

複断面開水路流れの組織構造

徳山高専 正会員 ○渡辺勝利
正会員 佐賀孝徳
正会員 河村進一

1. はじめに

我が国の河川には複断面形状をなしているものが多く見られる。洪水時、複断面を有する河川においては低水路河岸の崩壊や高水敷面への土砂の堆積などが発生することから、河道の維持管理のためには、流れの内部構造の究明が重要である。直線の複断面流れについては、これまでも多くの室内実験^{1),2),3)}や数値計算^{4),5)}による研究が行われ、大規模な水平渦や斜昇流と呼ばれる構造の存在が明らかにされている。しかし、それらの詳細な特性については、十分な解明には至っていないように思われる。そこで本研究では、複断面開水路流れに形成された組織構造に注目し、その特徴を流れの可視化法を用いて検討した。その結果、いくつかの興味深い知見を得た。

2. 実験装置および方法

本実験には、水路床勾配を1/1000に設定した、長さ10 m、幅(B)60 cm、高さ15 cmの総アクリル樹脂板製の滑面開水路を用いた。水路の上流端に整流装置としてハニカム（径4 mm、長さ3.2 cm、高さ25 cm）を設け、その下流26 cmの地点には乱流促進用のスプリングワイヤを設置した。また、水路の下流端には、水位調整用の堰を設けている。さらに、水路の右岸壁側の底壁面には、幅(Bf)15 cm、高さ4 cmの塩ビ樹脂板を上流から8 mの区間にわたって設置し、複断面流れとした。図-1には水路の断面形状および座標系を示している。

本実験では、PTV (Particle Tracking Velocimetry) による流れ場の流速測定、組織構造の可視化を行った。PTVにおいては、トレーサーとして微細粒子（平均粒径150 μm 、比重1.04）を、照明としてスリット光（厚さ3 mm）を用いた。この微細粒子を混入した溶液を、上流から流れに連続的に注入し、縦断面、水平断面におけるトレーサー粒子の流動状況をデジタルビデオカメラで撮影した。組織構造の可視化では、トレーサーに蛍光染料水溶液（比重1.005）を、照明に前出のスリット光を用いた。本トレーサーを撮影断面の上流約2 mの地点から約200 ccを一度に注入し、注入に伴う攪乱がなくなった後に流れの各断面における流動状況をデジタルビデオカメラで撮影した。図-2には横断面視法の概要を示している。PTVの解析には、FlowPTV（ライブラリ社）を使用した。実験条件は表-1に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

図-3には、蛍光染料によって可視化された水表面流況の一例を示している。注入された染料は高水敷端付近で時計方向の回転する水平渦を示しており、そこでは横断方向の顕著な流体の輸送がなされている様子が観察された。この水平渦のスケールは高水敷上の水深が小さくなるにつれて大きくなる傾向が認められた。高水敷端付近では図-4(a)に示すように、主流速の横断方向分布における顕著な速度勾配 ($\partial U / \partial z$) や局所的な低速域が見られる。また、(b)の主流速鉛直方向分布においても高水敷端 ($z/B=0.0$) 付近の分布には、横断方向と同様に局所的な低速域に伴う、二重のせん断層の形成も認められる。これより高水敷端では複数

のせん断層が共存する複雑な流れ場であると考えられる。

図-5は、高水敷端付近の横断面視の一例である。流況観察では、①低水路隅角付近、②高水敷端、③高水敷上に渦構造が時間的に安定して形成されることが明らかとなった。とくに②の構造は大規模であり、左右への顕著な揺動運動が観察された。この構造の存在領域の時間変化を検討するために、横断面画像の水表面付近の画像を厚さ0.5 mmで横方向に切り抜き、それを60秒間にわたって、繋ぎ合わせたものが、図-6である。この図の白い部分は染料が存在する領域、すなわち、高水敷端の大規模な渦構造が水表面まで到達している領域に相当している。これより、この大規模構造の形成領域が時間的に安定していることが明瞭である。また、この領域では水表面における局所的な低速領域と対応しているように思われる。

