

II-279 浅い水平剪断流場に生じる水平渦の鉛直構造の可視化

宇都宮大学 大学院 本村 康高
 宇都宮大学 正 員 池田 裕一
 宇都宮大学 フェロー員 須賀 堯三

1. はじめに

流速の異なる流れが近接するその境界では、自由剪断層が形成され、その変曲点不安定によって大規模渦が発生することが知られている¹⁾。しかし発生原因は二次元的であっても側岸部植生境界等の浅い水平剪断流場に生じる水平渦は、河床摩擦の影響により三次元的な構造になることが予測される²⁾。筆者らはこれまで、擬似植生を用いて水平剪断流場を形成させ、そこに生じる水平渦の縦断面を植生境界に沿って可視化することにより三次元構造の検討を行ってきた。その結果、水平渦の形成段階において、低速水塊が主流部に張り出すのに伴い、強い上昇流が発生することを確認した³⁾。しかし固定した可視化撮影装置を用いたために、上昇流の鮮明な画像が捉えにくく、三次元構造の全体像や上昇流自体の時間的な変化はわからないままであった。そこで今回は、視点を水平渦の流下速度で移動させて、上昇流近傍の流況をより明確に捉えられるように改良した。

2. 実験装置及び方法

アクリル直線水路（長さ 6.5m、幅 48cm）の右岸に擬似植生（幅 12cm、透過係数 38cm/s）を設置し水平剪断層を形成させた。流れの可視化は水平剪断層が十分に発達した上流端より 4.5～5.5m の区間で行った。実験条件は表 1 の通りである。

水平渦の三次元構造は、上方からスリットを挿入した断面をアルミ粉末懸濁法で可視化することで捉えた。そして可視化断面に垂直に設置した撮影装置を、アクチュエータで水平渦流下速度（約 11cm/s）で移動させて連続撮影をした。図 1 は水平渦の平面流況を示したもので、植生内に注入した染料が低速水塊として主流部へ張り出し、水平渦を形成している。この図には、今回の可視化実験に際し、スリットを挿入した位置も示してある。

- ①断面…… 水平渦に伴う上昇流を捉えるための縦断面
- ②断面…… 低・高速水塊が強く接している水平渦断面
- ③断面…… 水平渦中心部の流況を捉えるための縦断面

3. 実験結果および考察

写真 1 は、図 1 の①断面において撮影装置を固定し、水平渦の縦断面流況を可視化したものである（水深 6.6cm）。遅い流れと速い流れの間に、強い上昇流が発生していることがわかる。以前の研究で、上昇流と水平渦の通過周期、位置、発生タイミングが同じであることが確認されている。

写真 2 は、写真 1 と同じ①断面において水平渦流下速度で撮影装置を移動させながらこの上昇流を捉えたものである（水深 4.4cm）。(a)では、底面付近の乱れと同時に、水深 1/3 付近を先端とする楔型の高速水塊を形成してくる。(b)では、より明確な楔型の高速水塊を形成した後、その先端部から鉛直に強い上昇流を発生させている。(c)では、水面付近で分岐した上昇流の下を、さきほどの高速水塊が押し出すように流れ込むことがわかる。さらに(c)以降は楔型の高速水塊の先端が乱れ、その後すぐに(a)の流況になる。

表 1 実験条件

流量 (cm ³ /s)	2750
水深 (cm)	4.4
河床勾配	1/1000

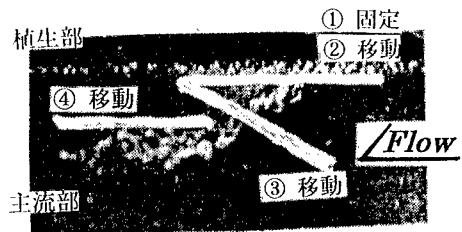
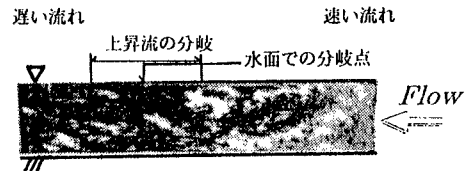


図 1 スリット挿入位置

写真 1-1 縦断面流況
(固定、水深 6.6cm)

キーワード : 組織渦 自由剪断層 上昇流

連絡先 : 宇都宮大学 工学部 水工学研究室 (〒321 栃木県宇都宮市石井町 2753 Tel:028-689-6214)

