

スルースゲートからの潜り流出のゲート上流水深の評価

九州産業大学 フェロー会員 ○羽田野 袈裟義
 松江工業高等専門学校 正会員 荒尾 慎司, 学生会員 亀井 悠喜信
 第一復建(株) 正会員 松尾 晃

1. はじめに

支川や灌漑用水路などで流量・水位の制御を目的としてスルースゲートが多用されている。ゲート上流は必然的に水位が上昇するためゲート上流水深の評価が不可欠である。潜り流出では上流の水位上昇が大きいので特にそうである。しかしながら、その評価はこれまで試みられていない。

本研究では、ゲート上流の流水断面と縮流断面に適用したベルヌーイの定理と、縮流断面とゲート下流断面の間に適用した運動量の定理から得られるゲート上流の水深に関する3次方程式¹⁾を解き、室内実験のデータを用いて検証する。また、その変形式を用いて無次元の形でゲート上流水深の下流水深と流量への依存の状態を調べている。

2. 計算式

図1のように水平な長方形断面水路に全幅にわたるスルースゲートが設置されており、ゲート開度を a 、単位幅流量を $q = \sqrt{gh_c^3}$ (g : 重力加速度, h_c : 限界水深), ゲート上・下流のほぼ一樣な水深を h_0 および h_2 とする。このとき、縮流係数 C_c を用いて、ゲート上流の流水断面と縮流断面に適用したベルヌーイの定理は式(1)、そして縮流断面とゲート下流の跳水後の水深が一定 (h_2) の間の水に適用した運動量の定理は式(2)で表される。

$$h_0 + \frac{q^2}{2gh_0^2} = h + \frac{q^2}{2g(C_c a)^2} \quad (1)$$

$$\rho q^2 \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{C_c a} \right) = \frac{1}{2} \rho g (h^2 - h_2^2) \quad (2)$$

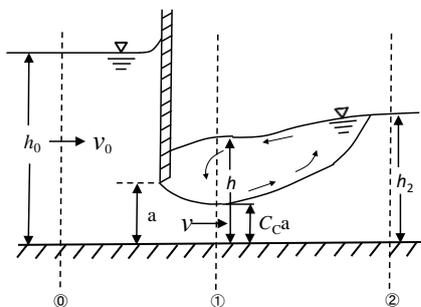


図1 流れの模式図と記号説明

式(1)と式(2)の連立方程式を解くとゲート上流側の水深 h_0 の算定式として次式が得られる¹⁾。

$$h_0^3 - \left\{ \sqrt{\frac{2q^2}{g} \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{C_c a} \right)} + h_2^2 + \frac{q^2}{2g(C_c a)^2} \right\} h_0^2 + \frac{q^2}{2g} = 0 \quad (3)$$

式(3)からゲート開度 a により規格化された上流水深すなわち h_0/a に関する式が得られる。

$$\left(\frac{h_0}{a} \right)^3 - \left\{ \sqrt{2 \frac{h_c^3}{a^3} \left(\frac{a}{h_c} \frac{h_c}{h_2} - \frac{1}{C_c} \right)} + \left(\frac{h_c}{a} \frac{h_2}{h_c} \right)^2 + \frac{h_c^3}{2a^3 C_c^2} \right\} \left(\frac{h_0}{a} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_c}{a} \right)^3 = 0 \quad (4)$$

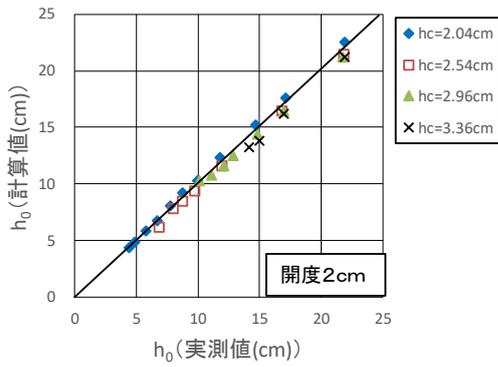
3. 検証実験

実験は松江工業高等専門学校の水理実験室に設置された長さ 10.3m、幅 30cm の長方形断面水路の中に設けた、厚さ 1cm のアクリル板の先を刃形堰と同様に鋭利にとがらせて製作したスルースゲート模型を用いて行った。水路の下流端には可動堰が設置されており、ゲート下流の水深を制御して所望の流出状態を再現できるようにしている。実験はゲート開度 a を 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm と 5 ケースで変化させて行った。実験¹⁾によるとゲートから 0.5m 以上下流ではほぼ一樣な水深の潜り流出が実現された。そこで下流水深としてゲート下流 1m の位置の水深を採用した。

