

H3-8

潜り込み流れにおけるスルース・ゲート上・下流側の水深間の関係の推定

Prediction of relationship between upstream and downstream depths of a sluice gate in submerged flows

○富田 麻理子¹, 安田 陽一²

*Mariko Tomita, Youichi Yasuda

Abstract: Submerged hydraulic jump has been characterized by water surface profile and velocity at a center line of channel. The flow condition below a sluice gate can be classified into deflecting flow and non-deflecting flow. In the case of deflecting flow, an unstable three dimensional flow is formed. In this report, the relationship of upstream and downstream depths of a sluice gate could be predicted from Bernoulli's theorem and momentum equation by supporting discharge coefficients.

1.はじめに

放水路やダムボトムアウトレットなどからの高速流の減勢、水門が開閉したことによって生じる高速流を減勢させる場合に減勢池内での跳水の形成が利用される¹⁾。跳水に関する研究として水路中央部を対象に水面形、最大流速の減衰状況、流速分布、跳水長などが検討されている^{2),3)}。すなわち、時間平均された物理量について検討された場合がほとんどである。ゲート下流側で潜り跳水が形成される場合、跳水部下流側の水面で不安定な湧き上がりが形成されることが現地観測から見られるが、定量的な挙動は把握されていない。最近、著者らの研究^{4),5)}によって、矩形断面水平水路に形成される潜り跳水中の流速の時系列変化が検討され、被りの大きい潜り跳水の場合、主流が底面から水面に向かって上昇し始めた段階で主流の流向が不安定になる(不安定偏向流れと呼ぶ)ことが示された。

ここでは、潜り跳水を対象に広範囲の実験条件から流量係数 C を数式化し、運動量方程式およびベルヌーイの定理からスルース・ゲート上・下流側の水深間の関係を推定し、偏向流況および非偏向流況の形成領域を明らかにした。

2.実験条件

幅 $B=0.80\text{m}$ 、上流部高さ 1m 、下流部高さ 0.6m 、全長 $L=15\text{m}$ の長方形水平水路を用いて実験を行った。上流ゲート周辺の物理量を Figure1 に示す。スルース・ゲート開口高さ a 、スルース・ゲート直上流側の水深 h_u 、スルース・ゲート下流側の水深(跳水が形成されている場合は終端水深) h_4 、および流量 Q を変化させ、Table2 に示す実験条件のもとで検討した。潜り跳水の流況観察およびポイントゲージを用いた水深測定を行った。ゲート直下の水深 h_3 については鋼尺を用いて計測した。

3.潜り跳水が形成された状態の流量係数 C

潜り跳水が形成された状態の流量係数 C について検討するために、スルース・ゲート前後の断面でベルヌーイの定理を適用すると、(1)式が得られる。

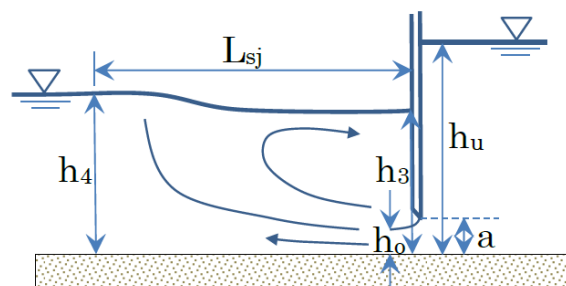


Figure1 Sluice gate periphery

Table1 Experimental conditions

Q (m ³ /s)	h _u (m)	h ₄ (m)	F ₀ (-)	a (m)
0.0707	0.247-0.469	0.227-0.440	0.653-0.715	0.159
0.0770	0.904-0.452	0.252-0.507	0.940-7.92	0.038-0.138
0.0954	0.249-0.759	0.220-0.386	1.00-4.45	0.086-0.159
0.1028	0.393-0.594	0.357-0.526	0.812-1.17	0.121-0.189
0.1232	0.396-0.642	0.414-0.596	0.852-0.915	0.141

$$Q = C\sqrt{2gh_u h_o} B \sqrt{\frac{h_u - h_3}{h_u^2 - h_o^2}} \quad (1)$$

ここに、 C は流量係数、 h_o は縮流部の水深である。なお、縮流部水深 h_o を間接的に評価するために、跳水部に運動量方程式(2)式を適用し、実測値 h_3, h_4 、および Q を代入することによって縮流部の水深を算定した。

$$Q = B \sqrt{\frac{g}{2}} h_4 h_o \sqrt{\frac{h_4^2 - h_3^2}{h_4 - h_o}} \quad (2)$$

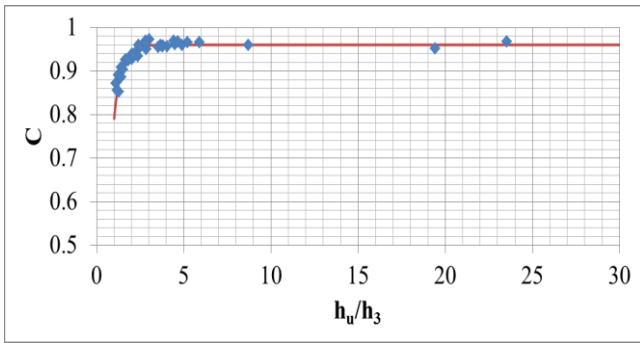


Figure 2 Relation of $C = f(h_u/h_3)$

(1)式を無次元化すると次式が得られる.

