

神戸大学工学部

正会員 道奥 康治

京都大学防災研究所

正会員 石垣 泰輔

(株)建設技研インターナショナル

正会員 ○池松 健

神戸大学大学院

学生会員 南條 雅志

(株)阪神電気鉄道

正会員 羽根田正則

1. はじめに

近年、河川改修においても河川環境へ与える負荷の少ない工法が注目されている。透過水制は、流れの制御効果に加えて、曝気による河川自浄効果の促進、水生生物の生息空間の提供など河川環境機能も備えた構造物として期待される。本報告では開水路の一部に透過水制を配した平面二次元流れの実験・解析を行い、水制周辺・内部の流れを検証する。ここでは、透過水制を越流しない場合を考える。

2. 実験概要

図-1 に実験水路及び本研究で用いる座標系の定義を示す。実験は京都大学防災研究所に設置された、長さ $L=2\text{m}$ 、幅 $B=1\text{m}$ 、水路勾配 $i=1/800$ の開水路で行った。透過水制は、長さ $L'=1\text{m}$ 、幅 $B'=0.3\text{m}$ 、高さ $h'=0.2\text{m}$ であり、平均粒径 $d_m=1.9, 3.5\text{cm}$ の二種類の石礫を直方体に整形したものである。水路下流端での堰上げの有無により、構造物下流で射流と常流になる場合を考える。流速は電磁流速計、水深はポイントゲージにより計測した。

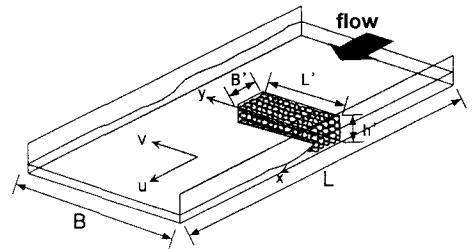


図-1 水路概要及び座標系の定義

3. 数値解析の概要

計算モデルとして、長田¹⁾による一般座標系を用いた平面2次元非定常流れの数値解析を用いた。本解析では透過水制内部にも流れが存在する為、開水路部と透過水制内部に分けて考える。なお、透過水制内の流れについては道奥ら²⁾による捨石堰の非定常流れの抵抗則を適用した。連続式に関しては、開水路部の流速 u と透過水制内の見かけの流速 u_s を同等とみなして同一の連続式を適用する。以下に基礎式を示す。

連続式：

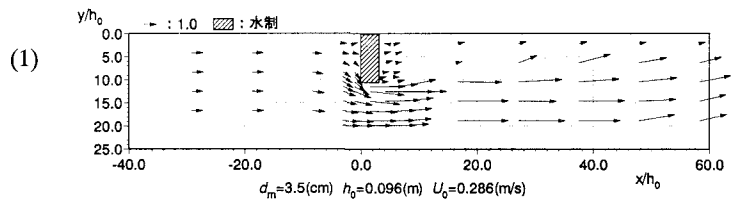
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

開水路部の運動方程式 (x 方向)：

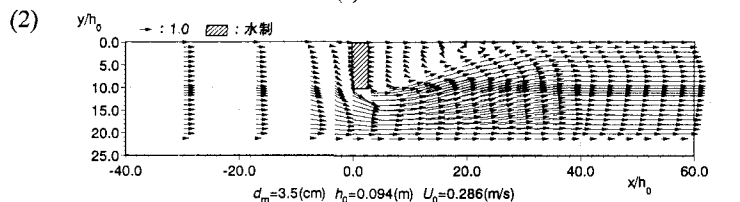
$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial Mv}{\partial y} &= -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left(-\overline{u'^2}h \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\overline{u'v'}h \right) \end{aligned}$$

透過水制内部の運動方程式 (x 方向)：

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \frac{\partial M_s}{\partial t} + \frac{1}{n^2} \frac{\partial u_s M_s}{\partial x} + \frac{1}{n^2} \frac{\partial v_s M_s}{\partial y} \\ = -gh \frac{dz_s}{dx} - M_s \left(\frac{v}{K} + \frac{c}{\sqrt{K}} \sqrt{u_s^2 + v_s^2} \right) \end{aligned}$$



(a) 実験結果



(b) 解析結果

図-2 無次元流速ベクトル図

ここで、 u, v ：水深平均流速、 M, N ：流量フラックス、 z_s ：基準面からの水位、 $-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$ ：水深平均レ

イノルズ応力, u_s, v_s : 見かけの流速, M_s, N_s : 見かけの流量フラックス, n : 間隙率, $c, \sqrt{K}$: 多孔体の流体抵抗特性を規定する係数²⁾である. 数値解析と実験の水理条件は同一である.

