

三連水門における推定放流量の高精度化に関する一検討

石川工業高等専門学校 学生員 ○石田 竜彦
石川工業高等専門学校 正会員 鈴木 洋之

表-1 基礎式一覧

【自由流出】	
断面 1・2 でエネルギー保存式	
$h_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{B_c h_1} \right)^2 = C_c a + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{B_g C_c a} \right)^2 \quad \dots (1)$	
流量係数算定式	
$C_c = C_c \sqrt{\frac{(B_c h_1)^2}{(B_c h_1)^2 - (B_g C_c a)^2}} \quad \dots (2)$	
流量算定式	
$Q = C_a B_g \sqrt{2g h_1} \quad \dots (3)$	
【もぐり流出】	
断面 1・2 でエネルギー保存式	
$h_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{B_c h_1} \right)^2 = h + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{B_g C_c a} \right)^2 \quad \dots (4)$	
断面 2・3 で運動量保存式	
$\rho Q \frac{Q}{B_c h_2} - \rho Q \frac{Q}{B_g C_c a} = \frac{1}{2} \rho g B_c h^2 - \frac{1}{2} \rho g B_c h_2^2 \quad \dots (5)$	
流量係数を与える 2 次方程式	
$C_c^2 \left(H_1 - \frac{B_0^2}{H_1} \right)^2 + 2C_0 \left\{ B_0^2 + 2H_1 \left(B_0 - \frac{B_0^2}{H_2} \right) - H_1^2 \right\} + (H_1^2 - H_2^2) = 0 \quad \dots (6)$	
Where. $H_1 = \frac{h}{C_c a}, H_2 = \frac{h_2}{C_c a}, H = \frac{h}{C_c a}, C_0 = \left(\frac{C}{C_c} \right)^2, B_0 = \frac{B_g}{B_c}$	
流量算定式	
$Q = C_a B_g \sqrt{2g h_1} \quad \dots (7)$	
【運動量式】	
$F_2 = \rho Q \frac{Q}{B_g C_c a} + \frac{1}{2} \rho g B_g (C_c a)^2 \quad \dots (8)$	
$F_3 = \rho Q \frac{Q}{B_c h_2} + \frac{1}{2} \rho g B_c h_2^2 \quad \dots (9)$	

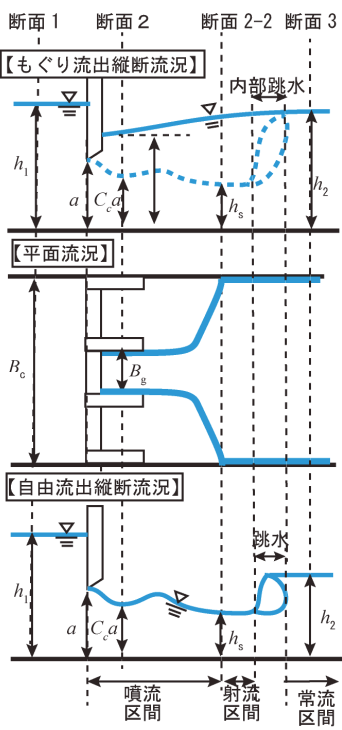


図-1 三連水門での流況イメージ

表-2 実験条件

水門種別	ケース名	ゲート開度 a(cm)	h ₁ /a	流量 Q(L/s)
単門	Case1-1	3.0	2	4.30
	Case1-2	3.0	5	7.21
	Case1-3	5.0	2	9.30
	Case1-4	5.0	5	16.00
三連水門	Case2-1	3.0	2	4.80
	Case2-2	3.0	5	8.40
	Case2-3	5.0	2	10.00
	Case2-4	5.0	5	18.50

1.はじめに

水門放流量の推定は流量制御の重要な技術である。水門放流量は水路幅を持つ水門(単門)を対象にした式で推定される。しかし、水路横断方向に複数の水門がある複水門では、単門の式で求めた放流量が誤差を持つことが示されている¹⁾。本研究は三連水門の中央水門のみが操作された場合の流量推定の検討を試みた。

