

運動量の定理に基づくスルースゲートの水理検討

松江工業高等専門学校 正会員 ○荒尾慎司, 山口大学工学部 フェロー会員 羽田野袈裟義
SOMPO リスクケアマネジメント 李洪源, 芦屋市役所 桑山なるみ, 島根県庁 安井美沙希

1. はじめに

河川に多く設置されるスルースゲートの水理はベルヌーイの定理を基にして組み立てられている^{1), 2)}。しかし、ゲートは流れを止める横断構造物であり、流れに対して少なからぬエネルギー損失を生じるはずである。このためエネルギー損失を無視したベルヌーイの定理に基づく従来の取扱は水理学の解析原理と矛盾すると考える。

本研究では、この考え方にに基づき、エネルギー損失に相当する流水抵抗を考慮した運動量の定理を適用してスルースゲートからの自由流出を検討し、流量と水位の関係を求めることを目指す。

2. ゲート水理への運動量の定理の適用

スルースゲートからの流出の水理モデルを図-1に示す¹⁾。単位幅流量を q 、ゲート開度を a 、縮流係数を C_c 、自由流出のゲート上流の様な水深を h_0 とする。ゲートに作用する単位幅当たりの抵抗力を F_D とし、水底の摩擦を無視する。

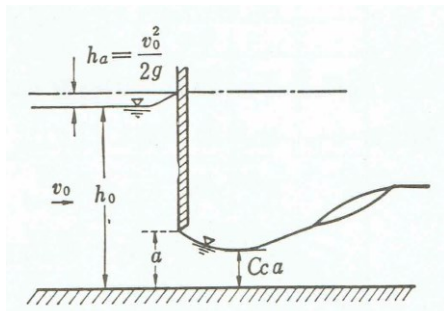


図-1 ゲートからの自由流出の模式図

上記の設定でゲート上流の断面とゲート流出直後（縮流前）の断面の間の水に運動量の定理を適用すると、

$$\rho \left(\frac{q^2}{a} - \frac{q^2}{h_0} \right) = \frac{1}{2} \rho g h_0^2 - \frac{1}{2} \rho g a^2 - F_D \quad (1)$$

上式において $F_D = K_D \frac{1}{2} \rho g (h_0 - a)^2$ と置くと、

$$K_D = \frac{\rho q^2}{\frac{1}{2} \rho g (h_0 - a)^2} \left(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{a} \right) + \frac{h_0^2 - a^2}{(h_0 - a)^2}$$

$$= -\frac{2h_c^3}{a^3(h_0/a)(h_0/a-1)} + \frac{h_0/a+1}{h_0/a-1} \quad (2)$$

ここで h_c は限界水深である。上式からもし K_D が一定であれば、 h_0/a と h_c/a が一定の関係をもつ。すなわち、

$$\frac{h_0}{a} = F \left(\frac{h_c}{a} \right) \quad (3)$$

以下、式(3)の関係を実験データから検討する。

3. 実験装置

長さ10.3m×幅30cmの長方形断面を有する可変勾配水路の上流端から4.5m地点に、両側に止水用のゴムを貼った厚さ1cmのアクリル板を模型ゲートとして設置した（図-2参照）。実験ではゲート上流面からの位置、水深、流量を測定した。位置測定にはゲート上流面から上下流方向に設置したメジャーを、水深測定にはポイントゲージを、そして流量測定には水路下流端に設置した流量測定升（最大貯水量480kg）を使用した。



図-2 水路とゲート

4. 実験方法と実験条件

4.1 実験方法

実験は以下の手順で行った。

- 1) ゲートを所定の開度に設置する。
- 2) 水路に水を所定の流量で循環させる。
- 3) ゲート下流側で最小水深を測定し、ゲート上流面の上流10cm地点で水深を測定する。

キーワード スルースゲート, 自由流出, 運動量の定理, 流量・ゲート上流水位, 双方向関係

連絡先 〒690-8518 松江市西生馬町14-4 松江工業高等専門学校, 環境・建設工学科 TEL 0852-36-5225

4) 水路末端の流量測定柵への貯水量を貯水時間で除して流量を求める。流量は5回計測し、その平均値を採用する。なお、各々の流量設定における流量測定値の差は1%未満である。

5) 流量を変化させ、2)から4)を繰り返し行う。

4.2 ゲート開度について

ゲート開度は、式(3)の定式化のための本実験として、岩佐・名合による既往研究¹⁾と合わせ2cm, 4cm, 6cm, 8cmとした。その後、関係式検証用に開度を3cm, 5cm, 7cmとして実験を行った。

