

京都大学
京都大学
京都大学

学生員 ○野口和則
フェロー 榎津家久
学生員 中島与博

1. はじめに

砂河川においては、頻繁に Dune 形状が河床に形成される。この形状はほぼ一定とされており¹⁾、そのため実験室規模の流れにおいても再現が比較的容易である。上記のような流れ(河床波流れ)においてはクレストからの剥離渦が河床に再付着し、その背後領域でコルク・ボイル渦とよばれる組織渦が発生することが知られているため²⁾、本研究では粒子を伴うことによる組織渦の構造変化とボイル渦によって引き起こされる粒子の巻き上げに着目した。

2. 実験手法および水理条件

本実験で用いた水路は、長さ 10m, 幅 40cm の可変勾配型直線水路である。実験水路と計測装置概要を図-1 に示す。画像計測は図-1 に示すように水面側壁付近に設置された High Speed CMOS カメラによって行われ、PIV/PTV 計測³⁾によって渦の挙動と粒子の挙動を同時計測した。レーザーライトシート(LLS)は水路中央を照射し、1/40s ごとに 1280×1024pixel の画像を時間間隔 $\Delta t=1/200s$ で 2 枚ずつ記録した。また、PTV 計測では粒子位置を計測することにより、その詳細な挙動を算出した。計測区間は浮遊砂流れが十分に発達したと考えられる水路上流端から 7.0m 下流の河床波 1 波とした。水理条件を表-1 に示す。全ケースで流量は一定とし、粒子を伴わない清流 CW が 1 ケース、浮遊砂流れ SS が 8 ケースである。表中の h_s は河床波クレスト高さ、 U_m は断面平均流速、 v_{settle} は粒子沈降速度、 U_{*T} は摩擦速度である。沈降速度は以下で示される。

$$v_{settle} = \frac{(\rho_p - \rho_f)g}{18\mu} d_p^2 \quad (1)$$

浮遊粒子はポリエキストラ粒子($\rho_p=1.2$)とポリプラス粒子($\rho_p=1.5$)を使用した。また、流体のトレーサーとして、直径 $d=0.025mm$ 、比重 $\rho=1.02$ のナイロン 12 粒子を用いた。

3. 実験結果および考察

クレストから剥離した渦が再び河床に到達する点を再付着点とよび、河床波流れにおいては、流下方向位置が $x/h_s=5.0$ 付近に存在する⁴⁾。再付着点の定義は、河床近傍において流下方向速度が $U=0$ となる点であり、順流と逆流の割合が等しくなる点である。本実験の再付着点位置を図-2 に示したが、流体の再付着点位置はほぼこれと一致した。しかしながら、粒子の再付着点は流体

表-1 水理条件

case		U_m (cm/s)	h (cm)	l_s (cm)	h_s (cm)	ρ_p	d_p (mm)	v_{settle} (cm/s)	U_{*T} (cm/s)	C ($\times 10^{-4}$)
cw	PIV	25.1	7.0	40.0	2.0	-	-	-	1.89	-
ss1.2	PIV/PTV					1.2	0.25	0.68	1.84	3.84
						0.37	1.49	1.86	3.56	
						0.5	2.72	1.90	3.77	
						1.0	10.89	1.95	3.40	
ss1.5	PIV/PTV					1.5	0.25	1.70	1.85	3.55
						0.37	3.73	1.88	3.49	
						0.5	6.81	1.92	3.28	
		1.0	27.22	1.97	3.63					

