴って堰上流の水位も徐々に低下するが，経験的には数時間の程度で定常状態に達する。実際のゲート操作を行う上では，この定常状態を操作の前に知っておくことが必要である。いま上述したような時間スケールでみれば，一部のゲートの全開によっては上流の琵琶湖の水位は何ら影響されないと考えられるので，上の定常状態は，図-4に示すフローチャートによって不等流計算により予測することができよう。ここで，千町とは洗堰の直上流の量水標地点名で，堰の操作にはこの点の水位が用いられている。図-5は，操作前の状態として最も頻度の高いゲートの上・下両扉の下端を数高にまで下げた越流状態(これは「ドン付」と呼ばれている)を想定し，これから1門が全開にされた場合について，上の計算を行なった結果をまとめたものである。ただし，ここでは上流端には瀬田川76.5km地点(近江大橋の直上流)をとっている。また，全開ゲートの流量を算定するのに用いた(7)式の係数Cの値には，下限値である$17.2\ \mathrm{m^{1/2}/s}$を用いている。これは，3で述べたように現段階で得られている観測値が，洗堰流量を最小に見積った曲線に近いという結果を考慮したからである。図-5より，洗堰の操作前の流出流量が594 m³/s，操作前の水位が5.50 m(零点OPb80.80m)という全門「ドン付」状態から，1門だけを全開にしたとき最終的に流出流量は675 m³/s，水位は5.35 mとなることが分かる。すなわち，洗堰からの流出流量は81 m³/s増加し，千町の水位は0.15 m低下するということになる。このような図を用いれば，ゲート全開前の状態からただちに，全開後の数時間経て定常状態に達したときの流出流量および水位を知ることができる。したがって，多種多様な初期の状態および全開ゲート数を想定して上記のような計算をあらかじめ行なっておけば，このようなゲート操作のために活用することができよう。

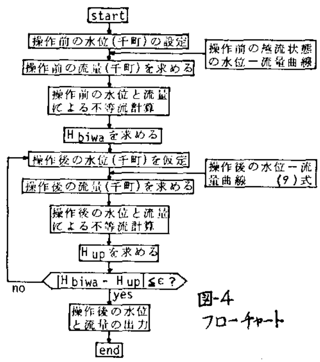

図-4 フローチャート

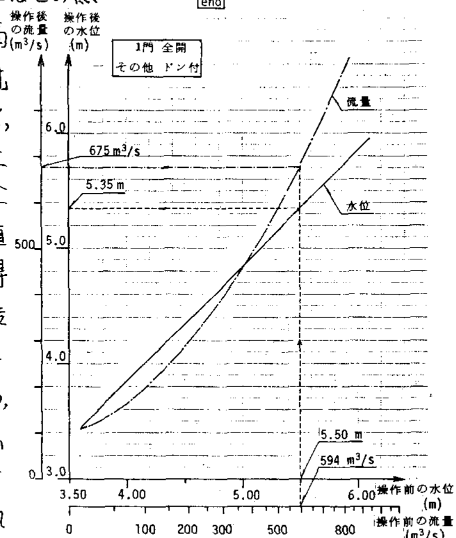

図-5 操作後の水位および流量(1門全開，その他ドン付)

(参考文献) 1) Jaeger. C. ："Engineering Fluid Mechanics", Blackie & Son, London 1956年
2) 石原藤次郎、志方俊之 ："開水路急縮部の水理学的性状に関する研究" 土木学会論文集 138号 昭和42年