C108

片複断面開水路流れに形成された組織構造の特徴

渡辺勝利[○](徳山高専), 徳光洋輔(徳山高専専攻科)

永田能啓(徳山高専研究生), 佐賀孝徳(徳山高専)

Characteristics of Coherent Structure in Compound Open Channel Flow

Katsutoshi WATANABE, Yousuke TOKUMITSU, Yoshihiro NAGATA and Takanori SAGA

ABSTRACT

The characteristics of coherent structures formed over a flood plain in turbulent compound open channel flows were investigated using flow visualization techniques. The results of velocity measurements by PTV show that an oblique upward flow and a pair of large-scale secondary current are generated over the edge of the flood plain. It is clarified that large-scale longitudinal vortical structures exist over the edge of the flood plain for a long period of time. These vortical structures contribute directly to the generation of the instantaneous secondary current. Furthermore, it is also observed that large-scale horizontal vortical structure is formed over the flood plain.

Keywords: Compound open channel flow, Oblique upward flow, Longitudinal vortical structure Horizontal vortex

1. 緒 論

複断面開水路流れは、低水路内と高水敷上の速度差のある2つの流れから構成され、その境界部では、複雑な流況を呈することが知られている。そこでは、高水敷先端部から低水路側水表面に向かって形成される斜昇流¹⁾と鉛直方向に回転軸を有する水平渦²⁾という複断面流れ固有の流れ構造が形成されていることが明らかにされている。これらは大規模な二次流れに伴う構造であり、流れの支配的要素であることから、その詳細な内部流況の解明は、河川水工学や流体力学的にも重要と考えられる。

本研究では、複断面開水路流れの斜昇流と水平渦の内部流況を検討するために、一方の側岸に高水敷を設置した片複断面開水路流れに形成される組織構造の特徴を流れの可視化法を用いて検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験水路

実験には、Fig. 1に示すような幅60cm、高さ15cm、長さ10mの透明アクリル樹脂板製の滑面開水路を使用し、水路勾配を1/1000に設定した。本水路の右岸側の低壁面上に、長さ1m、幅15cm、高さ4cmの塩化ビニル樹脂板を上流から8mの区間に亘って設置することにより片複断面開水路とした。

2.2 実験方法

実験では、水路上流端より5m付近において流速測定

Fig. 1 Experimental Channel and Coordinate System

と流れの可視化を行った。流速測定には、PTV(Particle Tracking Velocimetry)を使用した。トレーサには微細粒子(平均粒径150 μ m、比重1.04)を、照明にはスライドプロジェクター(1KW)のスリット光膜(厚さ約3mm)を用いた。微細粒子を連続的に注入した後、Fig. 2に示すように、水平断面あるいは縦断面での微細粒子の流動状況をビデオカメラで撮影した。流速データの解析では「Flow PTV」((株)ライブラリ)を用いて瞬時流速を求め、それらを統計処理することにより平均流速分布等を求めた。可視化実験では、蛍光染料水溶液(比重1.005)を上流

Fig. 2 Experimental Procedure

Table 1 Experimental Conditions

Case	H (cm)	U _m (cm/sec)	Re(U _m H/ν)	Fr(U _m /(gH) ^{0.5})
A	3.7	6.5	2806	0.064
B	5.0	12.5	7153	0.186
C	5.0	4.3	2490	0.061
D	6.0	4.8	3320	0.062
E	8.0	5.7	5200	0.064
F	8.0	3.3	2980	0.037
G	12.0	3.4	4690	0.031

Fig. 3 Primary Mean Velocity Profiles and Secondary Velocity Vectors

から注入し、染料によって可視化された流れの各断面の流況をデジタルビデオカメラで撮影した。また、組織構造と瞬間速度の相互関係を調べるために、DPTV(Dye-streak-pattern Particle Tracing Velocimetry)を採用した。この手法では、微細粒子と蛍光染料水溶液を流れに同時に注入し、スリット光内に可視化された組織構造の断面形象と粒子流動を同ビデオカメラで撮影した。実験条件の詳細は、Table 1に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

3.1 流速分布特性

PTVによって求められた主流速(U)と二次流ベクト

ル(V, W)の重合図をFig. 3に示す。Case E(H=8.0cm)では、高水数先端部に斜昇流を伴った対を成す旋回状の二次流れの形成が明らかである。一方、Case B(H=5.0cm)では、斜昇流は小規模となり、旋回状の二次流れは扁平で低水路側のみに形成されている。これより、高水数水深によって二次流の構造が変化していることがわかる。

