

ラジアルゲートからの自由流出のゲート上流水深と流量の双方向評価

徳山工業高等専門学校 正会員 ○宇根 拓孝
第一復建(株) フェロー会員 羽田野 袈裯義
松江工業高等専門学校 正会員 荒尾 慎司

1. 目的

ゲートの水理はこれまで主に流量評価が検討されてきたが、ゲート上流水路の治水計画のためには上流水深の評価が不可欠である。本研究は、ラジアルゲートからの潜り流出の上流水深と流量の評価を最終目的として、自由流出の上流水深と流量の評価を試みる。自由流出については水平方向の運動量の定理の適用の有用性がスルースゲート¹⁾や傾斜ゲート²⁾について示されており、これらと同様の方法で取り扱う。

2. 運動量の定理の適用

ラジアルゲートからの自由流出を図-1のようにモデル化する。ゲート上流の一様な水深 h_0 および流速 v_0 の断面とゲート直下流の縮流断面の水に適用された運動量保存則の水平成分の式は式(1)で表される。

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

ここに、 a はゲート開度、 ρ は水の密度、 q は水路の単位幅流量、 g は重力加速度、 C_c は縮流係数、 F_D はゲート上流面でのゲート・水の相互作用力の水平成分である。縮流断面の圧力はスルースゲートの事例を参照し静水圧分布で近似した。 F_D はGentilini³⁾の上流面の圧力測定結果から羽田野^{1,2)}と同様に F_D を次式で仮定する。

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

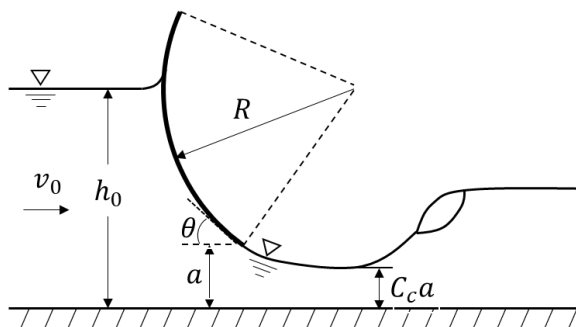


図-1 ラジアルゲートをすぎる流れの模式図

無次元の係数 K_D は式(3)で表されるが、1より若干小さいと考えられる。

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

ここで、 $h_c = (q^2/g)^{1/3}$ は限界水深である。上の式中の縮流係数 C_c をGentilini³⁾の全実験データ(図-2参照)について求める⁴⁾と、 $\theta = 15^\circ$ で0.910-0.940、 $\theta = 30^\circ$ で0.822-0.850、 $\theta = 45^\circ$ で0.760-0.783、 $\theta = 60^\circ$ で0.708-0.724、 $\theta = 75^\circ$ で0.675-0.682、 $\theta = 90^\circ$ で0.631-0.657と全実験の角度で C_c の相対変化は4%以下であり、 C_c の変化による K_D の変化は小さいと考えられる。このとき式(3)から一定の範囲の K_D の値に対してゲート上流の水深 h_0/a と限界水深 h_c/a の間に次の関係式が示唆される。

$$\frac{h_0}{a} = F \left(\frac{h_c}{a} \right) \quad (4)$$

3. 実験データを用いたパラメータ間の関係の検討

図-2は、Gentiliniの実験³⁾のデータ得られた h_0/a と h_c/a の間の関係を示す。図よりいずれの傾斜角においても、 h_0/a と h_c/a の間に一定の関係がみとめられる。そこで式(4)の関係を式(5)の二次式による回帰式として式中の係数を傾斜角 θ ごとに求めた。その結果を表-1に示す。

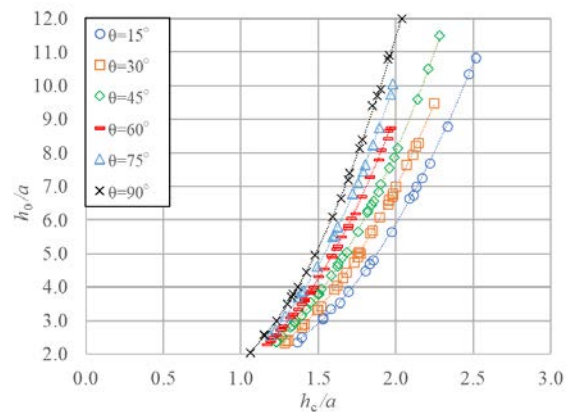


図-2 h_0/a および h_c/a の関係図

キーワード ラジアルゲート, 自由流出, 上流水深, 流量, 双方向評価, 運動量の定理

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校 TEL0834-29-6336

表-1 回帰式の係数

θ	15°	30°	45°	60°	75°	90°
α	3.605	3.706	4.522	4.845	5.609	5.914
β	-6.678	-5.726	-7.310	-7.131	-8.533	-8.117
γ	4.824	3.605	4.570	4.049	4.835	4.045

$$\frac{h_0}{a} = \alpha \left(\frac{h_c}{a} \right)^2 + \beta \left(\frac{h_c}{a} \right) + \gamma \quad (5)$$

