スルースゲートからの潜り流出の上流水深の性状の分析

松江工業高等専門学校　生産・建設システム工学専攻　学生会員　○亀井　悠喜信
松江工業高等専門学校　正会員　荒尾　慎司
九州産業大学　フェロー会員　羽田野　袈裟義，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．潜り流出における流量とゲート上流水深との相互関係はゲート運用の計画で重要で，すでに著者らによりその定式化がなされている[1)]．ただ，ゲートの水理を吟味する観点からは無次元量の間の関係として示すことがより有用であり，そのような検討はこれまでなされていない．

本研究では，ゲート開度 a，流量（単位幅当たりの流量 q），ゲート上流水深 h_0，ゲート下流水深 h_2 を種々変化させた系統的な実験を行い，著者らが得た 3 次方程式[1)]から求められる h_0/a と h_2/h_c との関係を限界水深 h_c とゲート開度 a の比 h_c/a をパラメータとして分析したのでその結果を報告する．

２．実験装置及び実験方法

２．１　実験装置

実験装置は図１に示すような長さ 10.3m，幅 30cm の可変勾配水路の上流端から 4.8m に設けた厚さ 1cm，幅 30cm のアクリル板の水門（スルースゲート）で，水路の下流端には可動堰を設置してゲート下流の水深（水位）を制御して所望の流出状態を実現できるようにしている．

図１　実験装置（下流斜めから撮影）

２．２　実験方法

ゲート開度 a を所定の値に設定し，バルブ調整により所望の流量にして水を流した．次に，ゲート開度を一定に保ったまま流量を変化させ，各流量においてゲートからゲートの上流 1m までの区間，そしてゲートからゲートの下流 4m までの区間の水深を測定した．また，自由流出から潜り流出へと移行する限界の条件も調べた．ゲート開度 a を 2cm, 3cm ,4cm, 5cm, 6cm と 5 種変化させた．

３．実験結果

図 2 はゲート開度 2cm，流量 4760cm^3/s の時のゲートより上流側と下流側の水深の実測結果である．流量が大きくなるにつれゲートより下流と上流の水深の差は大きくなることがわかる．

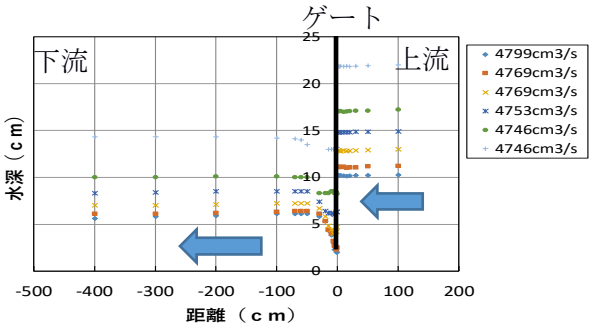


図２　開度 2cm での上流、下流の水深測定の一例

４．ゲート上流水深の評価式と特性分析

基本式は，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（式(1)），および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（式(2)）である．式(1)と式(2)を連立して解くとゲート上流側の水深 h_0 を算定する式として式(3)が得られる．

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

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

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

式(3)を a^3 で除して，単位幅当たりの流量 q を$q = \sqrt{gh_c^3}$に置き換えると式(4)になる．

キーワード　スルースゲート，潜り流出，上流水深の評価
連絡先　〒690-8518　島根県松江市西生馬町 14-4　松江工業高等専門学校　環境・建設工学科
TEL:0852-36-5225

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

$$+\frac{1}{2}\left(\frac{h_c}{a}\right)^3=0 \qquad (4)$$

式(4)では h_2（ゲートから下流 100cm の位置），縮流係数 C_c=0.62[1]（現場での大きなレイノルズ数を考慮），流量 q 及びゲート開度 a を与えれば，ゲート上流側の水深比 h_0/a を求めることができる．h_c/a を 0.5 から 3.0 まで 0.5 刻みで，式(4)から h_0/a を算定した結果を**図 3** に示す．また，**図 4** にゲート開度 2cm から 6cm の実測値と式(4)の計算値の比較を示す．これらの図から，式(4)による計算値は，ゲート開度によらず実測値をほぼ再現できることがわかる．図から同一流量（同一の h_c/a）で下流水深の増大による上流水深の増大の特性が理解される．

