

透過水制が設置された開水路流の実験と解析

| | | | |
|------------------|-----|-----|----|
| (株)建設技研インターナショナル | 正会員 | ○池松 | 健 |
| 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 |
| 岡山大学環境理工学部 | 正会員 | 前野 | 詩朗 |
| 神戸大学大学院 | 学生員 | 南條 | 雅志 |

1. はじめに

近年、治水・利水とともに自然環境への対策が河川改修の大きな目的となってきた。こうした背景から、従来の不透過型の河川構造物と比べ河川環境への負荷が少ない自然材料等を用いた透過性構造物が見直されている。本研究では透過水制を想定して実験と数値解析を実施し、その水理特性を検討した。本報告では、透過水制を越流しない流れを対象とする。

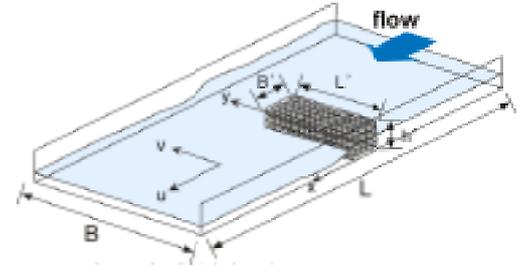


図-1 水路概要及び座標系の定義

2. 実験装置と方法

図-1 に実験水路形状及び数値解析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 $L=2m$ 、幅 $B=1m$ 、水路勾配 $i=1/800$ の開水路で行われた。表-1 に実験条件を示す。透過水制は平均粒径 $d_m=1.9, 3.5cm$ の二種類の石礫を用いて表-1 に示すような直方体形状に構築した。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。

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。透過水制内部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 を同等と考えることにより同形の連続式を適用する。解析の水理条件は実験のものとも一致させている。

表-1 実験条件

| ケース | | case1 | case2 | case3 | case4 | case5 |
|-----------------------|--------|---------|-------|---------|-------|-------|
| 水制形状 | 種類 | 不透過型 | | 透過型(捨石) | | |
| | 高さW(m) | 0.2 | | | | |
| | 長さL(m) | 0.3 | | | | |
| | 幅B'(m) | 1 | | | | |
| | 粒径(m) | | 0.019 | 0.035 | 0.019 | 0.035 |
| 堰上げ | | 無 | | | 有 | |
| 流量(m ³ /s) | | 0.05193 | | | | |
| 水路勾配 | | 1/800 | | | | |

- 連続式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

- 開水路部の運動方程式 (x 方向)：

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

- 透過水制内部の運動方程式 (x 方向)：

$$\frac{1}{n} \frac{\partial M_s}{\partial t} + \frac{1}{n^2} \frac{\partial u_s M_s}{\partial x} + \frac{1}{n^2} \frac{\partial v_s M_s}{\partial y} = -gh \frac{dz_s}{dx} - M_s \left(\frac{v}{K} + \frac{c}{\sqrt{K}} \sqrt{u_s^2 + v_s^2} \right) \tag{3}$$

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である²⁾。

キーワード：透過水制，平面二次元流れ，水刎ね効果

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 Phone: (078)803-6056, FAX: (078)803-6069

4. 実験と解析の比較

図-2(a)に $y/h_0=15$ の縦断面における無次元水深 h/h_0 の流下方向変化を、図-2(b)には同じく無次元流速 u/U_0 の流下方向変化を示す。ここで、 h_0 、 U_0 ：構造物上流の断面における等流区間での水深と流速である。図-2より実験値と計算値を比較すると、上流側から水制付近までは水深・流速ともにほぼ等しい。図-2(a)の Case1~3(堰上げ無)の計算値では $x/h_0=20\sim40$ で跳水が存在する。実験値でも緩やかな跳水が見られるが、跳水部の水面形状に関しては実験-解析間の一致は必ずしも良好ではない。図-3には水制の水刳ね効果を検証するため、水路左岸半分の流量の無次元値 Q_l/Q_{all} について実験と解析との比較を示す。ここで Q_{all} ：全流量、 Q_l ：水路左岸側の流量である。図-3より Case1~3（堰上げなし=構造物より下流側で射流）では流れが水制により左岸側に刳ねられ、その後等流状態に戻り、Case4,5(堰上げ有)では刳ねられた後あまり左岸側に流れが戻らないことがわかる。図-4には水制内の流水抵抗力（層流抵抗+乱流抵抗）の等値線（解析値）を示す。図-4(a)に透過水制の粒径が $d_m=1.9\text{cm}$ で下流側の堰上げがない場合、図-4(b)に $d_m=3.5\text{cm}$ で下流側の堰上げがない場合の結果を示す。水制材料の粒径が流水抵抗に及ぼす影響がわかる。流水抵抗力 F_p （無次元量）は式(3)右辺第二項の抵抗項に相当し、次式で定義される。

$$F_p = \frac{F_0^2 \tilde{u}_s^2}{\text{Re} \tilde{K}^2} + cF_0^2 \frac{\tilde{u}_s^2}{\sqrt{\tilde{K}}} \quad (4)$$