2.流量推定法の概要

中央水門のみを操作した三連水門では、噴流が拡散して水路幅全体で現れる射流がさらに下流で跳水を経由して常流に移行する様子が観察された。壁面せん断力による運動量変化が無視できると仮定する。Henry²⁾の理論を参考にして、図-1 の断面 1・2 のエネルギー保存則から自由流出の流量係数と流量の推定式が得ら

れる(表-1式(1)から(3))。また、もぐり流出の流量係数を求める 2 次方程式と流量推定式が断面 1・2 のエネルギー保存式と断面 2・3 の運動量保存則から得られる(表-1式(4)から(7))。

これらの式の運用には流出形態の判断基準が必要である。単門では自由流出での射流水深に対応した共役水深(常流水深)が流出形態の境界水深に相当するという鈴木ら¹⁾の指摘から、断面 2 の噴流運動量を持つ断面 3 での常流水深を境界水深とする。すなわち、断面 2 の運動量 F₂ と断面 3 の運動量 F₃ が等しくなる h₂ のうち常流を与える水深が境界水深と考える (表-1 式(8)(9))。

3.実験概要

本研究では幅 30cm 水路に設けた単門模型と、幅 100cm 水路に設けた三連水門模型に表-2 に示す水門上流水深となる流量を与えて初期自由流出を形成する。その後、水路末端の堰上げで水門下流水深を段階的に増大させてもぐり流出に移行させ、各移行段階での水門上下流水深を計測した。単門では水路中央部で縦断方向に約 20cm 間隔で計測する。三連水門では水路中央部で水門から下流 100cm までは縦断方向に約 20cm、噴流の混合終了位置から下流では約 30cm 間隔に計測を行うと共に、水路中央部の測点から左右

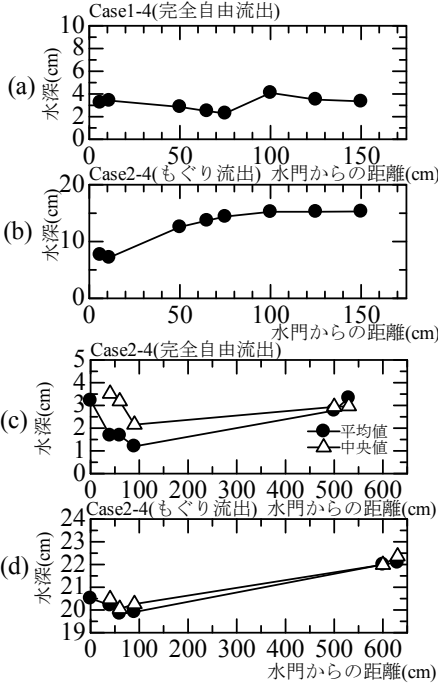


図-2 水門下流の水面形状

岸にそれぞれ 30cm 離れた位置に測点を設けて横断方向の計測も行った。

4. 実験結果

(1) 単門と三連水門の流れの違い

図-2(a)(b) はそれぞれCase1-4の完全自由流出時ともぐり流出時(最大下流水深時)での水門下流の水面縦断形である。単門の自由流出では全域射流で水深は一定となる。またもぐり流出では水門からある程度離れると跳水による水深増加後に一定水深となる。図-2(c)(d)にCase2-4の水面形を図-2(a)(b)と同様に示す。ここでは水路中央部の計測値と横断方向の平均値を併記した。三連水門の自由流出では噴流として挙動するためにゲート流出直後から拡散効果で水深が低下した後、跳水による水深増加が現れる。またもぐり流出に移行すると拡散による水深低下量は減少するが、下流水深の増加は生じている。