$$F_o = C\sqrt{2} \frac{h_u h_3}{h_3 h_o} \frac{\left\{ \frac{h_u h_3}{h_3 h_o} - \frac{h_3}{h_o} \right\}}{\left\{ \left(\frac{h_u h_3}{h_3 h_o} \right)^2 - 1 \right\}} \quad (3)$$

ただし, F_o は縮流部でのフルード数であり次式で示される.

$$F_o = \frac{Q}{Bh_o\sqrt{gh_o}} \quad (4)$$

流量係数 C と h_u/h_3 の関係で整理したものを図に示す. Figure 2 に示されるように, 流量係数 C は $F_o, h_3/h_o$ に関わらず h_u/h_3 によって整理され, 実験的に (6)式で近似できる.

$$C = 0.96 - \frac{0.08}{\text{EXP} \left(\frac{h_u}{h_3} - 1.3 \right)^{2.5}} \quad (5)$$

4. ゲート上下流側の水深間の関係

スルース・ゲート上下流側の水深間の関係について, (3) 式に(5)式を代入し, さらに運動量方程式を無次元化した(6)式を用いて, $h_4/h_o = f(F_o, h_u/d_c)$ の関係で整理した結果を Figure 3 に示す.

$$\frac{h_3}{h_o} = \sqrt{2F_o^2 \left(\frac{h_o}{h_4} - 1 \right) + \left(\frac{h_4}{h_o} \right)^2} \quad (6)$$

なお, $h_u/h_o = (h_u/d_c) \times (d_c/h_o) = F_o^{2/3} (h_u/d_c)$ を用いて整理している.

最近の著者らの実験によって, h_u/d_c を一定 (この場合, ゲート上流側の水位および流量を一定) とし, ゲート開口高さ a および下流水深を変化させた実験結果^{4),6)}, および石狩川頭首工および旧江戸川水門の現地データを推定結果と比較するため Figure 3 に示す関係で整理した. 紙面の都合から他の関係で整理した結果については割愛している.

図中, 実線は自由跳水の水深間の関係を示し, ベランジャーの式で推定される. 破線は, 非偏向と遷移領域との境界, 一点鎖線は遷移領域と偏向流況との境界, 二点鎖線は偏向流況と非偏向流況との境界を示す. 実線以外の境界線は流況観察に基づき定めている. また,

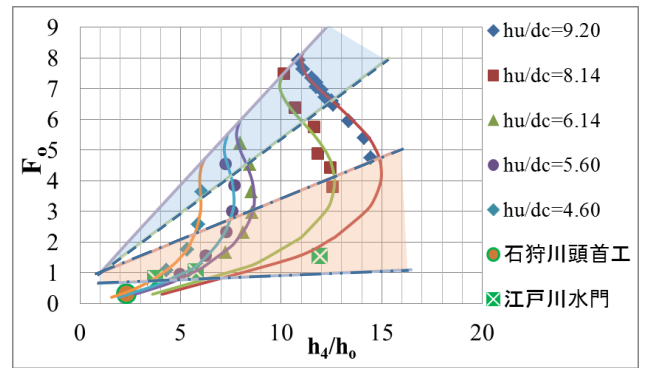


Figure 3 Relationship between upstream and downstream depths around sluice gate in submerged flows

現地計測データにおいて, 石狩川頭首工では $h_u/d_c = 5.28$ の場合, 旧江戸川水門では $h_u/d_c = 4.68, 6.16, 9.70$ の場合を示す.

図に示されるように, 実験結果および現地データから, ベルヌーイの定理および運動量方程式から水深間の関係を推定することが可能となった. なお, ゲート開口高さ a と縮流部との関係についても実験的に検討し, 実験式を提案可能にしているが紙面の都合から割愛している.

5. まとめ

スルース・ゲート下流側に形成される潜り跳水を対象に, Table 1 に示す実験条件から得られた実験データを用いて流量係数 C を評価し, C の推定式を提案した. このことによって, ベルヌーイの定理および運動量方程式から $h_4/h_o = f(F_o, h_u/d_c)$ の関係を推定し, 実験結果と推定結果との比較から, スルース・ゲート前後の水深間の関係を推定することが可能となることを確認した. また, 石狩川頭首工および旧江戸川水門の現地計測結果から, ここで提案した推定結果が適用できることを示した.

参考文献

- 1) Yasuda, Y. and Ohtsu, I. (2003), Energy dissipation structures, Encyclopedia of Water Science, Marcel Dekker Inc., New York, pp.195-198.
- 2) Rajaratnam, N. "Submerged hydraulic jump." J. Hydraulic Division, Vol. 91, No. 4, pp.71-96, 1965; Discussion, Vol. 92 (HY1), pp.146-155, Vol. 92 (HY 2), pp. 420-421, Vol.92 (HY4), pp. 154-156, Vol. 92 (HY6), p.207, 1996, Vol. 93 (HY3), p.179, 1997.
- 3) 大津岩夫, (1976) 台形および長方形断面水路の自由跳水と潜り跳水, 土木学会論文報告集第 246 号.
- 4) 栗山昂, 安田陽一, 高橋直己 (2013), 跳水部下流側の流速の3次元性に関する実験的検討, 土木学会第 68 回年次講演会, II-056, CD-ROM.
- 5) 富田麻理子, 安田陽一, (2014), 潜り跳水下流部の不安定偏向流れに関する実験的検討, 土木学会第 69 回年次講演会, II-160, CD-ROM.