

粗流面を流下する2粒子周りの流れの構造

Flow structure around two particles moving on rough bed boundary layer

北海道大学工学部 ○学生員 藤江 稔

北海道大学大学院 正会員 森 巨広

北海道大学大学院 学生員 小林 雄介

1. はじめに

剪断流中を回転流下する粒子の上下流に、図-1に示すような1対の渦状流れが発生することが Acrivos らによって示された。この流れを Acrivos 流れと呼ぶことにすると、著者らは境界層上の Acrivos 流れが底面近傍の低速、高渦度の流体を吸い出して burst 状の強い乱れを引き起こすことを示した。

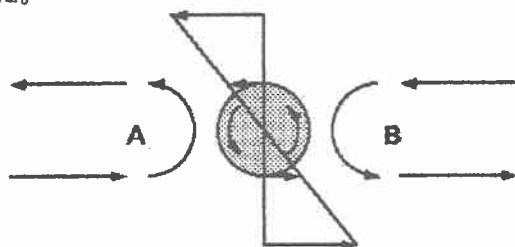
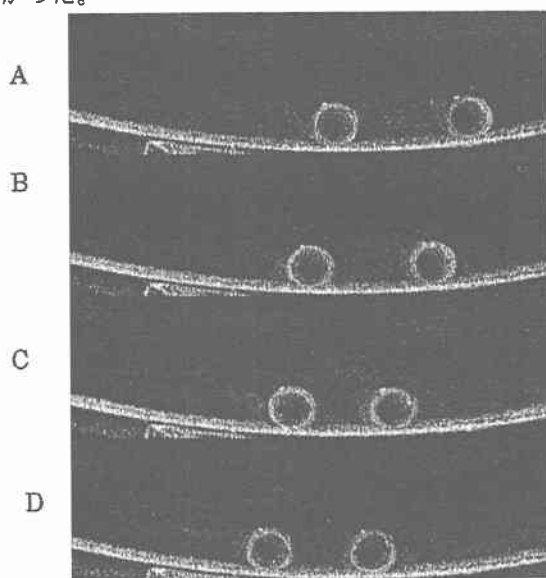


図-1 単一粒子周りの流れ

前報1では滑面で2粒子を流下させた。上流側粒子Aは下流側粒子Bより流下速度が大きく、追いつくと2粒子とも停止した。2粒子周辺の流れを染料で可視化した写真から両粒子とも burst 状の乱れを生成するが、粒子Aの burst が粒子Bの頂点に達する写真中のC付近で粒子速度はBは低下、Aは増大した。A→B、C→Dでは同じ流速で流下することが分かった。



前報2では、図-2に示した円形水路の側壁に鉛円柱を置いて二次元粗面流とみなし、これに二次元粒子を流下させて burst 状の乱れが saltation に与える効果を調べた。burst 状の乱れは、粒子の回転を剪断流によるものとは逆の方向に回転させた。このとき粒子は河床粒子と接触していて、滑りにより流下速度は低下する。この結果、粒子は上流から圧力を受け、粒子下方にもぐりこむ流れにより揚圧力も受けて、河床から離脱した。流体力のみで saltation が継続することが分かった。

本報は、前報1, 2で見られた二つの現象を組み合わせ、粒子周辺の流れが粒子の運動に与える効果を調べたものである。

2. 実験装置

図-2は本研究で用いた実験装置で、粗度には粒子の衝突による反発を除くため直径1.5cmの鉛の円柱を用いた。粒子には直径1.5cmの円柱を用いた。斜線部を上方から、おがくずとアルミ粉を混ぜた微粒子をビデオカメラで撮影し、PIV解析で解析した。また、粒子の回転状況を浮遊粒子円周上のある1点をマークし、その点と反対側の点を結ぶ直径の移動、回転の軌跡をグラフにあらわすことで調べた。図3は粒子を投下しないときの流速分布である。

