

## II-149 水制工を含む水路の流れと河床変動計算

北海道開発コンサルタント(株) 正員 戸嶋 光映  
 北海道開発コンサルタント(株) 正員 荒井 信行  
 北海道開発局 開発土木研究所 正員 中津川 誠  
 北海道開発コンサルタント(株) 正員 三谷 紀一

## 1. はじめに

水制工の構造、透過度等は、その設置の目的によって選定されるが、現段階では各種水制工の抵抗特性や河床変動予測があいまいなために、河道特性の類似した他河川の事例や模型実験などを通して検討される場合が多い。本研究は、透過・不透水水制工を含む水路全体の流況及び河床変動を予測するため、清水・板倉ら<sup>1)</sup>による2次元浅水流モデルを用いた河床変動計算法をもとに、透過水制工については水制内を通過する流れにDupuit-Forchheimer則<sup>2)</sup>を適用した実用的な数値計算モデルを開発し、本モデルを用いて単断面直線水路における非越流型透過・不透水水制工(単独)の実験例により、再現計算を実施した結果である。

## 2. 計算方法

水路内の流れの運動方程式を(1)、(2)式、連続式を(3)式で与える。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[ \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \varepsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[ \varepsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ただし、 $x, y$ は流下方向、横断方向距離、 $u, v$ は $x, y$ 軸方向の水深平均流速、 $h$ は水深、 $P$ は圧力、 $\rho$ は水の密度、 $\tau_x, \tau_y$ は $x, y$ 軸方向の河床せん断力であり、 $\varepsilon$ は渦動粘性係数である。

ここで、水制の設置は側壁に直角方向のみを考えることとし、不透水水制の場合には水制の地点で単純に $u=0$ を境界条件として与え、透過水制の場合には、水制を通過する流れにDupuit-Forchheimer則を適用し、ここでの運動方程式を(4)式で与える。 $\alpha, \beta$ は(5)、(6)式のEngelund<sup>2)</sup>の表現を採用する。

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = (\alpha + \beta |u|) u \quad (4) \quad \alpha = \alpha_0 \frac{(1-\lambda_D)^3}{\lambda_D^2} \frac{\nu}{d_D^2} \quad (5) \quad \beta = \beta_0 \frac{(1-\lambda_D)}{\lambda_D^3} \frac{1}{d_D} \quad (6)$$

ただし、 $u$ は $x$ 軸方向の流量流速(流量を固体部分を含む全流水断面積で除したもの)であり、透過水制の空隙率を $\lambda_D$ とし実流速 $u_D$ との間に $u = \lambda_D u_D$ の関係を仮定している。 $\nu$ は水の動粘性係数、 $d_D$ は材料の代表径で、 $\alpha_0, \beta_0$ は定数である。

河床変動計算では、流砂量式として $x$ 軸方向はMeyer-Peter-Müllerの式を、 $y$ 軸方向は長谷川の式を用いる。<sup>1)</sup>

ここで、透過水制内では、無次元せん断力 $\tau_*$ を以下のように求めて流砂量を計算する。

透過水制内の流れを円管流とみなし、摩擦損失水頭を(7)式で与え、(4)、(7)式より $f$ を求め、管路における摩擦速度 $u_*$ と速度 $u_D$ の関係 $u_*/u_D = \sqrt{f/8}$ から $\tau_*$ は(8)式で与えられる。

$$h_f = f \frac{1}{D} \frac{u_D^2}{2g} \quad (7) \quad \tau_* = \frac{D}{4} \left[ \beta + \frac{\alpha}{|u|} \right] \frac{u^2}{(\rho_s / \rho - 1) g d} \quad (8)$$

ただし、 $f$ は摩擦損失係数、 $l$ は管長、 $D$ は管径、 $\rho_s$ は砂れきの密度、 $g$ は重力加速度、 $d$ は砂れきの平均粒径である。

### 3. 適用例

単断面直線水路における固定床・不透過水制と移動床・透過水制の実験例をもとに、再現計算を行った。実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件

| 実験        | 水路幅<br>B[cm] | 河床勾配<br>1 | 流量<br>Q[l/s] | 水制長<br>la[cm] | 河床材料平均<br>粒径 d[cm] |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|--------------------|
| 固定床、不透過水制 | 100          | 1/1,000   | 16.5         | 20            | —                  |
| 移動床、透過水制  | 100          | 1/300     | 13.0         | 20            | 0.1                |