5. 実験結果と考察

5.1 定式化のための実験結果

ゲート開度2cm, 4cm, 6cm, 8cmで行なった実験のデータを用いて式(3)の関係を分析する。この分析には、松江高専での実験データに加え既往研究^{1), 2)}のデータを用いた。図-3に h_0/a と h_c/a の間の関係を示す。図中の(松)は松江高専のデータで、無印は岩佐・名合のデータである。同図によると、 h_0/a と h_c/a の関係は、実験条件の範囲でほぼ一本の曲線に沿って分布しており、従来の流量係数 C と h_0/a との不揃いな関係¹⁾と対照的である。このことから図-3の関係は普遍的とみられ、本研究の取扱が従来方法よりも合理的であることが示唆される。

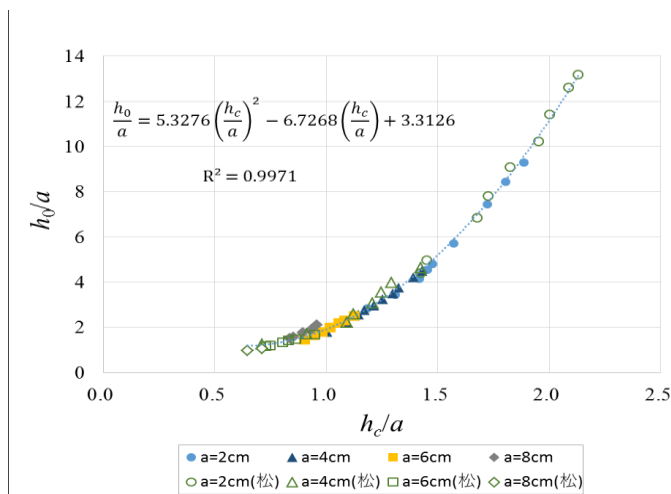


図-3 h_0/a と h_c/a の関係

図中の曲線は両者の関係を2次曲線近似した結果で、次式で与えられる。

$$\frac{h_0}{a} = A \left(\frac{h_c}{a} \right)^2 + B \left(\frac{h_c}{a} \right) + C \quad (4)$$

ここで、 $A = 5.3276$, $B = -6.7268$, $C = 3.3126$ である。なお、式(4)では流量に相当する h_c を右辺に置き、ゲート上流の水深 h_0 を左辺においた。この与え方は、流量係数を左辺に置いて流量を未知数とする従来の与え方と逆で

ある。これは、水理現象として、所定の開度に対して流量が与えられた時にゲート上流の水深がどれだけか、が自然な推論であることを考慮している。すなわち、水理現象としては、流量が独立量でゲート上流水深が従属量となるべきと考える。これは工学的立場として、ある流量を流すとするとき、ゲート開度に応じた所要のゲート高さの見積りを与える。また、上と逆の問題として、取りうる上流水深 h_0 が与えられた時、所定の開度 a に対してどれだけの流量を流しうるか、の見積りも求められる。この答えは、式(4)を h_c/a に関する2次方程式として解くことで得られる。結果は次式となる。

$$\frac{h_c}{a} = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4A(h_0/a - C)}}{2A} \quad (5)$$

これにより h_c が得られれば、 $q^2/g = h_c^3$ の関係から単位幅流量 q が計算される。

5.2 検証実験の結果

検証実験として開度3cm, 5cm, 7cmで実験を行い、得られた結果と式(4)による計算の結果を比較した。その結果を図-4に示す。図より実験値と計算値はほぼ一致しており、本研究で導出した計算式の妥当性が確認された。

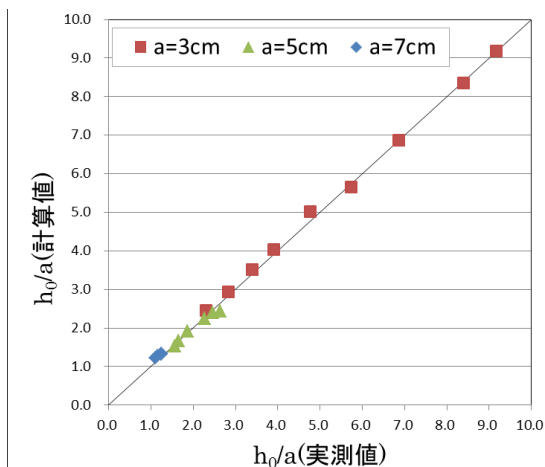


図-4 計算式の妥当性の検証

6. 結語

以上、スルースゲートからの自由流出を、流水抵抗を考慮した運動量の定理に基づき検討した。その結果、自由流出のゲート上流水位と流量の関係を「双方向関係」として求め、既往実験資料を含めて妥当性を示した。今後は潜り流出や他形式のゲートを検討する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：水理公式集 昭和46年改訂版，pp.276-287，1971.
- 2) 名合：開水路底流型水門の自由流出に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第264号，pp.77-86，1977.