また、式(5)より上流水深から限界水深（流量）を求める次の式が得られる。

$$\frac{h_c}{a} = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\alpha \left(\frac{h_0}{a} - \gamma \right)}}{2\alpha} \quad (6)$$

4. 上流水深および流量の評価式の検討

式(5)の適合性の検証のため、上流水深の実測値/計算値の値を限界水深とゲート開度の比 h_c/a に対して図示したものが図-3 である。いずれの傾斜角の場合も縦軸の値は1程度で推移していることが分かる。

さらに、式(6)の適合性の検証のため、限界水深の実測値/計算値の値を上流水深とゲート開度の比 h_0/a に対して図示したものが図-4 である。図からいずれの傾斜角の場合も縦軸の値は1程度で推移していることが見て取れる。

以上より、式(5) および式(6)は良好に適合することが認められる。

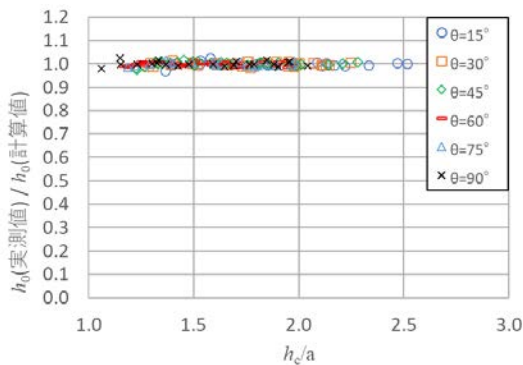


図-3 上流水深の実測値/計算値の値

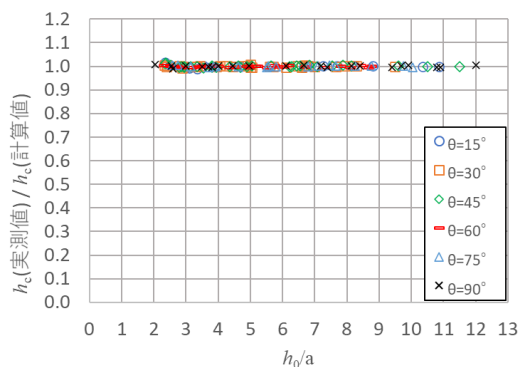
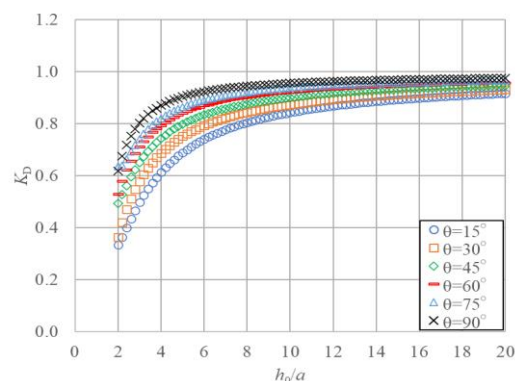


図-4 流量の実測値/計算値の値

5. 流体力係数の性状について

式(2)に導入された流体力係数 K_D の値は1より若干小さいことを想定している。そこで式(3)および式(5)をもとに K_D の値を算定した。その結果を図-5に示す。図よりいずれの傾斜角においても K_D の値は1より若干小さく、そして h_0/a が増大するにつれて1.0に漸近する傾向が認められる。 K_D の値のこれらの性状は合理的でモデルの妥当性を示唆している。

図-5 傾斜角度と流体力係数 K_D の関係

6. 結語

以上、既往実験試料を用いてラジアルゲートからの自由流出のゲート上流水深と流量の双方向評価を試みた。本研究の主要な結果は以下の通りである。

- 1) ラジアルゲートからの自由流出では、ゲート上流水深と限界水深（流量）は、ゲート開度 a で無次元化した場合、2次式により関係づけられる。
- 2) 上流水深と限界水深（流量）を2次式で関係づける回帰式は流体力係数に妥当な値を与える。

本研究では偶然入手した Gentilini の実験資料で検討した。今後は他の実験データでも検討する予定である。

参考文献

- 1) 羽田野, 荒尾, 李, 天野: スルースゲートをすぎる流れの運動量の定理に基づく検討, 山口大学工学部研究報告, 68(2), 2018.
- 2) 羽田野, 荒尾, 野田: 傾斜ゲートをすぎる流れの流量と上流水深の相互依存関係, ながれ掲載予定, 2022.
- 3) Gentilini, B.: Ecoulement sous les vannes de fond inclinees ou a secteur, La Houille Blanche, France, 3rd year, 1947.
- 4) 羽田野, 荒尾: 実験データの分析によるスルースゲートをすぎる流れの縮流係数のレイノルズ数依存の検討と流量係数の評価, 農業農村工学会論文集, 310, 2020.