

水没型水制工まわりの流れの構造と計算法に関する研究

四国旅客鉄道株式会社 正員 川口昭人
 広島大学工学部 正員 福岡捷二
 建設技術研究所 正員 西村達也

1. 序論

河道湾曲部では、流れの遠心力に起因する二次流の作用によって外岸側の河床及び河岸が洗掘され堤防の安定性が減じ、欠壊の危険にさらされることがある。このような場合の対策工として一般に水制工が用いられるが、その構造、配置は適切なものでなければならない。そこで水制工周りの流れの構造をよりよく理解し計算できるようにするために、直線水路において水制工の基本的な配置のもとで実験的検討を行いこれを説明できるシミュレーションモデルの開発を行う。これまで、連続する水制は一つの群として近似的に数値計算の中に取り入れられてきた¹⁾が、本計算モデルでは、一つ一つの水制の流れに及ぼす水理的影響を基本式に取り込み水制周りの流況を一般的な方法で解いている。

2. 水制周りの流れの実験

2-1. 実験方法 実験は、水路長25m、水路幅2.2m、水路床の粗度係数は0.012の直線水路を用いて行った。水路勾配を1/600に設定してこの水路の左岸側に表1に示す諸元の木製の水没型水制を上流端から連続的に設置し、水深及び流速分布を詳細に測定した。流速の測定は電磁流速計を用いて行った。また、計算で与える抗力係数 C_D をあらかじめ見積もっておくために、水制の上下50cmの2断面間で水理量を詳細に測定し運動量保存則を適用し抗力 $D = \frac{\rho}{2} C_D a u^2$ から C_D を求めた。



写真1 実験水路

表 1		
水制間隔	100	(cm)
水制長	50	(cm)
水制幅	5	(cm)
水制高	5	(cm)
水制角度	流れに垂直	
水制設置数	20	基
流量	119.2	(l/s)
水深	9.4	(cm)

2-2. 実験結果 図1は水制の配置と測定位置を示している。図2～図6に実験結果を示す。水制域では流速は大幅に減少している。流速分布形及び縦断水面形より連続的に水制が設置された河道においては各水制間で同じ流れの構造となっていることが分かる。

3. 解析方法

座標系は直交曲線座標系を用い、流下方向に s 軸、これと直交する横断方向に n 軸、鉛直方向に z 軸を定義する。 z 軸方向の運動方程式については静水圧分布が成り立つものと仮定し、水底 z_0 から高さ z まで積分した連続式を s 、 n 軸方向の運動方程式に代入すると次の基本式が得られる²⁾。右辺の最終項は、それぞれ水制が流体に対して抗力及び揚力として作用する外力項である。 δ はディラックの δ 関数である。

$$\frac{\partial h u_0}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial r h v_0}{\partial n} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} - \left(\int_{z_0}^z \frac{\partial u}{\partial s} dz + \int_{z_0}^z \frac{\partial v}{\partial n} dz + \int_{z_0}^z \frac{v}{r} dz \right) \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{u v}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial s} + \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial s^2} + \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial n^2} + \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{F'_s}{\rho} \delta(s-s_i) \delta(n-n_j)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \left(\int_{z_0}^z \frac{\partial u}{\partial s} dz + \int_{z_0}^z \frac{\partial v}{\partial n} dz + \int_{z_0}^z \frac{v}{r} dz \right) \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{u^2}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial n} + \epsilon \frac{\partial^2 v}{\partial s^2} + \epsilon \frac{\partial^2 v}{\partial n^2} + \epsilon \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{F'_n}{\rho} \delta(s-s_i) \delta(n-n_j)$$



図1 水制の配置と測定位置

ここで、流速 u 、 v の水深方向の分布形は次のように近似する¹⁾。

$$u(s,n,z) = \sum_{i=0}^2 u_i(s,n) \cos i\pi(z-z_0)/h \quad v(s,n,z) = \sum_{i=0}^2 v_i(s,n) \cos i\pi(z-z_0)/h$$