レイノルズ数 $R_\Delta = 120$ であった。

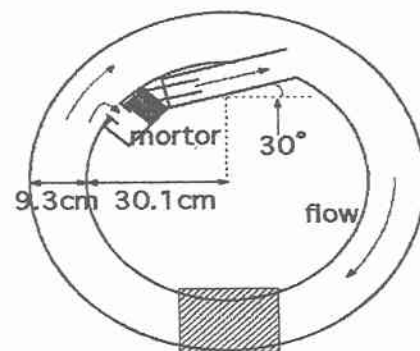


図-2 実験装置図

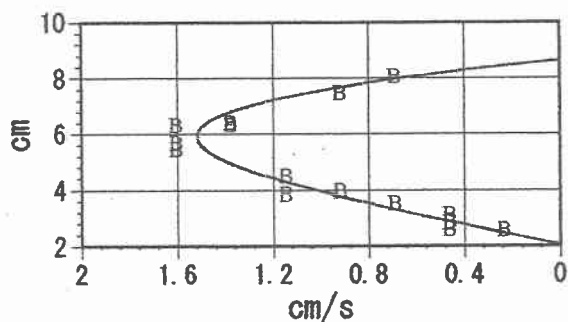


図3 流速分布

3. 解析

3. 1 粒子の運動形態

ビデオテープの観察からA粒子は saltation 運動をするがB粒子は saltation をせず河床粒子に接触して流下した。図4では粒子直径の移動をみたものである。中心点を黒丸（粒子A）と白丸（粒子B）で示した。c 図は、両者を合わせたものである。時間間隔は、a, b 図は 0.2 秒、c 図は 0.4 秒である。この間の平均流下速度はA 0.75cm/sec、B 0.32cm/sec で約 2.4 倍である。上下方向の変位は、B 粒子の方が河床粒子に接触しているため大きい。平均回転速度はA 0.78rad/sec、B 0.36rad/sec で約 2.2 倍であった。

