

II-101

越流型水制群周辺の流れに及ぼす越流水深の影響

名古屋工業大学 学生会員 〇長坂 剛 名古屋工業大学 学生会員 今野 威一郎
 科学技術庁 加藤 敦 名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

1. はじめに 水制周辺の流れは、現象が複雑であるため、基本的要素を抽出してデータを積み重ねていくことが重要である。本研究では、越流型水制をすぎる流れの相対水深や流速などの水理量の変化が、水制群周辺の河床変動や水制域内の流れ構造に与える影響を検討した。移動床において越流型の水制を複数設置し、越流水深及び断面平均流速を

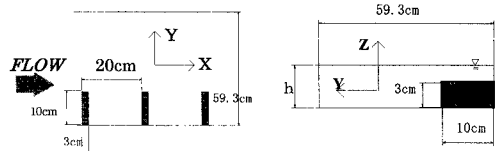


図1 水制の形状

変化させ、水制の減速効果の数値予測を検討するとともに、頭部洗掘と3次元流れ構造について実験的に調べた。

2. 実験条件 実験水路は、長さ13m、幅59.3cmの勾配可変型水路を用い勾配は1/3000とした。水制は、幅3cm、高さ3cm、長さ10cm（ただし、先頭から3番目までは長さをそれぞれ4cm・6cm・8cmとした）の越流型を計27基設置した。水制の形状と配置に関するパラメータを図1に示す。また、各ケースの基準点水深 h （第12水制上）を4, 6, 8cmとし、それぞれに対して、断面平均流速 U_m を18, 20, 22cm/sと変化させた。水制群周辺の河床変動への影響を調べるため平均粒径0.05cmの砂を水制群上流1.4mから下流4.0mまで厚さ10cmで敷き詰め移動床とし、頭部洗掘の進行状況、最終洗掘形状を計測した。流速は2成分電磁流速計を用い計測した。水深はサーボ式波高形を用い、水面形を時間ごとに計測した。

3. 水制の減速効果 まず越流型水制群の粗度効果に関する数値計算について検討した。数値計算に用いた開水路の定常の連続式および水深平均の平面流方程式は次のようである。

$$\frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} uu + \frac{\partial}{\partial y} uv = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{h} \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\tau_{xx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\tau_{xy}}{\rho} - f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} uv + \frac{\partial}{\partial y} vv = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{h} \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\tau_{xy}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\tau_{yy}}{\rho} - f_y \quad (3)$$

ここに、 u は流下方向水深平均流速、 v は横断方向水深平均流速、 $H=h+z_b$ 、 H は水位、 z_b は河床高、 ρ は流体の密度、 g は重力加速度である。

τ_{bx} 、 τ_{by} は x 、 y 方向の底面せん断応力であり、マニング式を用いて与えている。 τ_{xx} 、 τ_{yy} 、 τ_{zz} は水深平均のレイノルズ応力であり、渦動粘性モデルで与えている。渦動粘性係数 ν_t は、ゼロ方程式モデルでは $\nu_t = \epsilon_0 U_* h$ (U_* : 摩擦速度)で与えられ、定数項 ϵ_0 は実験値に一致するよう $\epsilon_0 = 0.20$ と定めた。さらに、越流型水制部分は、河床の突出とともに、形状抵抗を付加して表現した。形状抵抗項 f_x 、 f_y は以下のように与えられる。

$$f_x = \frac{1}{2} \times \beta C_D u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad f_y = \frac{1}{2} \times \beta C_D v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

ここに β は水制形状パラメータであり、 $\beta = d/Lh$ (L : 水制長、 d : 水制高さ、 h : 水深)と表せる。 C_D は形状抵抗計数であり、実験値と一致するように $C_D = 0.60$ とした。式は有限体積法によって離散化され、SIMPLE法を用いて解かれた。

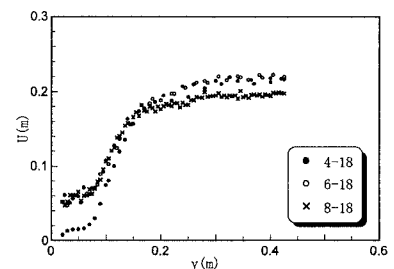


図2 水深平均流速横断分布(実験)

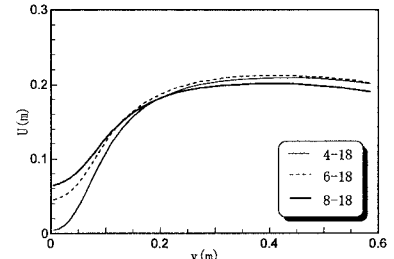


図3 水深平均流速横断分布(計算)

キーワード: 水制, 越流水深, 局所流, 数値計算

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 TEL&FAX 052-735-5490

図2, 3に12, 13番目の水制間中央における水深平均主流速の横断分布の実験値と計算値を示す。水制による減速効果が良好に再現されている。越流水深の減少にしたがって水制域での流速が遅くなるという傾向が明らかである。さらに水制域においては水制上面での流速は速く、水制の間では著しく減速されるという傾向が、計算により良く再現された。しかし、水制域への運動量輸送が過大に評価される傾向が見られ、水制近傍の流れについてはより高次の乱流モデルを用いるか3次元計算をするなど、さらに改良する必要があると考える。

