

北海道大学工学部 正員 黒木 幹男

北海道大学工学部 正員 岸 力

1 はじめに

堰やダムに作られた水門から水が流出する場合、水門付近の上下流の流速は高速となるため、河床には局所洗堀が生ずる。これまで、水門下流部の河床の局所洗堀については、数多くの研究が行われており現象の解明が進んでいるが、水門上流部の河床の局所洗堀については、ほとんど研究が行われていないのが現状である。本研究では、最も基本的な底流型水門の場合について、水門から十分に離れた場所では河床砂が移動しない状態を対象にして、自由流出時の水門上流部の河床洗堀形状について調べた。

2 実験の概要

実験は幅30cm、長さ10m、側面ガラス張りの可傾斜水路のなかに、図-1のようにアクリル製の水門板を取り付けて実施した。水路床には、水門下流の水たたき部には砂止めをかねてアクリルブロックを設置し、水門上流部には径0.45mmの均一な珪砂を敷きつめた。

あらかじめ上流河床面を平坦に敷きならし、通水初期に河床面を乱さないように注意して通水した。水門の開度 a によらず、上流側の水位が一定になるように流量を調節して通水した。通水後、水門近傍の砂は下流に流掃され、河床洗堀が進行する。時間の経過とともに洗堀口の拡大は停止し、全く砂の移動が認められなくなる。河床が安定した後、河床を乱さないように水を止め洗堀口形状を測定した実験を行った水理条件は表-1に示すとうりである。またアクリルブロックと砂を取り除いた状態で、上の移動床実験と同一の水理条件のもとで、小型プロペラ流速計を用いて水門近傍の流速分布を測定した。

3 河床洗堀形状

最終安定状態の洗堀口形状の測定結果を図-2に示す。図の両軸は洗堀口の最大長さ L_c で基準化してある。水理条件の変化に関係なく、安定洗堀口形状はほぼ相似であることがわかる。水門下流部の河床洗堀を調べたこれまでの多くの実験でも、洗堀口形状は相似に保たれることが指摘されており、現象の類似性を推定させ興味深い。

基準化に用いた L_c の値そのものは、開度 a 、水深 D および河床粒径 d などの条件によって変化する。したがって、これらの条件を与えて L_c の値を見積もる事ができれば、洗堀口形状は確定する。

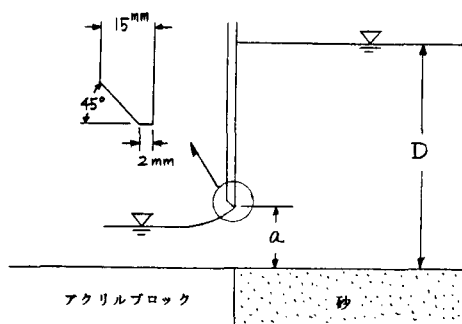


図-1 実験の概念図

表-1 実験条件

No	a (cm)	D (cm)	Q (l/s)	i
1	0.5	2.0	2.1	1/1000
2	0.7	2.0	2.7	1/1000
3	1.0	2.0	3.9	1/1000

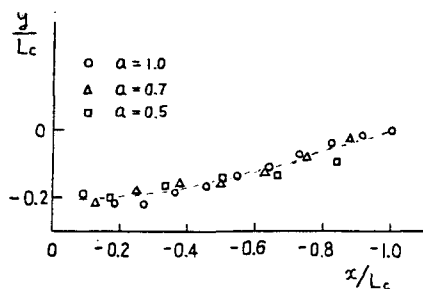


図-2 洗堀口形状

4 水門近傍の流れの解析

水門近傍の流れの加速状態を知るため、平坦固定床上の流れの解析を行った。解析には連続成層状態の貯水池での取水問題で慣用されるBoussinesq近似を行ったEulerの運動方程式・連続式を用いて、2次元定常流れを考えた。この種の解析はこれまでもpoint sinkを対象にして行われているが、本研究では水門の開度が有限の場合を対象に解析を行った。紙数の関係で詳細は別の機会にゆずり結果だけ示すと、流れ関数を用いて解は式(1)のように与えられる。

$$\frac{\Psi}{UD} = (\eta_2 - \eta_1) \cdot \left\{ \eta + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \exp \left\{ \sqrt{(n\pi)^2 - (\eta_2 - \eta_1)^2} \frac{\beta g D}{U^2} \right\} \right\} \cos(n\pi\eta) \quad (1)$$

$$b_n = \frac{2}{(n\pi)^2 (\eta_2 - \eta_1)} \left\{ \sin(n\pi\eta_2) - \sin(n\pi\eta_1) \right\}$$

