

## 傾斜水路内のスルースゲートからの潜り流出の上流水深の評価式の検討

島根県庁 非会員○亀井 悠喜信

松江工業高等専門学校 正会員 荒尾 慎司

フェロー会員 羽田野 袈裟義

第一復建(株) 正会員 金守 幸吉

## 1. はじめに

昨今では異常降雨が頻発しており、幹川に流入する手前にゲートを有する多くの水路や支川のゲート上流では浸水の回避が極めて重要である。その意味でゲート上流水深の評価方法の確立はゲート上流の浸水対策に不可欠で喫緊の課題である。前報<sup>1)</sup>では、水平な長方形断面水路に設置されたスルースゲートからの潜り流出について、ゲート上流水深の評価を試みた。具体的には、ゲート上流の流水断面とゲート直下流の縮流断面に適用したベルヌーイの定理と縮流断面からゲート下流の水深一定の断面の間に適用した運動量の定理を組合せてゲート上流水深の評価式を提案している。

本研究では、傾斜した長方形断面水路内のスルースゲートからの潜り流出について、ゲート上流水深の評価式を提案し、室内実験により計算式の検証を行なう。

## 2. ゲート上流水深の評価式の導出

ここでは、図-1 を用いてスルースゲートの上流水深の算定手順を述べ、上流水深の評価式を導出する。ゲート上流の流水断面①では静水圧分布であり、流れは速度  $v_0$  の一様流速と仮定する。ゲート直下流の縮流断面②では流出水が  $C_c a$  の厚さの流動部を一様流速  $v$  で流れ、その上層の表面渦領域の水は近似的に静止状態にあり、圧力は静水圧分布に従うものとする。断面①-②の間ではエネルギー損失は小さく、これらの断

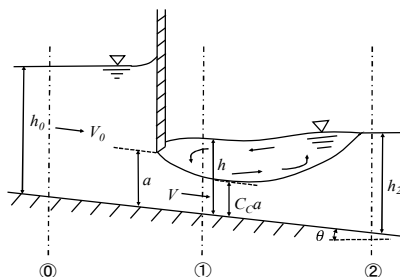


図-1 スルースゲートからの潜り流出の模式図

面間にベルヌーイの定理を適用すると次式を得る。

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

断面①-②間に運動量の定理を適用すると式(2)を得る。

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

ここで、式(2)の右辺第2項はゲート下流の縮流断面①と水位一定となる断面②の水に作用する重力の水路底面に沿う方向の成分である。また、 $l$ は断面①-②間の区間長、 $\sin \theta$ は水路勾配、 $B$ は水路幅、 $g$ は重力加速度である。式(1)と(2)を組み合わせると、断面①での水深  $h_0$  に関する次の3次方程式が得られる。

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

ここで、 $v$ は断面①-②間の水の体積である。式(3)より、ゲート開度  $a$  により規格したゲート上流水深  $h_0/a$  に関する次の3次方程式が得られる。

$$\left( \frac{h_0}{a} \right)^3 - \left[ \sqrt{2 \left\{ \frac{h_2^2}{a^2} \left( \frac{a}{h_c} - \frac{1}{C_c} \right) - \frac{v \sin \theta}{B a^2} \right\} + \left( \frac{h_c}{a} \frac{h_2}{h_c} \right)^2 + \frac{h_c^3}{2a^3 C_c^2}} \right] \times \left( \frac{h_0}{a} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_c}{a} \right)^3 = 0 \quad (4)$$

式(4)では  $h_2$  (ゲートから下流 100cm の位置)、縮流係数  $C_c=0.62^{2),3)}$ 、水路勾配  $\sin \theta$ 、体積  $v$ 、単位幅流量  $q$  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。なお、 $v$ に含まれる縮流断面の水深  $h$  は式(1)と式(2)から導出した式(5)により求めた。

$$h = \frac{-l \sin \theta + \sqrt{l^2 \sin^2 \theta - 8 h_c^3 \left( \frac{1}{C_c a} - \frac{1}{h_2} \right) + 4 h_2^2 - 4 h_2 l \sin \theta}}{2} \quad (5)$$