図-3 は下流水深を段階的に変化させた際の水門上流水深と下流水深の比較である。ただし、単門と三連水門で同じ水門開度と初期上流水深を与えた場合で比較した。上流水深の増加開始時の下流水深が流出形態の境界水深となる。しかし、単門と三連水門で境界水深が異なるのが分かる。また、上流水深が大きいほど、両者の差異が明確となる。これは上流水深の増加が噴流速度を増大させることで、単門と三連水門の差異が顕著になるためと考えられる。このように、三連水門に単門の理論を適用するのは難しいことがわかる。

(2) 自由流出流量ともぐり流出流量の推定

図-4(a)(b)はそれぞれ三連水門の完全自由流出時ともぐり流出時の計測流量と提案法による推定流量の比較である。自由流出流量の整合性は非常に高い。これは三連水門でも自由流出は単純なオリフィス流れに近いことによる結果であろう。もぐり流出流量の比較である図-4(b)には小矢部大堰三連水門で使われる単門の Toch³⁾の式に基づく従来法による推定値を併記した。自由流出からもぐり流出に至るには不完全もぐり流出の状態を経由するため推定値に幅が生じる。しかし、従来法の推定値と比べて、提案法の推定値はこの幅が小さく、精度の向上が認められる。

(3) 提案法による境界水深の再現性

図-3 に提案法で推定した境界水深と鈴木ら¹⁾による単門の境界水深の推定値を示した。水門開度と h_1/a の増大に従って提案法の再現性が高くなる。これは、 h_1/a の増大により流出速度が大きくなると、噴流の特徴が顕著となることが要因と推測される。

5. おわりに

本稿では、三連水門の最も簡単な流況である中央水門が操作された場合を考えて、壁面噴流の存在と水路幅・水門幅を考慮した Henry²⁾の理論に基づく簡易な流量の推定法を示した。実験を通じて本手法が従来法と比べて流量と流出形態を精度良く推定できる可能性を示した。今後は全水門が操作された場合に本法を拡張する予定である。

参考文献

- 1)鈴木ら: Toch の式の解析によるスルースゲートからの推定放流量の精度劣化要因の解明, 水文・水資源学会誌, 第 28 巻, 4 号, 2015. 2)Henry,H.R:Discussion of Diffusion of submerged jets, Transaction, ASCE, Vol.115, pp.687-694.1950. 3)Toch,A:Discharge of characteristics of tainter gate,Proceedings ASCE Vol.79,pp.1-20,1953.

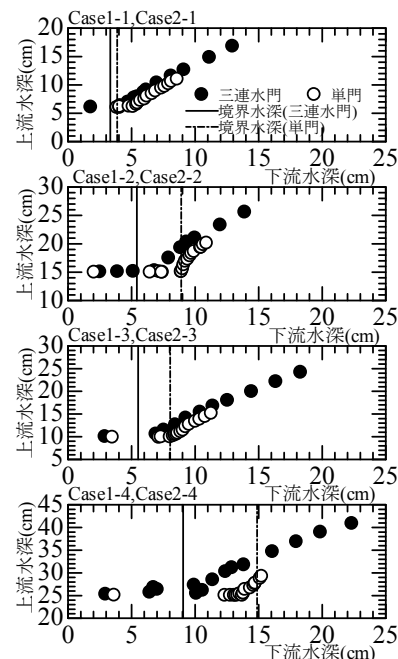


図-3 上・下流水深の関係

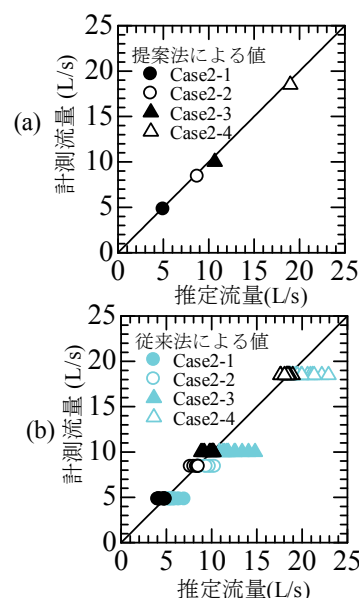


図-4 計測・推定流量の比較