4. おわりに

流れの可視化法を用いて、複断面開水路流れに形成された組織構造の特徴を検討した結果、高水敷端には大規模な渦構造が時空間的に安定して形勢されることが明らかとなった。今後はこれらのより詳細な時空間特性や瞬時流速との相互関係について検討する。

参考文献

1) 福岡ら：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用，土木

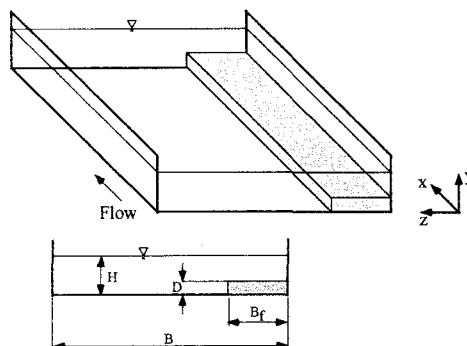


図-1 実験水路概要

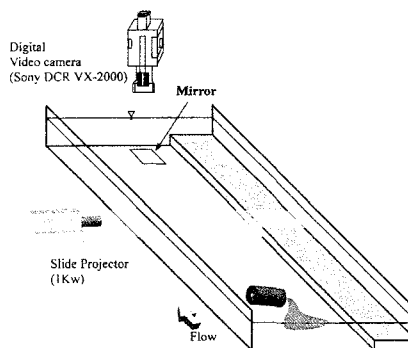
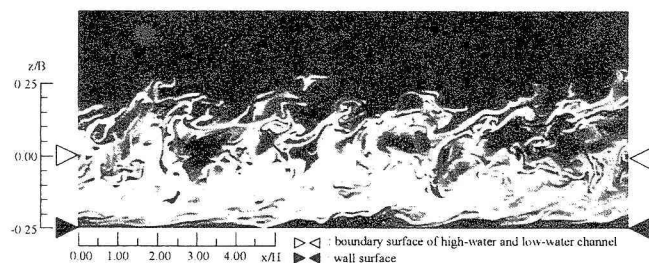


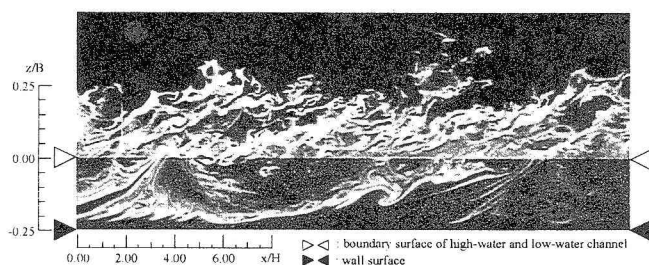
図-2 横断面視概要

表-1 実験条件

	水温 (°C)	動粘性係数 $\nu \times 10^{-2}$	水深 H(cm)	平均流速 U_m (cm/sec)	レイノルズ数 $Re=U_m H / \nu$
Case A	25.5	0.887	8.0	5.681	4483.5
Case B	〃	〃	6.0	7.954	〃
Case C	〃	〃	5.0	9.942	〃
Case D	24.0	0.917	8.0	4.486	3426

