

II-215

複断面開水路に生じる組織渦と横断方向土砂輸送

東京工業大学大学院 学生会員 河村一弘
東京工業大学工学部 フェロー会員 池田駿介
東京工業大学大学院 学生会員 福元正武

1. はじめに

複断面開水路では、低水路と高水敷間の主流速差によって組織渦が発生する。このような組織渦が発生すると低水路と高水敷間の運動量交換が活発になり、横断方向に土砂輸送が生じることが知られている¹⁾。本研究では浮遊砂を輸送する複断面開水路を対象として、組織渦と土砂輸送機構の関係を室内実験により明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

実験では、長さ 12m、幅 1.2m の循環式可変勾配水路を用いた。低水路と高水敷は耐水ベニヤで作成し、高水敷高さは 5cm とした。その境界部は発泡スチロールでなめらかに余誤差曲線で接合した（図 1）。また低水路河床面には中央粒径 1mm の珪砂をばりつけ、浮遊砂の巻き上げ量を調整している。マンギングの粗度係数は低水路で 0.014、高水敷で 0.013 であり、水路床勾配は 4.6×10^{-4} である。また、浮遊砂として塩化ビニル粒子（比重 $\rho=1.4$ 、中央粒径 $d=0.14\text{mm}$ ）を循環させ、実験期間中濃度が一定になるように調節した。Rubey の式より塩ビ粒子の沈降速度 v_s は $v_s=0.41\text{cm/s}$ である。実験条件は表 1 のとおりである。まず等流状態を確認し、組織渦が十分に発達した横断面（水路上流端からの距離 7.5m）で流下方向流速成分と浮遊砂濃度を測定した。流速測定にはレーザードップラー流速計（TSI 社製）を用いて 1000Hz で測定し、浮遊砂濃度は濁度計（KENEK 社製）によって 20Hz で計測した。また、組織渦の通過に伴う低水路・高水敷境界部（ $y=460\text{mm}$ ）の水面変動をサーボ式波高計（KENEK 社製）によって 20Hz で測定した。波高計と濁度計を同期させて測定し、条件付抽出アンサンブル平均法²⁾によって、組織渦に伴う浮遊砂濃度の空間分布を求めた。また、レーザ距離計（KEYENCE 社製）を用いて高水敷上の浮遊砂の堆積厚を 24 時間間隔で測定することにより、浮遊砂の堆積速度を求めた。

3. 実験結果と考察

（1）主流速分布と浮遊砂濃度分布

図 2 は水深平均された時間平均主流速横断分布で、境界部に変曲点を持つ分布形となっている。図 3 は水深平均された

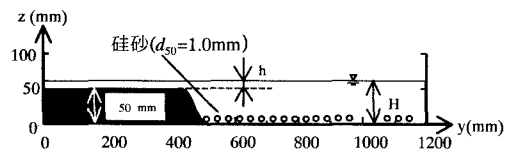


図 1 実験水路横断面図

表 1 実験条件

	低水路	高水敷
水深(cm)	$H=6.0$	$h=1.0$
主流速 $u(\text{cm/s})$	22.6	7.6
摩擦速度 $U_* (\text{cm/s})$	1.64	0.67
フルード数 F_r	0.295	0.243

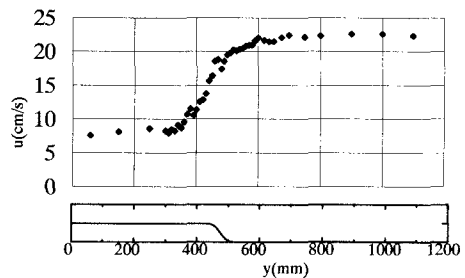


図 2 水深平均された時間平均主流速分布

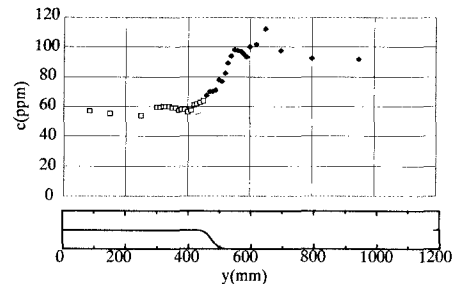


図 3 水深平均された時間平均浮遊砂濃度分布

keyword 複断面開水路, 組織渦, 浮遊砂濃度分布, 堆積速度

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Tel 03-5734-2597 Fax 03-5734-3577

