

京都大学大学院工学研究科 正会員 ○山上 路生

京都大学大学院工学研究科修士課程 学生員 後藤 健

京都大学大学院工学研究科 フェロー会員 楠津 家久

1. はじめに

複断面開水路流れでは低水路と高水敷の境界部付近に大規模水平組織渦が発生することが知られている。この水平渦は横断方向の運動量交換を支配し、付加的なせん断応力を生成して流水抵抗を変化させるため、その水理特性を解明することは水工学的にきわめて重要である。これまでも水平渦に関する様々な研究が行われてきたが、未解明点も数多く残されている。特に多くの既往研究が単列水平渦を対象にしたものであり、かぶり水深が大きい流れ場で発生する複列水平渦の立体構造に関する定量的な実験データベースはほとんどない。そこで本研究では、2つのレーザーライトシートを同時照射する二層 PIV システムを新規開発して複列水平渦の立体構造を可視化実験によって明らかにする。

2. 実験方法と実験条件

図-1 に本研究における実験装置を示す。本計測で用いた水路は、全長 10m、全幅 $B = 40\text{cm}$ の可変勾配型循環式直線水路である。この水路の右岸側にアクリルボックスを用いて高水敷を設置し、複断面水路を構築した。 B 、 B_f 、 D および H は、それぞれ水路幅、高水敷幅、高水敷高さ、低水路水深を表している。座標系の x 軸、 y 軸および z 軸は、それぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向である。流体計測には PIV システムを用い、ダブルパルス YAG レーザを水路側壁より水面と水平に照射し、水路上方に水面と直角に設置した CCD カメラによって撮影した。本研究で開発した二層 PIV は、3枚の平面鏡の反射特性を利用し、鉛直位置の異なる2面のレーザーライトシート(以下 LLS と呼ぶ)を照射することが可能で、異なる撮影面の組織渦を同時計測することができる。表-1 に水理条件を示す。 H_{L1} および H_{L2} は図-1 に示すように2つの LLS の照射高さ位置を示すものである。 Q は流量、 U_m は断面平均流速である。h100-a から h100-e までは高低差のない単層 LLS で撮影したものであり、h100-ab から h100-de は 7mm の高低差を有する二層 PIV を用いたものである。

表-1 実験条件

case	H (cm)	H_{L1}/D	H_{L2}/D	Q (l/s)	H/D	U_m (cm/s)	Fr	Re
h100ab	10	1.06	1.2	7.1	2	23.7	0.24	23700
h100bc		1.2	1.34					
h100cd		1.34	1.48					
h100de		1.48	1.62					
h100a		1.06						
h100a1		1.08						
h100a2		1.1						
h100a3		1.12						
h100a4		1.14						
h100a5		1.16						
h100a6		1.18						
h100b		1.2						
h100c		1.34						
h100d		1.48						
h100e		1.62						

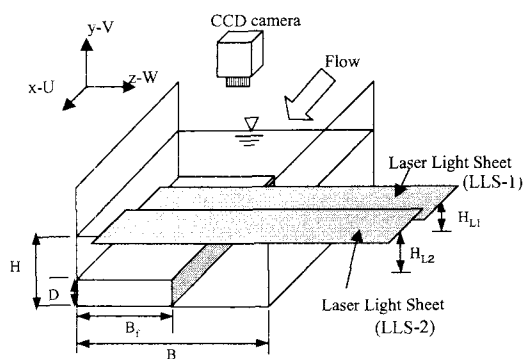


図-1 実験装置図

3. 実験結果と考察

図-2 は、単層 PIV 計測による主流速の横断方向分布を示すものである。高水敷底面近傍の h100-a ($y/D = 1.06$) では低水路・高水敷間で大きな主流速差がみられ、従来から報告されている境界部に1つの変曲点をもつ複断面型の主流速分布となる¹⁾。一方、h100-b ($y/D = 1.2$) から h100-e ($y/D = 1.62$) では境界部に落ち込みがあり、2ヶ所で変曲点が存在し、それぞれでせん断不安定になると考えられる²⁾。