図1の①断面以外でも、同様な底面に潜り込む高速水塊の流況と、その先端部から強い上昇流が生じているかを確かめる。写真3は、図1の②断面を水平渦流下速度で撮影装置を移動させて捉えたものである。この断面では(a)高速水塊が底面寄りに流れ込む流況と、(b)水平渦周縁部の強い回転運動（水面と底面の二次流）が顕著な場合、高速水塊がその真ん中を流れ込む流況が見られた。

写真4は、図1の③断面において水平渦流下速度で撮影装置を移動させながら、水平渦中心部の流況を捉えたものである。これより水平渦の中心付近では、底面の乱れが半水深くらいまで拡大しており、水面近くでは際立った鉛直方向の挙動が見られないことがわかった。

以上、浅い水平剪断流場に生じる水平渦には、強い上昇流が伴って発生するが確認できた。ただしこの上昇流は、水平渦の回転軸に沿って生じるものではない。横断方向の低・高速水塊の周期的な混合において、高速水塊が低速水塊の下に潜り込むように接触しようとするため、その高速水塊先端部から上昇流が発生していたように見られた。水平渦の回転で生じる遠心力と圧力勾配との釣り合いが、遠心力の弱い底面付近で崩れて、その底面付近に渦の外側つまり主流部の高速水塊が入り込むようになったものと考えられる（図2の[A]）。また水平渦周縁部に見られる回転運動等の流況は、上昇流の影響以外に、水平渦の周縁に沿って水塊が曲率をもって移動することにより発生する二次流の効果⁵⁾が作用するものと考えられる（図2の[B]）。以上をまとめて、連続した水平渦周辺の三次元構造の概念図を図2に示す。

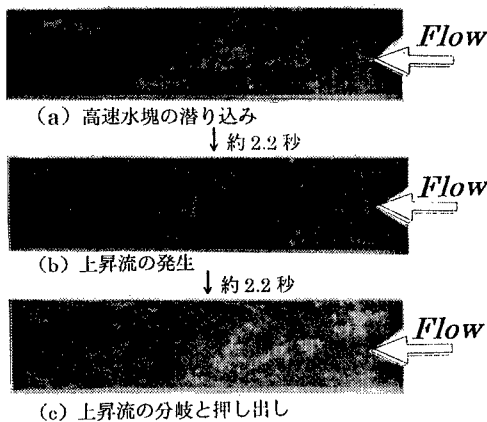


写真2 縦断面流況 (①:移動、水深4.4cm)

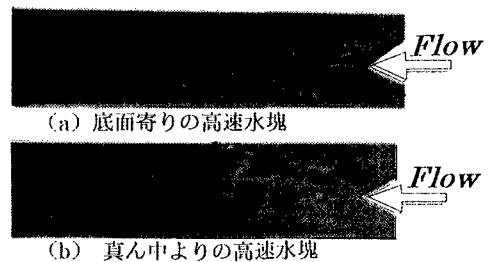


写真3 水平渦周縁部の断面流況 (②:移動、水深4.4cm)



写真4 水平渦中心部の断面流況 (③:移動、水深4.4cm)

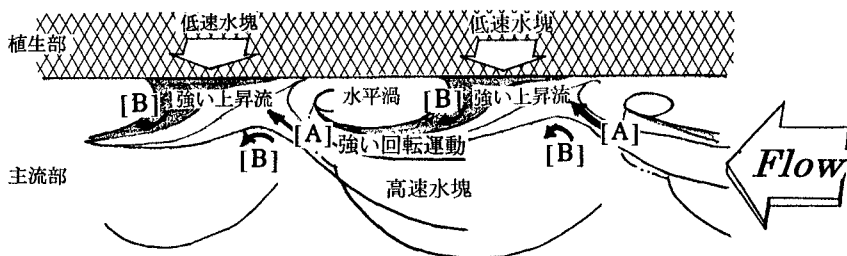


図2 連続する水平渦の三次元構造の概念図

《参考文献》

- 1)例えば 福岡・藤田：洪水流の横断方向流速差がもたらす付加的抵抗の評価、第33回水理講演会論文集、pp.301-306.1989.
- 2)富永・八木：植生帯周辺に発生する水平大規模渦の鉛直構造について、第51回年次講演会、Ⅱ-193、pp.386-387.
- 3)本村・池田・須賀：側岸部植生境界における水平渦の三次元構造に関する基礎的研究、第51回年次講演会、Ⅱ-194、pp.388-389.
- 4)Boundary-Layer Theory：Schlichting、pp.225-230.
- 5)玉井・池内・山崎：連続わん曲水路における流れの実験的研究、土木学会論文集第331号、pp.83-94.1983.