

越流型不透過水制を有する開水路流れに関する実験的研究

東京工業大学大学院理工学研究科 学生会員 ○松尾 陽介
 東京工業大学大学院理工学研究科 正会員 赤堀 良介
 東京工業大学大学院理工学研究科 フェロー会員 池田 駿介

1. 研究の背景と目的

近年の環境に対する意識の高まりにより、河川管理において環境保全の重要性が高まっている。このような背景の下、再注目される水理構造物として水制工がある。水制工は元来、流速を低減させ、河岸、堤防を保護する工法であるが、土砂の堆積を促進し、周辺にワンドなどの河岸植物や水棲生物にとって良好な環境が創出される例が見られることから、現在では、生態系の保全・修復を目的とした設置が試みられている。

しかしながら、水制工を設置することによりできる水制周りの流れ、水制近傍での土砂の洗掘と堆積などの水理学的な研究がなされたのは近年のことであり、その特性は十分に解明されたとは言い難い。そこで、本研究では、越流・非越流型の単一不透過水制を有する開水路流れの実験と、同様の条件での数値計算結果を用いて、特に詳細な解析例が少ない越流型不透過水制周辺の流れ構造の解明を行う。

2. 実験

(1) 実験概要

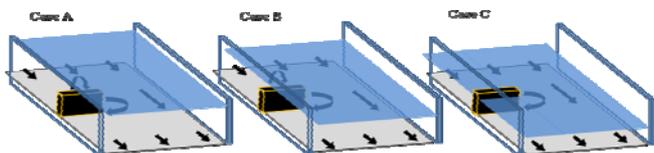


図-1 実験ケース

実験では、単一不透過水制を設置した勾配 1/2000 の循環式水路における水制周辺の流れに対し、2次元の電磁流速計を用いて x-y 平面における流速の測定を行った。実験は、越流(Case A, B)と非越流(Case C)の3ケース行い、それぞれ鉛直方向に数層に渡り測定を行った

(図-1)。得られた結果に対し、流速分布と運動量交換を求め、それぞれの流れについて詳細に調べた。

(2) 実験結果と考察

2次元の流速測定データから、流下方向と横断方向の時間平均流速、x-y 平面上のレイノルズ応力($-\overline{u'v'}$) (図-2)、流下方向の乱れ強度($\overline{u'u'}$) (図-3)を算出した。

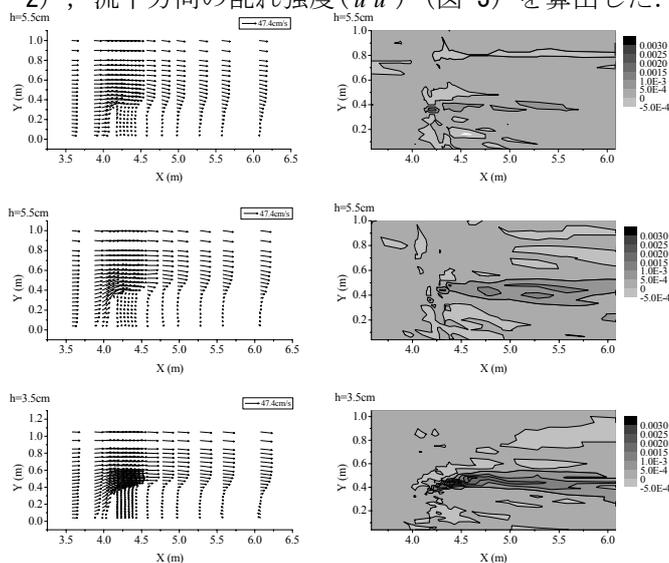


図-2 h=5.5cmでの流速ベクトル図とレイノルズ応力図(上から Case A, B, C)

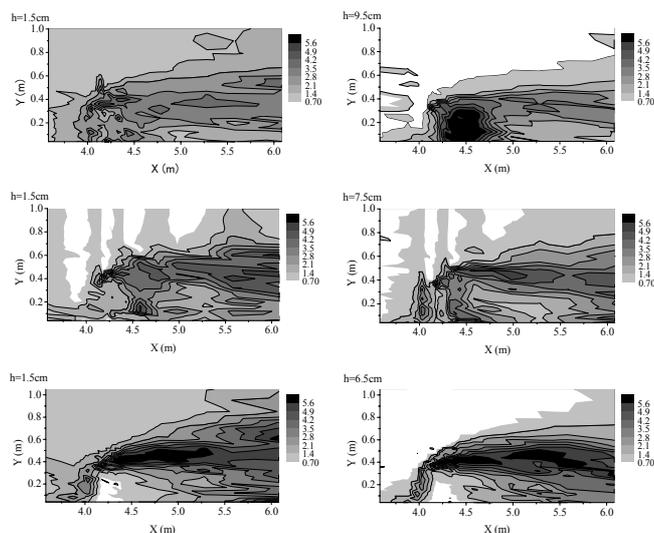


図-3 各深さごとの乱れ強度(上から Case A, B, C)