ここで、 F_0 ：無次元流量(フルード数)、 Re ：レイノルズ数、 $\tilde{u}_s = u_s/U_0$ 、 $\tilde{K} = \sqrt{K}/h_0$ である。流水抵抗力は透過水制に作用する流体力であり、図-4から、水制先端部の上流側付近で最も大きく、次いで下流側の左岸側付近が大きく、これらの部分から構造物が崩壊しやすいことがわかる。また、水制の透過性が大きくなると、水制先端部での最大流体力は低減することがわかる。

参考文献

- 1) 長田信寿：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 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

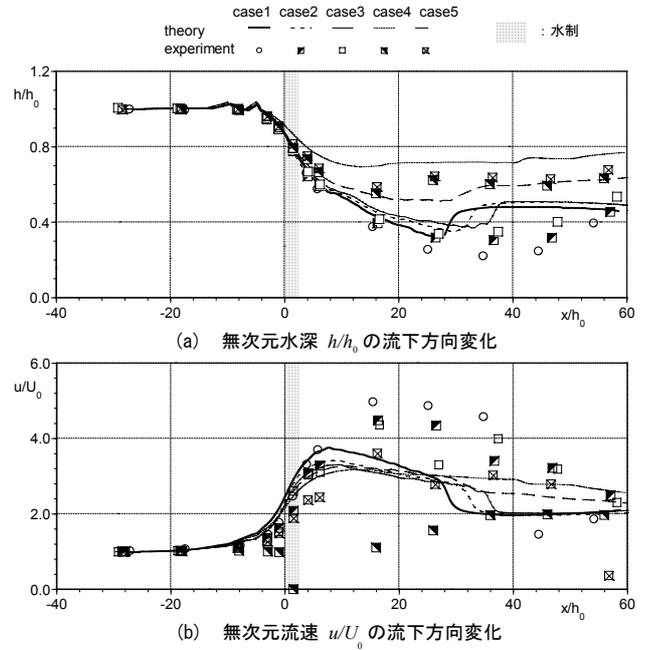


図-2 実験と計算の比較

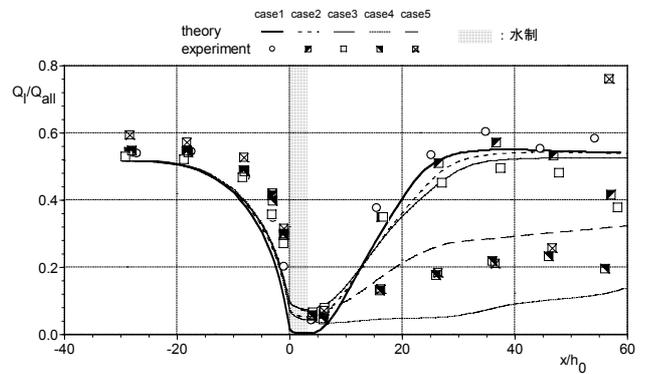


図-3 水刳ね効果

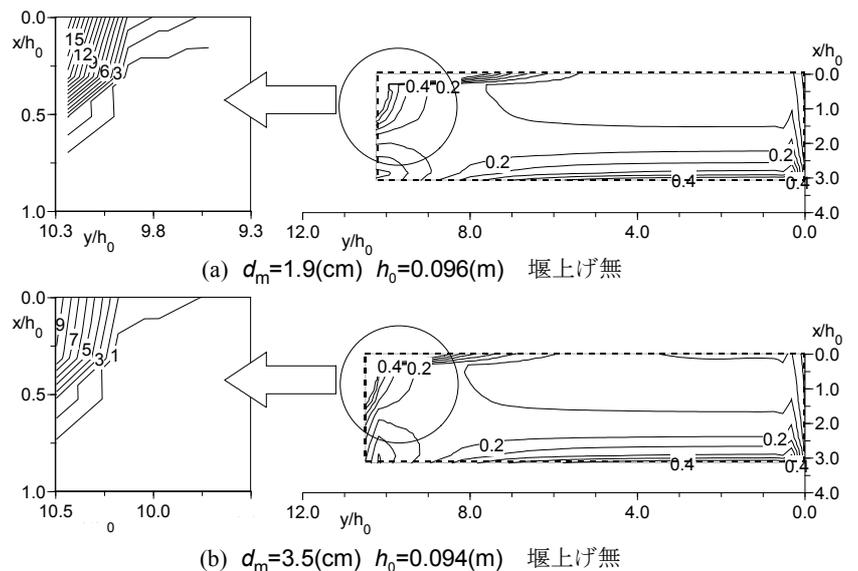


図-4 水制内の流水抵抗力