

(II-58) 側岸部植生境界の水平渦に伴って生じる上昇流の可視化

宇都宮大学 学生員 本村 康高
同 上 正 員 池田 裕一
同 上 フェロー員 須賀 堯三

1. はじめに

側岸部植生境界などに形成される水平自由せん断層には、大規模水平渦が発生することが知られている¹⁾。その発生要因は、変曲点不安定という平面的なものである。ところが実河川のような浅い流れ場に生じる場合、河床摩擦の影響により三次元的な構造を持つことが予測される²⁾。筆者らはこれまで、擬似植生帯を用いた実験水路で生じる水平渦について、植生境界に沿った縦断面流況を可視化することにより、その三次元構造を検討してきた。そして低速水塊が植生部から張り出し、高速水塊と接する時に、強い上昇流が発生することがわかった³⁾。しかし可視化撮影装置は固定したままであったので、三次元構造を示す鮮明な画像は得られていなかった。そこで今回は、これを水平渦の流下速度で移動させることにより、上昇流近傍の流況をより明確に捉えられるようにした。

2. 実験装置及び方法

実験には長さ 6.5m、幅 48cm のアクリル矩形直線水路で行った。その右岸側にプラスチック糸多孔体（透過係数 38cm/s）を擬似植生帯として、水没しないように幅 12cm、長さ 6m にわたり設置した。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、その断面をアルミ粉末懸濁法で可視化することで捉えた。撮影装置は側面より可視化断面に垂直に設置して、アクチュエータで水平渦の流下速度（約 11cm/s）で移動させて連続撮影をした。

図 1 は、水平渦の平面流況とスリット挿入位置を表したものである。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。スリットは上昇流を捉えるために、植生境界に沿った図 1 の①断面と、高速水塊が強く接している図 1 の②断面に挿入した。さらに水平渦中心部の流況を捉えるために、図 1 の③断面にもスリットを挿入した。

3. 実験結果および考察

写真 1 は、図 1 の①断面において可視化撮影装置を固定して、水平渦の縦断面流況を撮影したものである（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。

次に図 1 の①断面において、水平渦の流下速度で撮影装置を移動させて、この上昇流を捉えたものが写真 2 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的高速水塊を形成してくる。(b) では、より明確な楔型的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) 以降は楔型的高速水塊の先端が乱れ、その後すぐに (a) の流況になる。

植生境界に沿った縦断面以外的高速水塊が入り込む断面でも、底面に寄った楔型的高速水塊と先端部からの上昇流が生じているかを確かめる。写真 3 は、図 1 の②断面を水平渦の流下流速で撮影装置を移動させて

表 1 実験条件

流量 (cm ³ /s)	2750
水深 (cm)	4.4 (6.6)
河床勾配	1/1000

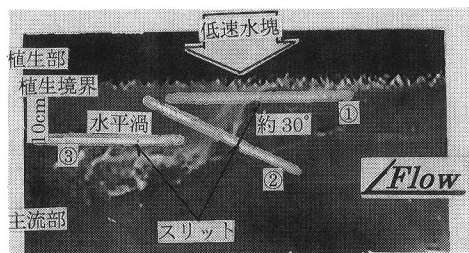


図 1 平面流況およびスリット挿入位置

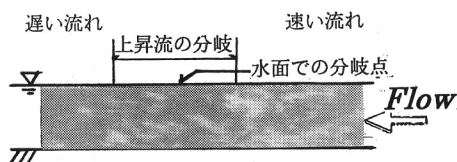


写真 1 縦断面流況 (①:固定、水深 6.6cm)

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) 水面付近と底面付近の回転運動が顕著な場合に、高速水塊がその真ん中を流れ込む流況が見られた。

水平渦の中心付近ではどのような流況であるのかを捉えたのが写真4である。これは図1の③断面において、水平渦の周縁部（色付けされた低速水塊）が③断面を通過する直前に、これまでと同様に移動しながら捉えたものである。これより水平渦の中心付近では、底面から水深の1/2近くまで乱れ、水面付近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。