キーワード 水制, 越流, LES, λ_2 法

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑が丘 1 号館 518 号室 東京工業大学工学部土木工学科池田研究室 TEL 03-5734-2597

水制の大きさは長さ 30cm, 幅 5cm, 高さ 10.5cm であり, 図-2 の $X=4.1\text{m}$ に設置した. 図-2, 図-3 で, Case A の水制背後の流下方向の流速が Case B, C よりやや速いことが確認される. これは水制を越流する速い流れから運動量が供給されるためと考えられるが, 一方で主流域と水制下流域の流速差によるせん断は弱まり, 逆流は生じなくなる. また, 図-3 が示すように, Case A では水制背後で乱れ強度の顕著な変化が見られる. これは越流した流れと, 水制背後の流速の遅い流れが鉛直方向に強い速度勾配を有し, そのせん断による乱れから生じていると考えられる. 一方で Case B, C では, 水制先端から下流のせん断面に沿うように乱れ強度の分布が集中している. Case A と Case B との比較から, 同じ越流型であっても, 越流量が少ないと水制背後の流況は, 非越流の流れの構造と同様に, 水平方向のせん断に依存すると考えられる.

3. 数値計算

(1)数値計算概要

本研究では, さらに実験の条件を元に境界条件・流量・流速を設定し, 数値計算を行なった. 水制周辺の流れ構造の解明では, 本質的に不規則的運動をする乱流の瞬間構造を知る必要性が高いことから, 空間的に粗視子化された瞬間的な情報を与える LES(Large Eddy Simulation)を乱流モデルとして用いている. 計算対象は Case A と C による 2 ケースである.

(2)数値計算結果と考察

図-4, 5 の(a)は λ_2 法による渦の回転軸の中心構造を

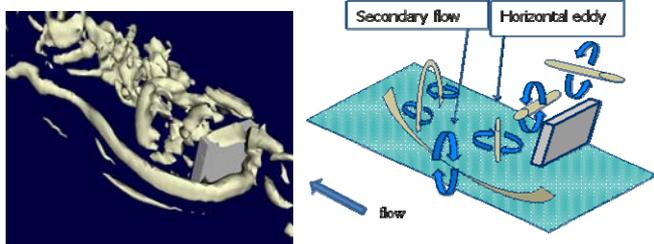


図-4 λ_2 法による渦の中心軸(a)と乱流構造の概要(b)(越流)

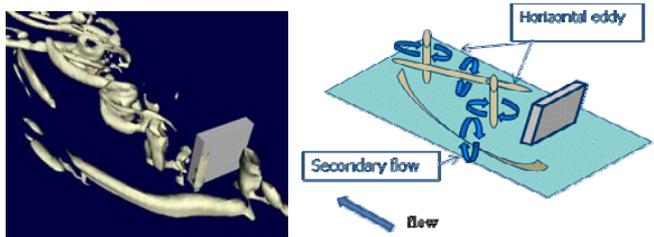


図-5 λ_2 法による渦の中心軸(a)と乱流構造の概要(b)(非越流)

示す. λ_2 法では λ_2 パラメータの等値面 (圧力が極小となる部分を代表) で渦の回転軸を定義しており, (b)は(a)の概要図を表している.

図-4, 5 は, 水制を横から迂回する二次流(Secondary flow)と, 水制先端での剥離による水平渦(Horizontal eddy)が生じていることを示している. 越流型の場合である図-4 によると, 水制上面を越える流れにも側面の二次流と同じような渦が確認できる. さらに横断方向に軸を持つ, 主流域での水平渦に対応する渦の軸も観察される. また水制より少し下流では越流した流れによる渦と水平渦による逆 U 字のように湾曲した回転軸が生じていることも確認できた. これらの結果は, 実験における乱れ強度の分布に合致している. 一方, 非越流の渦の構造に関して, 非越流型の図-5 では水平渦間を水平面上に斜めに横切る渦の軸が明瞭に確認できた. この軸は, 流下方向に進むにつれて水平渦の回転により引き伸ばされることが, 時間的な変化を追うことで確認された. また, Case A (図-4) と異なり, 水制直下流では渦の軸がほとんど見られないことから, 流れは大規模な構造を有していないことが推測される. これは図-2, 3 の結果が示す実験での乱れの分布に一致する. また, 瞬間構造を連続的に追うと, これらの渦構造が短い周期で頻繁に発生し, 移流していることが確認された.

4. 結論

以上より, 今回の研究で得られた結論を以下に示す.

- 1)非越流型, 及び越流水深の小さい越流型のケースでは, 乱れは主に水平面上のせん断領域に生じ, これらはせん断域での水平渦, リブ構造に由来する.
- 2)越流水深の大きい越流水制周りでは, 非越流型に準じた流れの瞬間構造のみでなく, 水制背後の天端と並行となるせん断面に渦構造が生じ. 水制下流ではそれらが重なって複雑な流れを呈す.

参考文献

- 1) 建設省河川局新しい河川制度の構築, 1997
- 2) 池田駿介詳述水理学, 朝倉書店, 1999
- 3) 日野幹雄流体力学, 朝倉書店, 1992