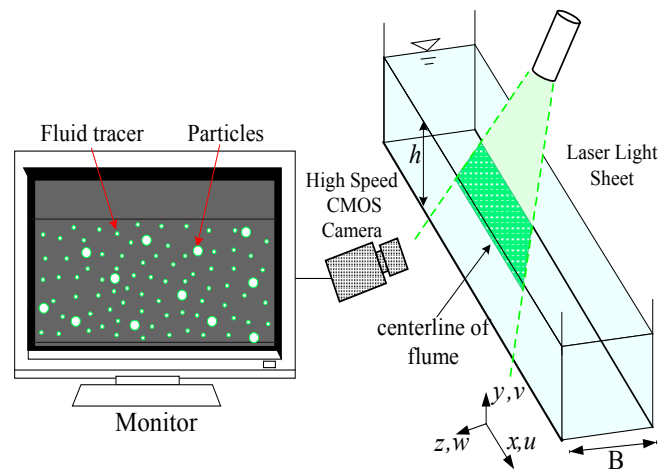


図-1 実験装置図

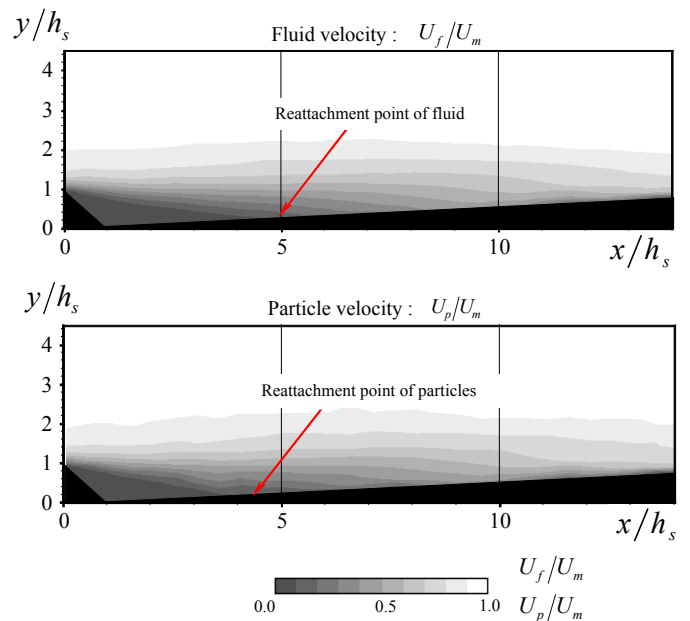


図-2 流体・粒子両者の流下方向速度分布コンターと再付着点位置

の位置と比較して上流側に現れる結果となった(図-2)。これは流体と比較して粒子が比較的早く河床に到達することを意味しており、流体の挙動に対して粒子が完全に追従していないことに起因する現象であると考えられる。すなわち、この現象は粒子の比重や粒径の効果によるものと推測される。そこで本研究では粒子と流体の再付着点位置の差をケースごとに比較し、図-3 に示した。図-3 の縦軸は再付着点位置の差、横軸は粒子の沈降速度である。図に示されるように、沈降速度が大きな粒子、すなわち粒径・比重が大きい粒子を用いたケースにおいて、粒子と流体の再付着点距離により大きな差が生じており、両者の関係が非常に大きいことが示された。これは流体の挙動に対して粒子の追従性が本研究では粒子濃度はほぼ一定としたため、粒子濃度の影響は確認できなかった。

次にボイル渦が通過する領域に存在した粒子の挙動について考察を行った。図-4 はボイル渦通過領域の代表エリア(図中赤サークル)に存在した粒子が0.05秒ごとにどのように移流・拡散されるかを示したものである。図中黒点は粒子位置を意味している。図より、粒子の軌跡が定性的に評価できる。まず $t=0.05$ 秒においては赤サークル領域通過直後であり、顕著な粒子拡散は見られない。続いて $t=0.1$ 秒においては、徐々に粒子の拡散が見られるようになり、特にボイル渦発生直後の領域($x/h_s=5.0$, $y/h_s=0.8$ 付近)で顕著に見られた。これは、底面に近く流速の小さな領域では粒子の追従が鈍いことを意味する。流れに追従しない粒子は河床へと降下し、ボイル渦に追従する粒子は水面方向へ上昇するが、この移流・拡散領域が最も大きいのがボイル渦発生直後の領域であった。この拡散幅の大小関係が各領域での流体の鉛直方向乱れ強度の大小関係と一致することは非常に興味深く、今後の課題としたい。

4. おわりに

本研究は、PIV・PTV を併用して河床波流れに特有の渦構造と粒子の挙動の関係について考察を行ったものであり、粒子の追従性には流体の乱れ強度や粒子の沈降速度が大きく影響しそうであることを定性的に示した。粒子濃度による影響も考慮し、粒子と流体の相関を定量的に評価することを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) Yalin, M. S., 1977. *Mechanics of Sediment Transport*, Pergamon Press.
- 2) Matthes, G.H., 1947. Macroturbulence in natural stream flow, *Trans. AGU*, vol.28, pp255-265.
- 3) Noguchi, K. and Nezu, I., 2009. Particle-turbulence interaction and local particle concentration in sediment-laden open-channel flows, *Journal of hydro-environment research*, vol.3, pp.54-68.
- 4) Nelson, J. M., McLean, S. R. and Wolfe, S. R., 1993. Mean flow and turbulence fields over two-dimensional bed forms, *Water Resources Research*, vol.29, No.12, pp.3935-3953.