表1 平均頭部洗掘深(mm)

h	4cm	6cm	8cm
Um			
18cm/s	2.69	5.62	6.42
20cm/s	6.08	12.15	11.12
22cm/s	7.69	16.62	15.38

水深の減少にしたがって水制域での流速が遅くなるという傾向が明らかである。さらに水制域においては水制上面での流速は速く、水制の間では著しく減速されるという傾向が、計算により良く再現された。しかし、水制域への運動量輸送が過大に評価される傾向が見られ、水制近傍の流れについてはより高次の乱流モデルを用いるか3次元計算をするなど、さらに改良する必要があると考える。

4. 水制周辺の河床変動と流れ構造

図4に代表的な水制頭部の河床変動変動状況を示す。ケース4-20では水制頭部で円錐状の洗掘を生じ、その後方に堆積している。一方、ケース8-20では洗掘が水制前部にも生じ、頭部洗掘深も大きくなっている。平均頭部洗掘深は、いずれのケースも時間とともに増大し、次第にその変化量が減少して8時間後ではほぼ一定値に達した。表1に各ケースの8時間経過後の第5~17水制の頭部洗掘深を平均した平均頭部洗掘深を示す。h=4, 6, 8cmのケースいずれも、洗掘深は断面平均流速Umに比例して増大している。また、Umが同じ場合、水深h=4cmよりh=6cmの方が頭部洗掘深が大きくなっている。しかし、h=8cmでは、顕著な増加はみられず、むしろ減少傾向にある。図5, 6に、ケース4-18, 6-18のz=1.5cmにおける第12, 13水制間のxy平面流速ベクトル図を示す。ケース4-18では、水制域内の流れは非常に弱く、水平渦構造を示しているが、ケース6-18では、流下方向の流れが存在し、水制頭部に当たっていることがわかる。このような水制域内の流れ構造の変化は、同一の水深、水制高比において、水制間隔を変化させた場合に類似しており¹⁾、水制域の形状比に依存するものと考えられる。越流水深による水制域内流れへの影響を検討するために、水制頂部高さにおける、鉛直方向流速Wを計測した。この結果を図7に示す。h=4cmではほとんど下部への流入がないのに対し、h=5cm以上で中間付近に下降流が現われ、また下流水制頭部付近での上昇流が大きくなっていることがわかる。さらに水深が増加してもほぼ同様の分布を示している。

5. まとめ 越流型水制の粗度効果についてはある程度数値計算による予測が可能であることが示された。また、越流水深が増大するにしたがって、水制域への上部からの流れの進入が大きくなり、それが水制頭部の洗掘を増大させていることがわかった。

<参考文献>

- 1) 富永・加藤 水制群による流れ構造と河床変動に及ぼす影響 土木学会中部支部論文集 pp185-186 1998

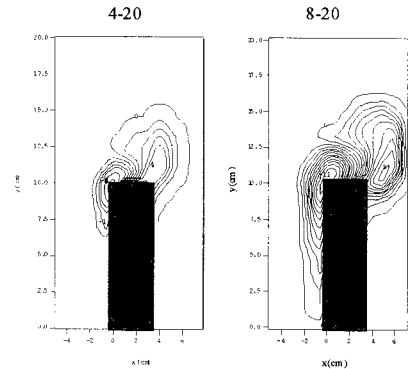


図4 第12水制周辺の河床変動コンター

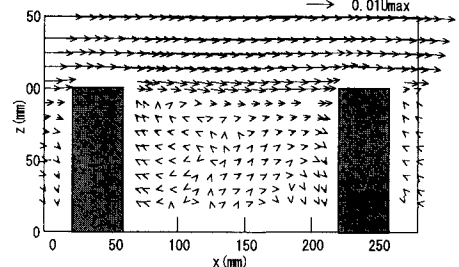


図5 ケース4-18のxy平面流速ベクトル

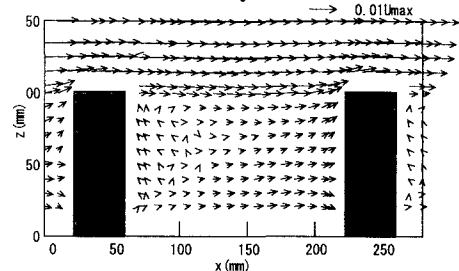


図6 ケース6-18のxy平面流速ベクトル

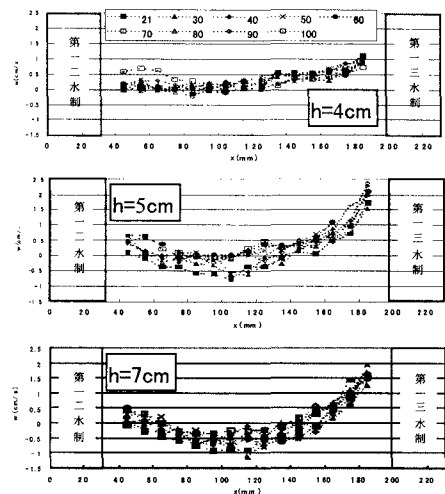


図7 流速w縦断方向分布