4. 実験及び解析結果

紙面の都合により, 図-2~4 においては透過水制の平均粒径が $d_m=3.5\text{cm}$ で下流端の堰上げがないケースのみの結果を示す. 図-2 には実験と解析から得られた無次元流速分布を示す. 数値解析は実験で得られた流れ場を概ね再現している. 図-3 に示した水制近傍の無次元水深分布の解析結果より, 水制内の水深は上流左岸側から下流右岸側へ向かって小さくなるのがわかる. 図-4 に示した水制近傍の無次元流速分布の解析結果から, 水制により流れが右岸側に刎ねられる様子がわかる. 図-5 には解析により得られた水制内の流水抵抗力 (層流抵抗 + 乱流抵抗) の等値線を示す. 図-5(a) に透過水制の粒径が $d_m=1.9\text{cm}$ で下流端の堰上げがないケース, 図-5(b) に透過水制の $d_m=3.5\text{cm}$ で同じく下流端の堰上げがないケースを示し, 粒径の違いによる流水抵抗への影響を比較検討した. 流水抵抗力 F_p (無次元量) は式 (3) の右辺第二項の多孔質の抵抗項に相当し次式で定義される.

$$F_p = \frac{F_0^2}{\text{Re}} \frac{\tilde{u}_i^2}{\tilde{K}^2} + c F_0^2 \frac{\tilde{u}_i^2}{\sqrt{\tilde{K}}} \quad (4)$$

ここで, F_0 : 水路上流端におけるフルード数, Re : レイノルズ数, $\tilde{u}_s = u_s / U_0$, $\tilde{K} = \sqrt{K} / h_0$, U_0 : 上流端流速である. 流水抵抗力を検討する事により, 透過水制内のどの地点が最も崩壊しやすいかが把握できる. 図-5 より透過水制が最も崩壊しやすい地点は水制先端部の上流側であり, 次に下流側の左岸側である事がわかる. また, 粒径が大きくなると, 最も崩壊しやすい水制先端部での流水抵抗力が小さくなることもわかる.

参考文献

- 1) 長田信寿: 一般座標系を用いた平面 2 次元非定常流れの数値解析, 水工学における計算機利用の講習会講義集, 土木学会水理委員会, pp.61-76, 1999.
- 2) 道奥康治, 前野詩朗, 古澤孝明, 羽根田正則他: 捨石堰の「水位 - 流量」特性を規定する水理量, 水工学論文集, 第 46 巻, 2002

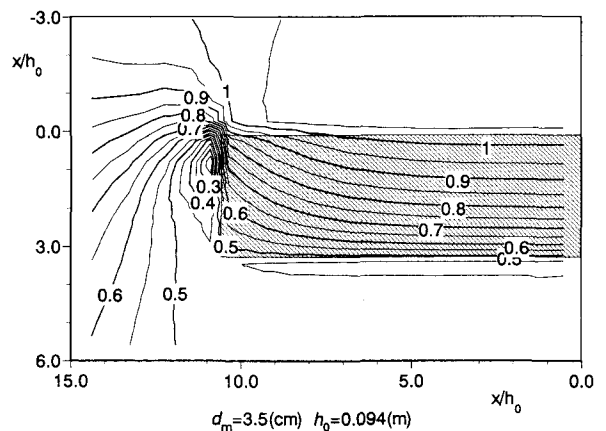


図-3 水制近傍の無次元水深分布

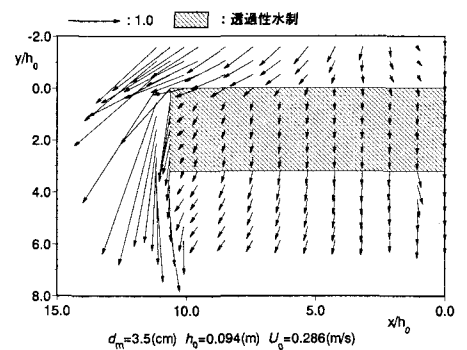


図-4 水制近傍の無次元流速分布

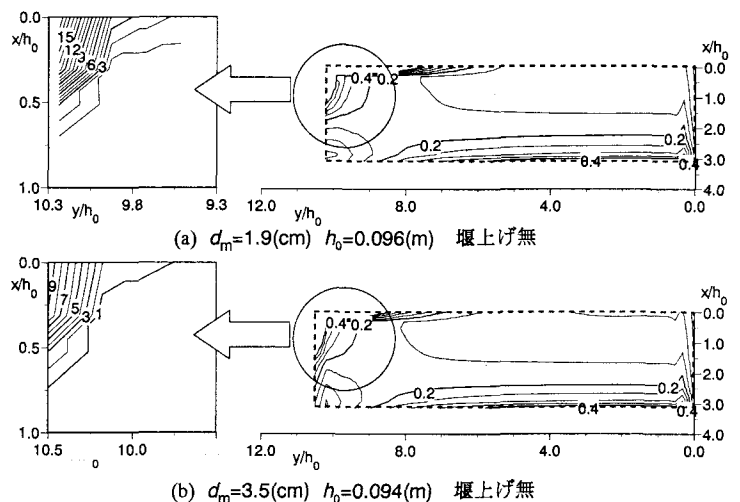


図-5 水制内の流水抵抗力