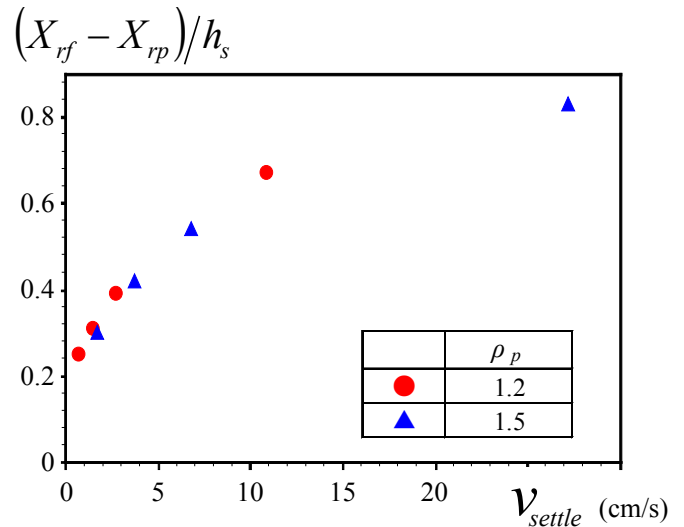


図-3 流体・粒子再付着点位置の差

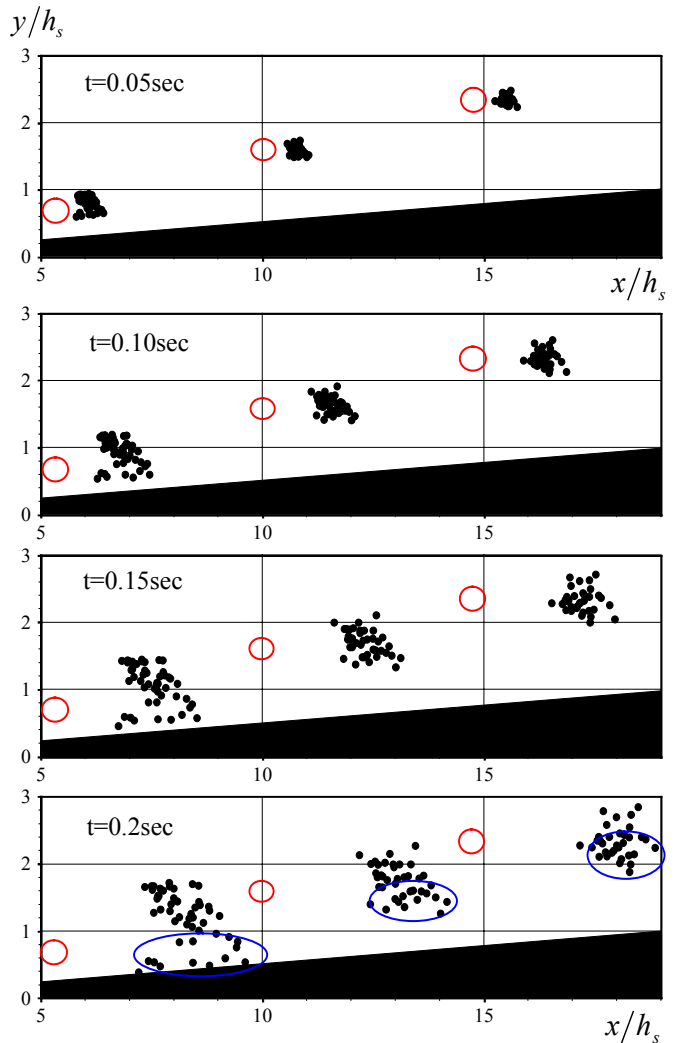


図-4 ボイル渦発生領域での粒子軌跡