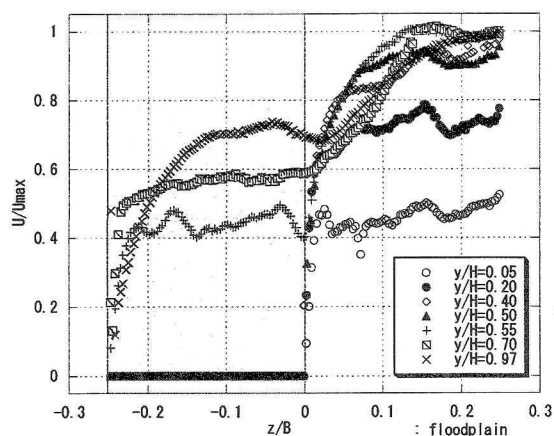


(a) Case A

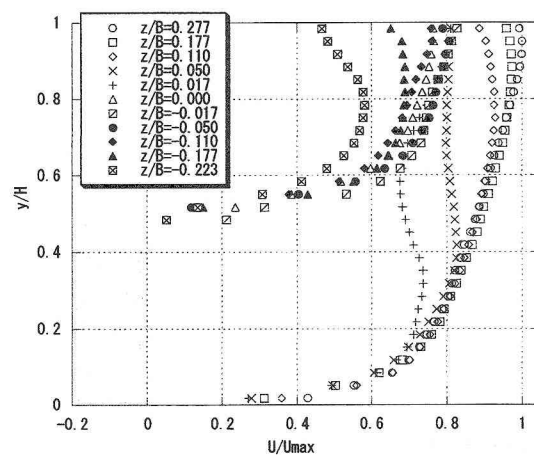


(c) Case C

図-3 水表面可視化結果



(a) 主流速横断方向分布



(b) 主流速鉛直方向分布

図-4 水表面可視化結果

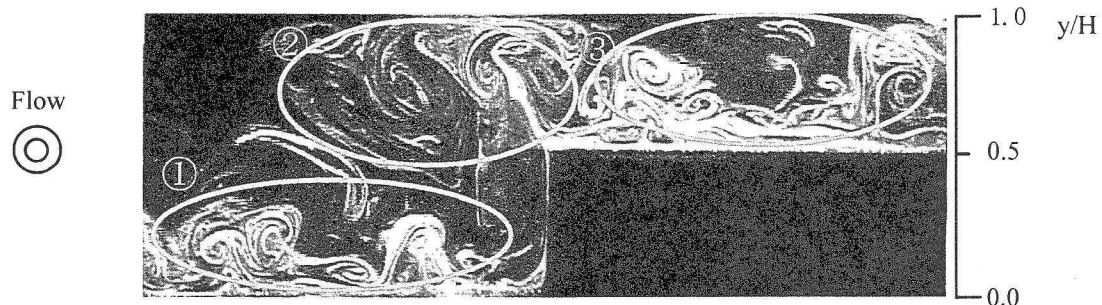


図-5 横断面可視化結果 (Case D)

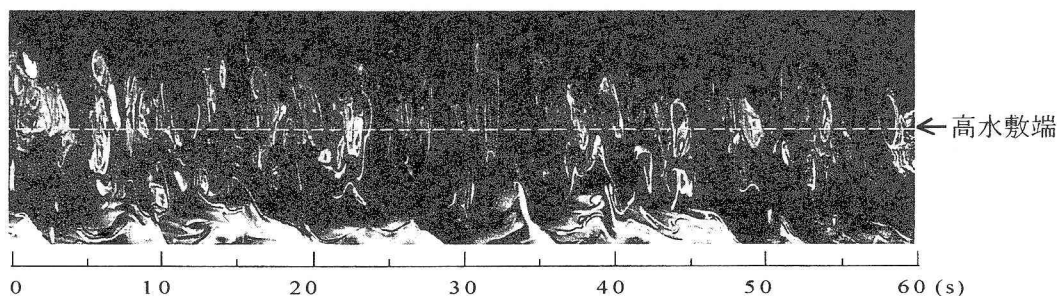


図-6 高水敷端に形成された組織構造の形成領域の経時変化

学会論文集, 第 411 号 / II -12, pp. 53-72, 1989.

2) 棚津ら: 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, pp1-15, 2000.

3) 池田ら: 複断面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, pp131-142, 1995.

4) 杉山ら: 複断面開水路内の乱流構造解析と縦渦生成に関する研究, 土木学会論文集, No. 515/ II -31, pp. 55-65, 1995.

6) 河原ら: Smagorinskyモデルによる複断面直線開水路乱流の解析, 土木学会論文集, No. 628/ II -48, pp. 115-130, 1999.