時間平均浮遊砂濃度の横断分布である（白抜きの点は水面下5mm 付近の値）。水深平均浮遊砂濃度は摩擦速度 U_{*} が大きくなる低水路で大きな値をとり、高水敷では小さい。図4は境界部付近での時間平均浮遊砂濃度の鉛直分布である。境界部から離れた低水路（ $y \geq 550\text{mm}$ ）では鉛直分布は指数分布³⁾を示し、鉛直方向の浮遊砂フラックスは平衡状態である。一方、境界部では浮遊砂濃度は鉛直方向に様な分布となっている。つまり、境界部では鉛直方向の浮遊砂フラックスの釣り合いが成り立っておらず、横断方向の輸送が活発であることが示唆される。

（2）組織渦に伴った水面・浮遊砂濃度の変動

図5（1）（2）は境界部での水面変動および、浮遊砂濃度の変動のパワースペクトルである。水面変動のパワースペクトルは約6秒の周期でピーク値を持ち、これが組織渦の周期に対応しているものと思われる。浮遊砂濃度変動のスペクトルのピークは水面変動のピークとほぼ同じ周波数で生じていることから浮遊砂濃度が組織渦と対応して変動していることがわかる。図6に条件付抽出アンサンブル平均法により得られた組織渦の通過に伴う水深平均浮遊砂濃度を示す。縦軸は流下方向軸で、 $x=0$ が渦の中心である。濃度分布パターンは波高計によって得られた渦波長（77cm）と一致している。この図を流れ²⁾と対応させると、渦中心より下流側の低水路から高水敷に向かう流れは高濃度の浮遊砂を含んでいることがわかる。逆に渦中心より上流側の高水敷から低水路に向かう流れは濃度が低い。このことから組織渦の通過によって低水路で巻き上げられた粒子が高水敷に輸送され、堆積していることがわかる。

（3）浮遊砂の堆積速度

図7に実験開始から12日間の堆積厚の時間変化から算出した堆積速度を示す。堆積速度は高水敷の肩部から高水敷の方へ5cm（ $y=350\text{mm}$ ）の付近で最大値を示す。この位置は組織渦によって高水敷に乗り上げた粒子が、流速の減少とともに沈降する位置と考えられる。

4. 結論

- ・組織渦に伴う浮遊砂濃度のアンサンブル平均像から、組織渦により浮遊砂が横断方向に輸送されていることがわかった。
- ・浮遊砂の堆積速度は、高水敷の肩部で最も大きくなることが確認された。

<参考文献> 1) 木下良作：航空写真による洪水解析の現状と今後の課題，土木学会論文集，No.345/II-18，pp.1-19，1984.5

2) 池田駿介，村山宣義，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 3) 池田駿介，泉典洋：浮遊砂の横断方向拡散係数について，土木学会論文集，No.431/II-16，pp.47-55，1991.8

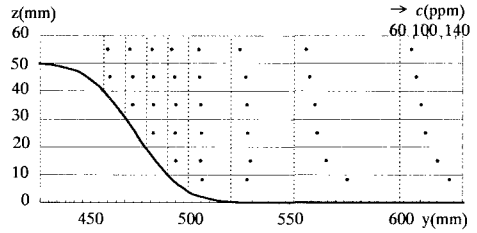
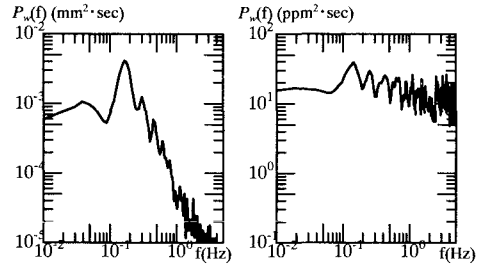


図4 境界部の浮遊砂濃度鉛直分布



(1) 水面変動 (2) 浮遊砂濃度の変動

図5 境界部におけるパワースペクトル

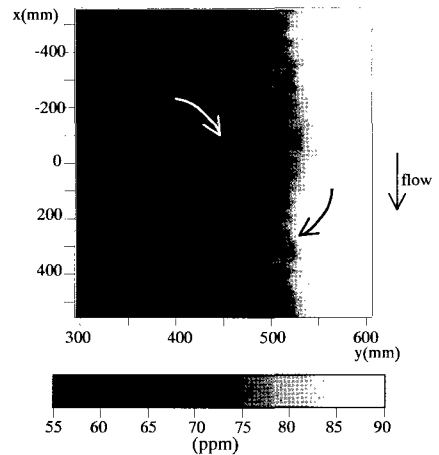


図6 組織渦に伴う水深平均浮遊砂濃度のアンサンブル平均像

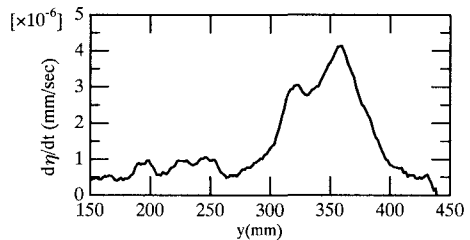


図7 堆積速度横断分布