流れの特性をとらえるため、固定床の不透過水制の実験結果と計算結果を比較して、図-1の流下方向流速分布図、及び図-2の水深縦断面図に示した。図-1,2より水制周辺における水面形、流速分布は、比較的良い一致を示しており、水制工を含む水路の流れの計算に2次元浅水流モデルを用いることの適用上の妥当性が示された。

次に、図-3は移動床・透過水制の実験例における5時間通水後の河床高コンター図である。同図には、水制周辺の洗掘・堆積状況が示されているが、図-4に示した計算結果と比較すると再現性は良好と考えられ、本モデルの水制工を含む水路の河床変動予測への適用性が示された。移動床・透過水制の再現計算に用いた諸定数については、 $\alpha_0=1,300$ 、 $\beta_0=1.7$ 、 $\lambda_0=0.4$ 、 $D=1.20$ [cm]とした。

### 4. おわりに

水面形、流速分布、水制周辺の局所洗掘、水路全体の河床変動の傾向は、実験値と計算値で比較的良い一致を示しており、本研究で提案した数値計算モデルの適用上の適用性が示された。

しかしながら、水制近傍の土砂挙動のメカニズムについては、未だ不明確な点も多いため、今後は、これらの点について明らかにしていくとともに、次のような課題について検討していきたいと考えている。

- 1) 透過水制に対する諸定数の設定法
- 2) 水制群とした場合への応用
- 3) 蛇行水路とした場合への応用
- 4) 流れに対してさまざまな角度をもった水制への応用
- 5) 2次元モデルの適用限界

謝辞 本研究の検討にあたっては、北海道開発局開発土木研究所河川研究室、環境研究室、ならびに北海道開発局帯広開発建設部治水課の皆様方に、有益な御助言を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献1) 清水康行・板倉忠興；河川における2次元流れと河床変動の計算，土木試験所報告第85号，1986

2) 近藤俊郎・竹田英章；消波構造物，森北出版，1983

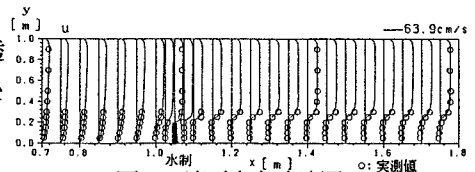


図-1 流下方向流速図

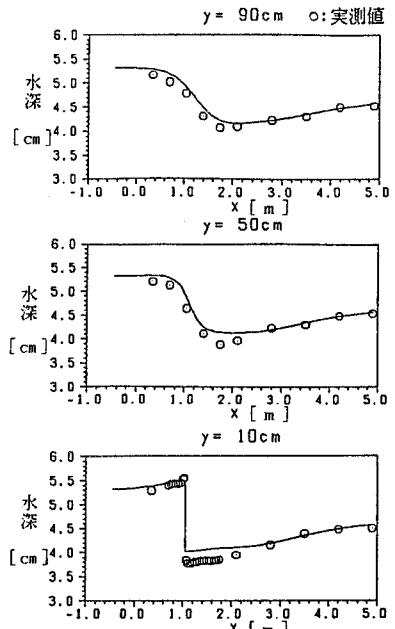


図-2 水深縦断面図

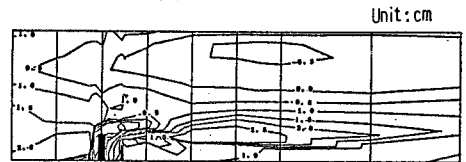


図-3 河床高コンター図（実測）

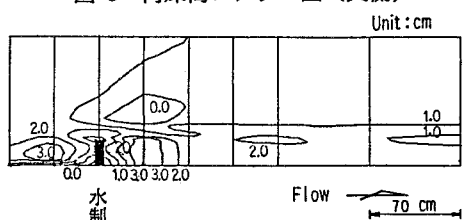


図-4 河床高コンター図（計算）