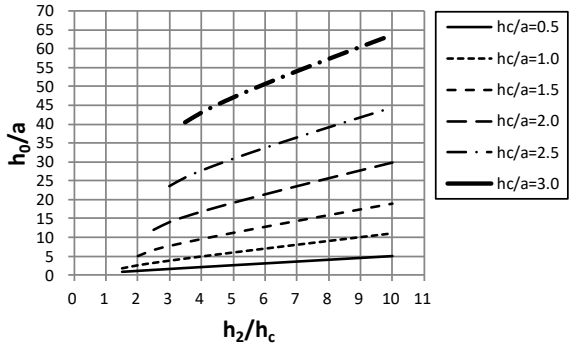
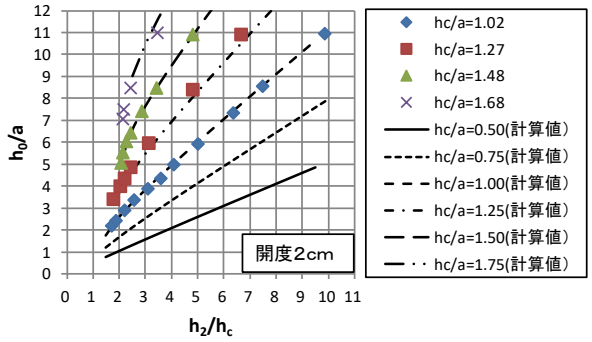
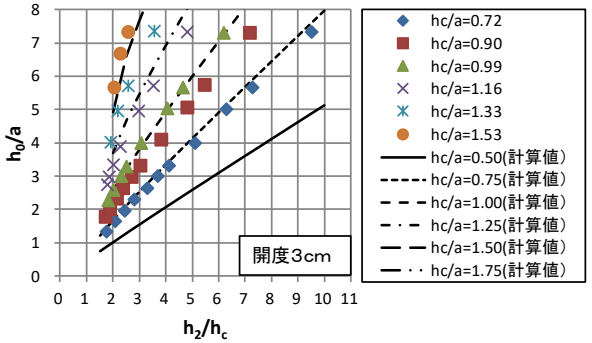


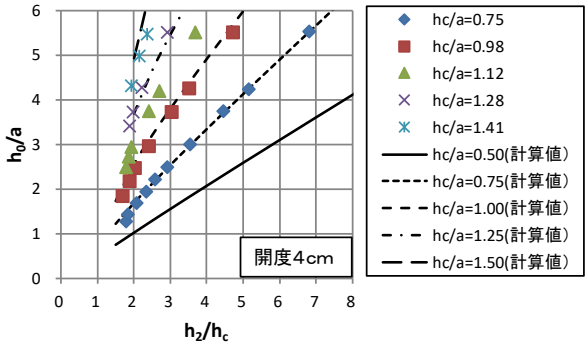
図 3　h_0/a と h_2/h_c の関係の計算結果



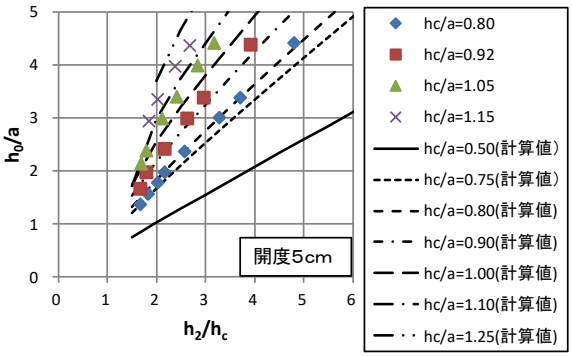
(a) a=2cm



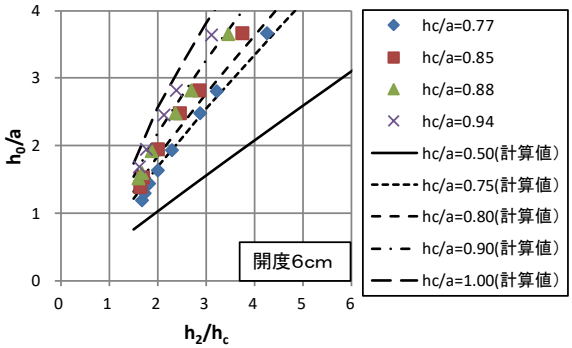
(b) a=3cm



(c) a=4cm



(d) a=5cm



(e) a=6cm

図 4　h_0/a と h_2/h_c の関係の検証

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，ゲート開度 a，ゲート下流水深 h_2，および流量 q の間の無次元量の関係として式(4)を示し，無次元量 h_2/h_c と h_0/a の間の関係を種々の h_c/a の値について調べた．式(4)による計算の結果は実測値を良好に再現し，下流水深の増大による上流水深の増大が明示された．今後は傾斜ゲートについても同様の検討を予定している．

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理検討，第 71 回土木学会中国支部研究発表会,2019.