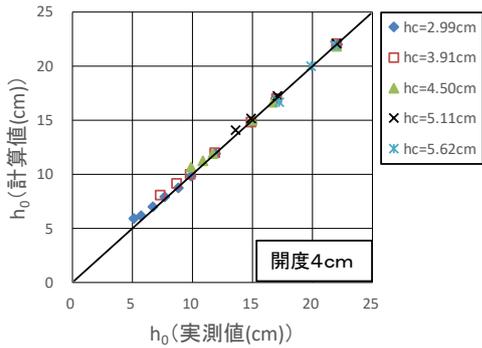
4. 検証結果

図2はゲート上流水深 h_0 の式(3)による計算値と実験値の関係の例を示す。なお、縮流係数 C_c は既往文献の調査²⁾を基に $C_c=0.62$ を用いた。図より、式(3)によるゲート上流水深 h_0 の計算値は実験値と良好に一致することがわかる。図を割愛したゲート開度 3cm, 5cm についても計算値と実験値の一致の程度は同様であった。ゆえに、式(3)はスルースゲートからの潜り流出のゲート上流水深の評価式として適当といえる。

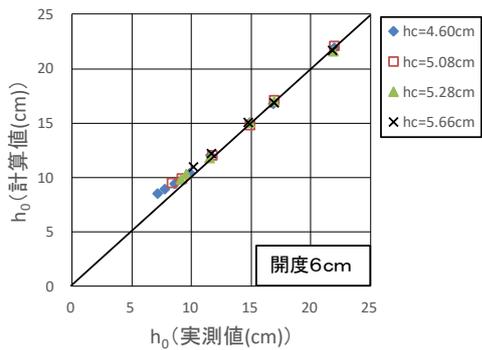
キーワード スルースゲート, 潜り流出, 上流水深評価, 無次元パラメータ
 連絡先 〒813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1 九州産業大学 都市デザイン工学科
 TEL:092-673-5683



(a) a=2cm

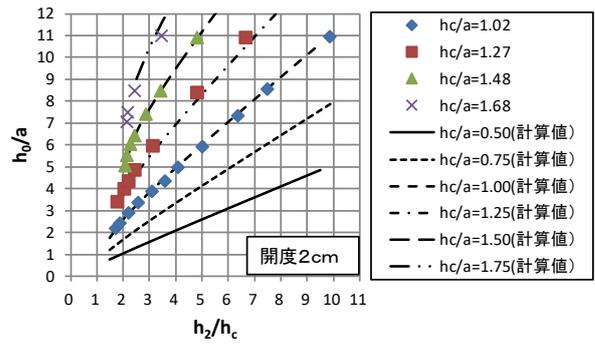


(b) a=4cm

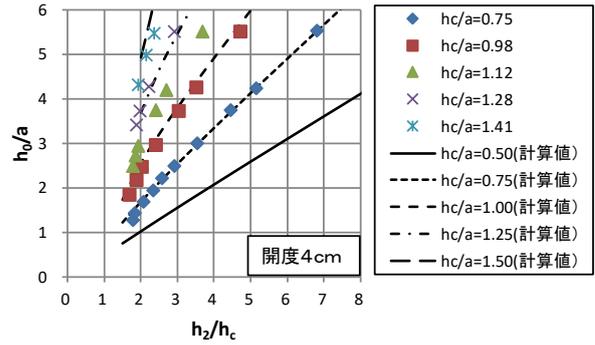


(c) a=6cm

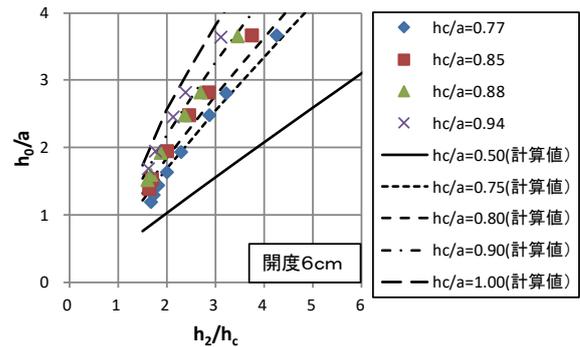
図2 h₀の実測値と計算値の比較



(a) a=2cm



(b) a=4cm



(d) a=6cm

図3 h₀/aとh₂/h_cの関係の検証

図3は式(4)の根 h_0/a (無次元上流水深) の h_2/h_c (同 下流水深) による変化を, h_c/a (同 流量) をパラメータとして, 実験結果とともに示す. 図には, 上流水深は下流水深および限界水深 (流量) の増加とともに単調に増加することが無次元の形で示されている. また, 図2から明らかなることであるが, この傾向は実験結果でも示されている. ゲート上流水深の上記の変化傾向は現象的に合理的である.

5. 結語

以上, 本研究ではスルースゲートからの潜り流出について, ゲート上流水深 h_0 の計算式として式(3)および(4)を示した. そしてこれらの式による計算

値が実験値と良好に一致することを示すと共に, 式(4)が示唆する系統的な変化特性を確認した.

参考文献

- 1) 亀井ら: 縮流係数と縮流断面の流速非一様性を評価したゲートからの流出の水利検討, 第71回土木学会中国支部研究発表会, 2019.
- 2) 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 (掲載予定).