ここに、 Ψ は流れ関数、 U は水門出口での平均流速、 D は水深、 $\xi = x/D$ 、 $\eta = y/D$ はそれぞれ流下方向鉛直上方にとった無次元距離、 η_2, η_1 は水門の上下端位置、 $\beta = (\rho_0 - \rho_s)/\rho_0$ 、 ρ_0, ρ_s は水面および河床での水の密度である。

いま、 $\beta \rightarrow \infty$ の極限操作を行い一様密度の場合について、開度 a の底流型水門近傍の底面流速 u_b の分布を求めると図-3のようになる。水門近傍では流れの加速特性が相似になっていることがわかる。図中には平坦固定床実験で求めた測定値も併せてプロットしてある。測定値は計算値ほどには良くまとまらず、 $a = 0.5, 0.7$ の場合と $a = 1.0$ の場合でやや値にひらきがあるが、解析結果はおおむね実験値の傾向を説明することができる。

5 Lcの見積り

上の解析で u_b の分布が求まったので、流速係数 $\phi = u_b/u_*$ が与えられれば河床掃流力 τ_* の分布が求まる。 ϕ の値は河床近傍の境界層の特性を反映するはずであるが、本研究で対象にした水門近傍の加速域における境界層の特性についてはほとんど知られていない。ひとまず底面近傍で対数則の成立を仮定し、底面流速として $y \approx ks \approx d$ 程度の位置の値をとれば、 $\phi \approx 8.5$ と与えられる。

いま、洗堀口上流端での河床掃流力が限界掃流力に等しいと仮定すれば、式(1)から Lc を求めることができる。 Lc は次式のように三つのパラメータで表される。

$$\frac{Lc}{D} = f_{nc} \left(\frac{U_0}{\sqrt{sgd}}, \frac{a}{D}, \phi \right) \quad (2)$$

図-4に計算結果と実測値の比較を示す。実験では $U/\sqrt{sgd} = 15$ であり、計算値と実測値との適合度は良好である。

謝辞 本研究の遂行にあたり当時本学学生 田島直毅君の熱心な協力を得た。記して謝意を表する。

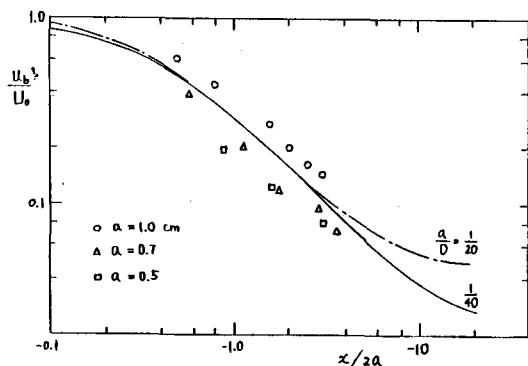


図-3 底面流速の分布

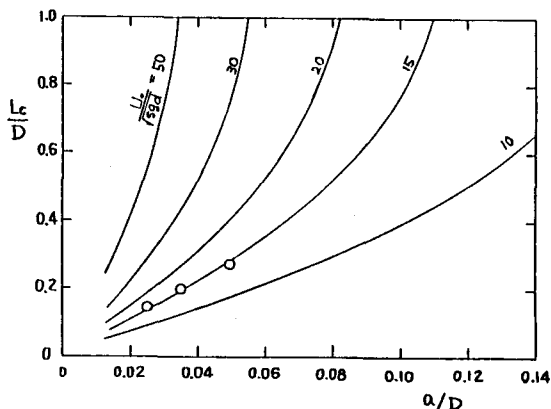


図-4 最大洗堀長 Lc