図-3に、二層PIVによってえられたh100-abとh100-deの瞬間流速ベクトルを示す。h100-ab(上流側 $y/D=1.06$ 、下流側 $y/D=1.2$)において、上流側のLLSで可視化された渦(A_1)は時間経過に伴い流下方向に移流し、下流側のLLSで低水路側の渦として観察されている。またh100-de(上流側 $y/D=1.48$ 、下流側 $y/D=1.62$)では、上流側のLLS上において低水路側でみられた時計回りの渦(D_1)と高水敷側の反時計回り渦(D_2)は、時間経過後下流側のLLSでもそれぞれ可視化されている。したがって、各層で観察された水平渦にはそれぞれ強い相関が見られ、複列水平渦は3次元的な管状構造を有することがわかる。

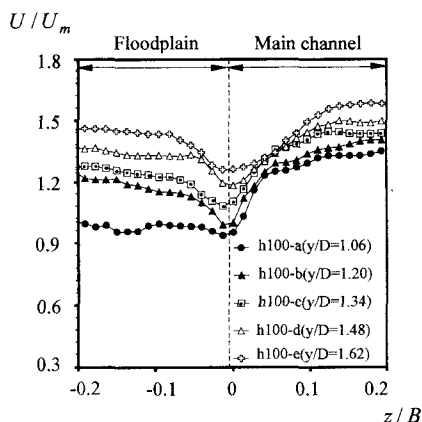


図-2 主流速の横断方向分布

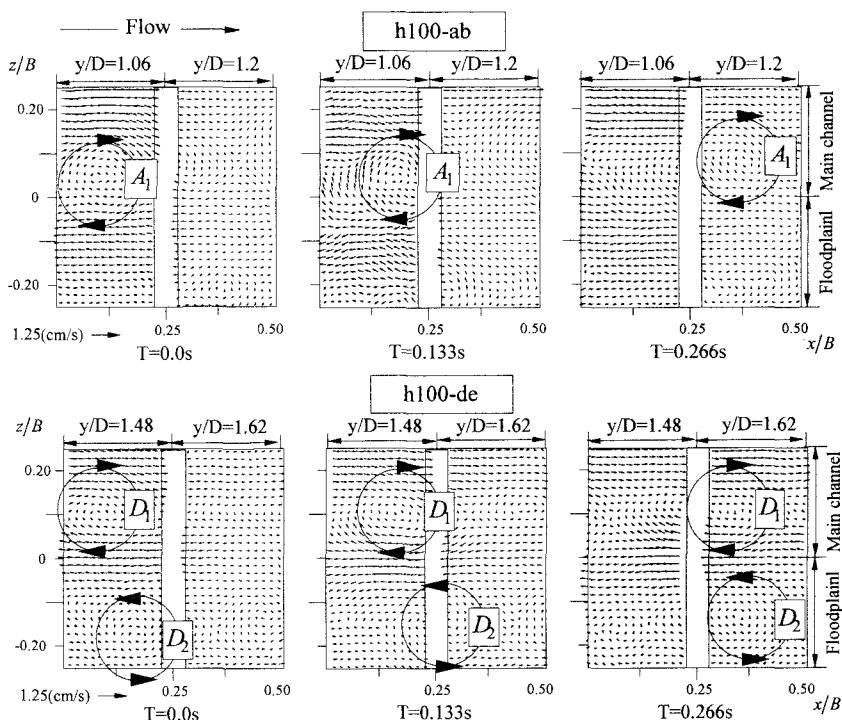


図-3 瞬間流速ベクトル

特に回転方向から単列渦(A_1)と低水路渦(D_1)は同一の渦管構造を形成し、高水敷渦(D_2)はこれとは別の渦管構造を形成することが推定される。また図-2の結果から、これらの単列渦および複列渦は主流速の横断シアによって発生することが確認できる。

4. おわりに

本研究では二層PIVシステムを開発して、かぶり水深が大きい複断面開水路流れにおける水平組織渦の可視化計測を行った。その結果、複列水平渦の立体構造を明らかにすることができた。

参考文献 1) 池田駿介, 村山宜義, 空閑健: 複断面開水路水平渦の安定性とその3次元構造, 土木学会論文集, No.509/II-30, pp.131-142, 1995. 2) 瀬津家久, 鬼束幸樹, 相良幸輝, 池谷和哉: かぶり水深の変化が複断面開水路流れの組織渦に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集, No.649/II-51, pp.1-15, 2000.