以上の結果から、浅い水平自由せん断流れ場に生じる大規模水平渦には、確かに強い上昇流が発生していることが確かめられた。ただしこの強い上昇流の方向は、水平渦の回転軸に沿うものではなく、水深の約1/3近くに入り込む高速水塊が、植生からの低速水塊と接触するために発生しているように思われる。このような流況になる原因として、以下の2つが挙げられる。一つは、水平渦の周縁に沿って低・高速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⁴⁾である（図2の[A]）。もう一つは、水平渦の回転で生じる遠心力と圧力勾配との釣り合いにより、遠心力の弱い底面付近で周囲から水塊が流れ込む効果⁵⁾である（図2の[B]）。前者は水平渦の周縁部に見られる流況に大きく影響し、後者は高速水塊が低速水塊に入り込む流況、つまり強い上昇流の発生に大きく影響するものと思われる。

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。

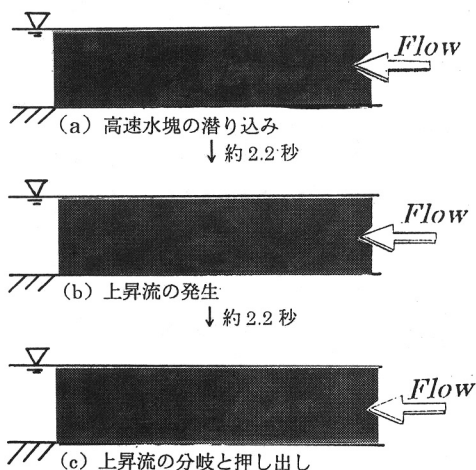


写真2 縦断面流況 (①:移動、水深4.4cm)

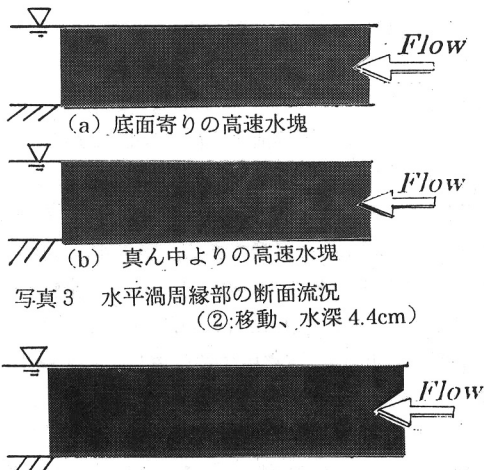


写真3 水平渦周縁部の断面流況 (②:移動、水深4.4cm)

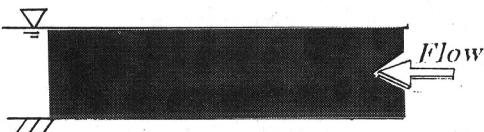


写真4 水平渦中心部の断面流況 (③:移動、水深4.4cm)

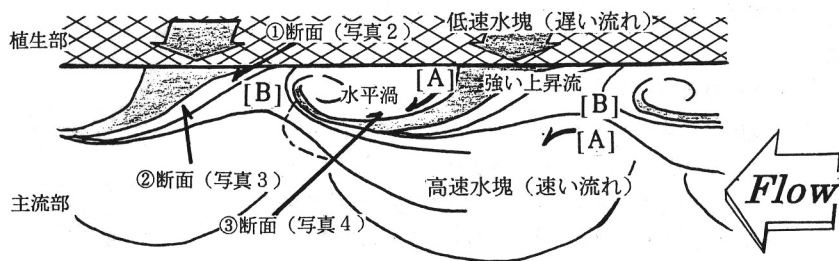


図2 連続する水平渦の三次元構造の概念図

《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) 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。
- 5) Boundary-Layer Theory: Schlichting、pp.225-230。