3.2 流れの可視化結果

Fig. 4には、各条件における高水数先端部付近の横断面視の結果を示している。Case Aは水深が高水数高さよりも低い条件における横断面視である。これは、開水路流れの側壁付近の流れに相当しており、水表面と高水数の隅角部には縦渦構造の存在が観察された。Case Cでは、

Fig. 4 End Views of Vortical Structure formed over the Flood Plain Edge

Fig. 5 Spatial-Temporal Image of Vortical Structure formed over the Flood Plain Edge (Case F)

高水敷先端部に縦渦構造が形成され、その水平方向の顕著な伸張運動が観察された。(c),(d)はそれぞれ Case F, Gにおける横断面視の一例である。高水敷水深が大きくなると、高水敷の先端部の縦渦構造は長時間に亘って集中して形成されることが観察された。Case Fにおける縦渦構造の時空間構造図を Fig. 5 に示す。本図は高水敷先端部に形成された縦渦構造の横断面画像を 5 秒間に亘って書き連ねたものであり、横断面形象 SW 1 ~ SW 5 に相当する縦渦構造が 2 つの渦構造 (LVS1, LVS2) から構成されていることを示している。このような縦渦構造の傍には比較的小規模な縦渦構造(破線四角)がやはり長時間に亘って形成されていることが観察された。また、これらの縦渦構造は、横断面内の二次流れの形成に寄与していることが推察されたが、Fig. 6 に示した横断面 DPTV の結果から実証された。

Fig. 7 には、高水敷水深が比較的小さい Case B における水平断面視の経時変化を示している。水平断面スリットは水表面の極近くで $y=0.8\text{cm}$ に位置している。実験で

Fig. 6 Relationship between Vortical Structure and Instantaneous Secondary Velocity Vectors

Fig. 7 Horizontal Plane Views in the vicinity of Flood Plain (Case B)

Fig. 8 Instantaneous Primary Velocity Profiles in Horizontal Plane ($y=0.8\text{cm}$, Case B)

は、波状を呈する構造が流下しながら、横断方向の速度せん断の影響により、水平面内で大規模な回転運動（破線矢印）していることが観察された。これらは、水平渦に相当する大規模構造の断面形象であり、その通過に伴って横断方向の流れが生成され、とくに低水路から高水敷への相対的に高速な流体（実線矢印）の輸送が顕著に認められた。この高速流が高水敷に進入する際に、前縁剥離によって高水敷上に丸で囲んで示したような小規模な縦渦構造群が形成され、それが斜め方向に集中し波状を呈する構造が生成されることが観察された。水平渦が高水敷上の縦渦構造と関係していることは、高水敷先端付近の横断面視 (Fig. 4 (b)) から推察され、非常に興味深い。Fig. 8 には、同断面における瞬時主流速分布の経時変化を示している。高水敷と低水路には明瞭な速度差が認められる。また、寒色で示された低速領域は前図の水平渦の形成領域に相当していると考えられる。この上下流では、比較的高速の領域が側壁付近まで分布していることから、水平渦の運動による流体輸送が推察されるが、その詳細については今後の課題である。

4. 結 論

本研究では、流れの可視化法を用いて片複断面開水路

流れに形成された組織構造の特徴について検討した。その結果、高水敷先端部には縦渦構造が時間的に安定し形成されることが明らかとなった。この構造は、高水敷先端部に形成される二次流れの形成因となっている。また、高水敷上には大規模な水平渦が形成される。本構造には、水平面での大規模な回転運動が認められ、それに伴う流体輸送が観察された。また、構造的な特徴として高水敷上に形成される小規模な縦渦構造との関係が見出された。

謝辞：本研究は、平成 19 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号：19560523, 研究代表者：渡辺勝利) の助成を受けて行われた。記して謝意を示す。

参 考 文 献

- 1) 今本博健, 久下俊夫：複断面流れの水理学特性に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報, 第 17 号 B(1974) pp. 665-679.
- 2) Sellin, R. H. J.: A laboratory investigation into the flow in the channel of a river and over flood plain, a Houille Blanche, No. 7 (1964) pp. 22-26.