上式を運動方程式に代入しガラーキン法によって離散化した後、差分化を行い流速及び水深を算出する。なお、境界条件は上流端において流量、下流端において水深を与える。水制設置区間では、外力の他に水制の形状也正しく取り込むために水制位置では水制の高さだけ河床高を上げ、その上面でせん断力を与えることにより水制の存在を計算の中に十分反映させている。

4. 解析結果と実験結果との比較

図2～図6において実線で示されているのがそれぞれの計算結果である。図2及び図3は、 u 、 v の水深平均流速分布を示したものである。 u 、 v ともに計算結果は実験結果をかなりの程度表現できている。 u に関しては水制を含むその上下流で分布形が表現できており、 v については水制域での分布形、及び水制直前で流れがはねられ（ v が+）その直下流で水制域に向かう流速の発生（ v が-）が良く表現できている。図4は、水制前面での流速 u の鉛直分布形を示したものである。計算結果は u の分布形をほぼ表現している。図5及び図6に示す縦横断水位については最大5mm程度の値の差はあるものの水制周辺の複雑な水面形を概略再現している。

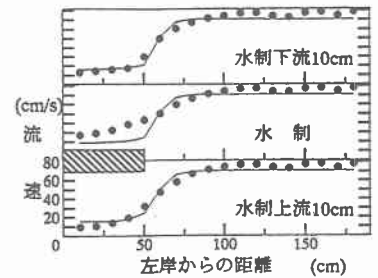


図2 水深平均流下方向流速分布

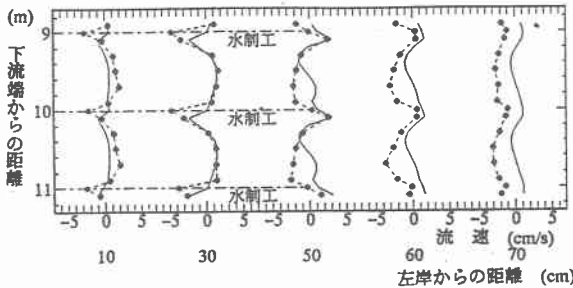


図3 水深平均横断方向流速分布

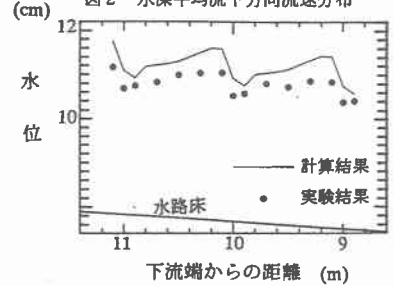


図5 縦断水位（左岸から30cmの縦断面）

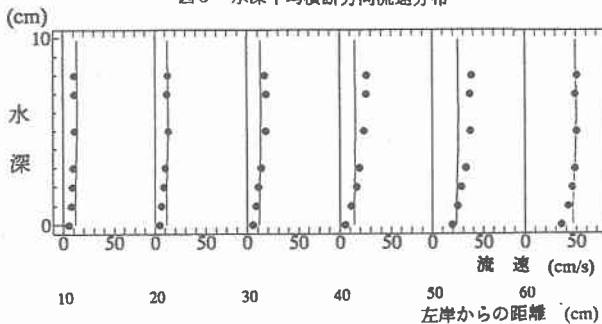


図4 流下方向流速の鉛直分布形（水制上流10cmの横断面）

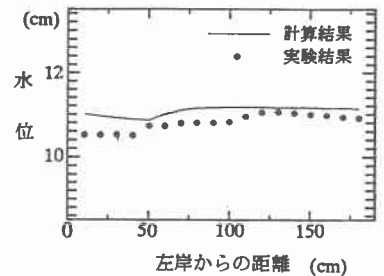


図6 横断水位（水制上流10cmの横断面）

5. 結論 用いた三次元計算モデルは水制周りの流況をかなりの程度再現することができる。これを用いることにより水制工の配置法を数値計算で検討する基本的枠組みができた。

参考文献

- 1) 福岡、渡辺、西村：水制工の配置法の研究、土木学会論文集 No. 443/II-18, pp. 27-36, 1992. 2
- 2) 福岡、渡辺：ペーン工の設置された湾曲部の流れと河床形状の解析、土木学会論文集 No. 447/II-19, pp. 45-54, 1992. 5