キーワード スルースゲート 潜り流出 水路勾配 上流水深の評価式

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

### 3. 実験の概要

実験は水路幅 30cm, 有効水深 25cm, 長さ 10.3m の可変勾配水路で行った。水路の上下流のほぼ中央位置に厚さ 1cm のアクリル板を成形した模型スルースゲートを設置して実験を行った。模型ゲートは、刃形堰のように厚さ 2mm の先端辺から 45 度の角度をつけた。実験は、水路勾配とゲート開度  $a$ , 流量を所定の値に設定して行った。流量はバルブ調整により所望の値にした。またゲート下流の水位は水路下流端部の可動堰の操作により設定した。こうして得られる個々の流れについて、ゲート上流 0.7, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100cm の位置、およびゲート下流 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60, 70, 100, 200, 300, 400cm の位置の水深を測定した。実験は水路勾配 1/200, 1/100, 1/50 の 3 ケース, ゲート開度  $a$  は 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm の 5 ケース, 流量は 5 ケース程度としゲート開度  $a$  と流量の組合せを全部で 24 ケースとした。

### 4. 上流水深の評価式の適合性の検証

図-2 は水路勾配 1/50 のケースについて、式(3)によるゲート上流水深の計算値と実測値との比較を示す。なお、式(3)中の $v$ (断面①-②間の水体積)はこの区間の水部分を台形と見なし  $(h+h_2)Bl/2$  で  $l=100\text{cm}$  として評価した。同図によると、 $h_2/h_c \leq 3.0$  では計算値と実測値の差が多少大きいケースがあるが、潜り流出の流れが安定しているとみられる  $h_2/h_c \geq 3.0$  のケースでは計算値は実測値を良好に再現している。

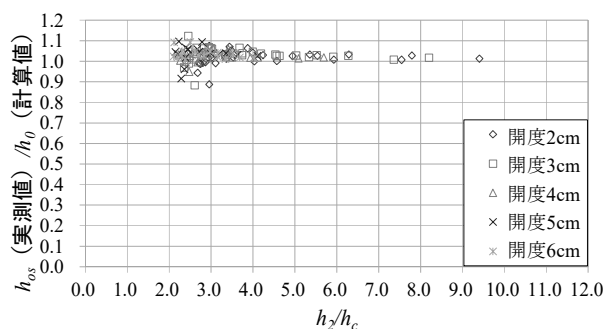
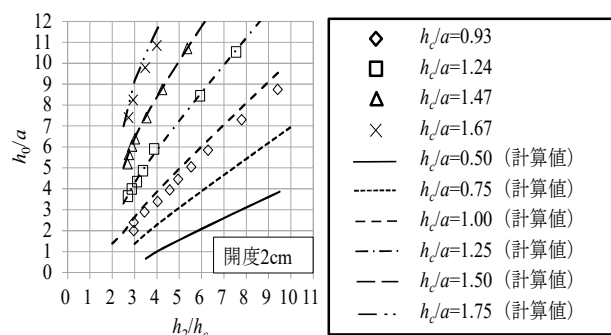


図-2  $h_0$  の実験値と計算値の比較

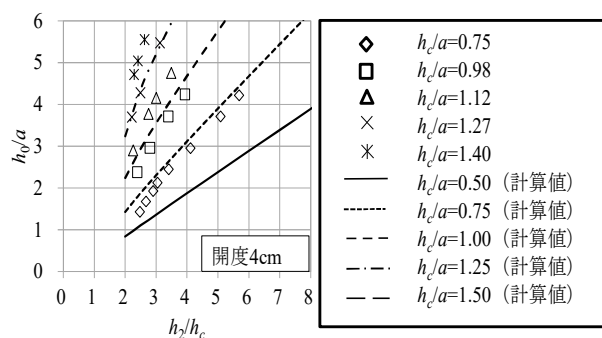
### 5. 規格化されたゲート上流水深の評価式の検証

図-3 は図-2 に示した実験のうちゲート開度 2cm, 4cm のケースについて、規格化されたゲート上流水深  $h_0/a$  の式(4)による計算の結果を、 $h_2/h_c$  を横軸にそして  $h_0/a$  を

パラメータとして示す。同図によるとこの表現でも実験値と計算値が良好に一致しており、本計算式の妥当性が示唆される。



(a)  $a=2\text{cm}$



(b)  $a=4\text{cm}$

図-3  $h_0/a$  と  $h_2/h_c$  の関係の検証

### 6. 結語

以上、傾斜水路内に設置された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を試みた。その結果、水平水路に設置された場合と同様に、ゲート下流の縮流断面①とその下流の水位が安定した断面②の間に運動量の定理を適用することにより、上流水深を評価しうることが示された。なお、式(3)中の $l$ に実験値を用いたが今後これを水理学的に確定する予定である。

### 参考文献

- 1) 羽田野ら：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，令和2年度土木学会年次学術講演会，2020。
- 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，No.310(88-1)，pp.I\_125-I\_134，2020。
- 3) 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。