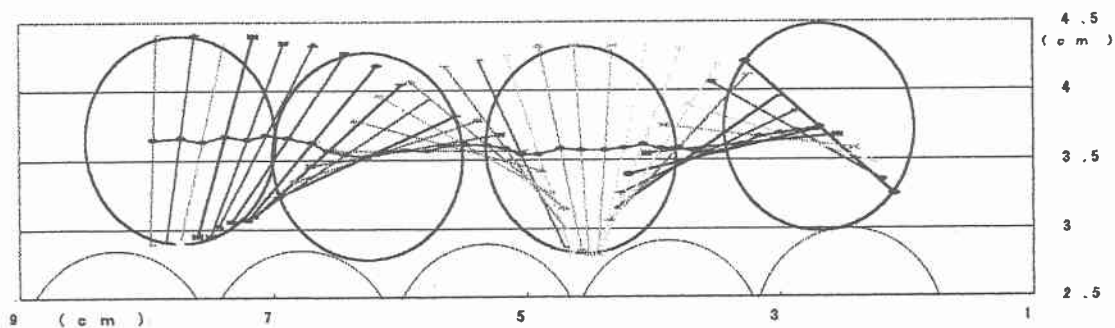


図4-a

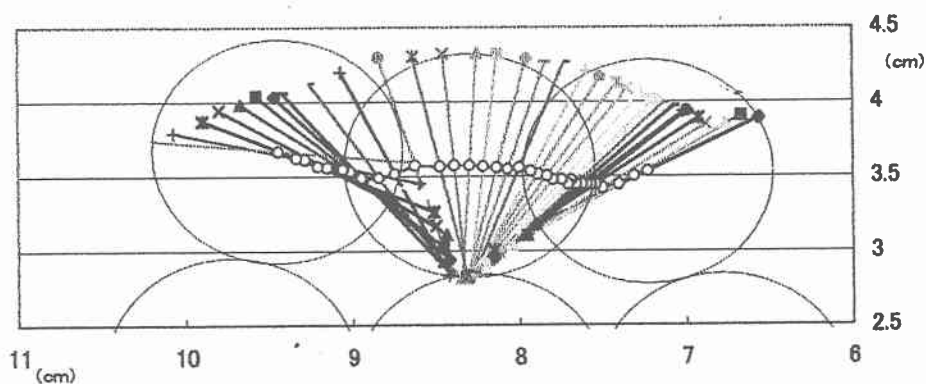


図4-b

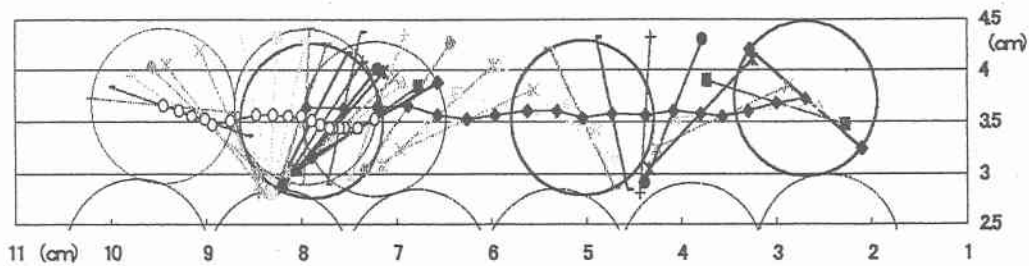


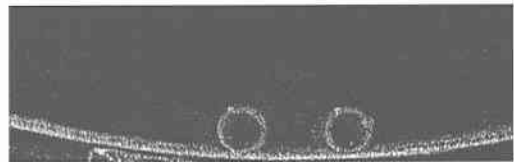
図 4 - c

3. 2 上・下粒子の速度

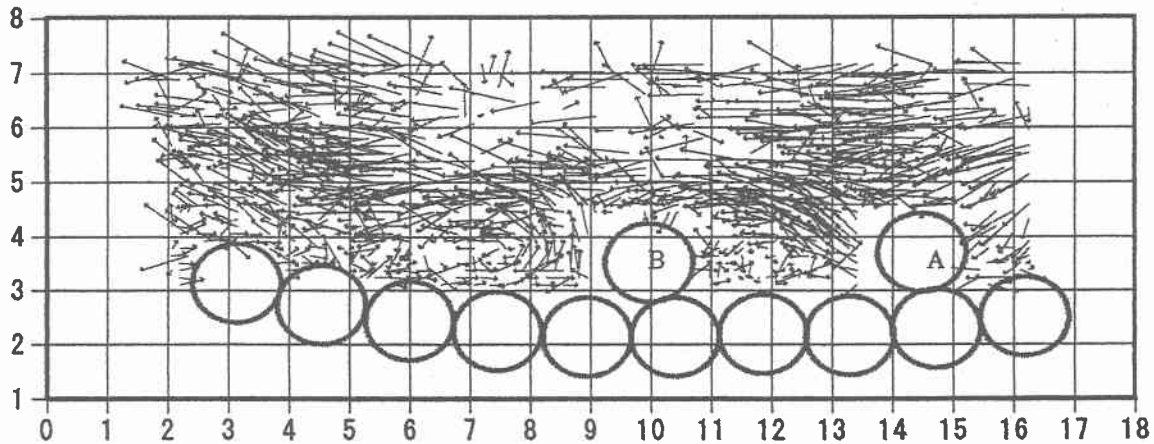
A 粒子の方が B 粒子より流下速度が大きい。

この原因については以下のことが考えられる。

(1) 右写真に見られるような粒子 A 下流から発生した burst 状の乱れが粒子 B 頂部に作用して、粒子 B の流速低下を引き起こす。



(2) 図 6 は PIV 解析結果の一例である。粒子上流側の流速を比べると粒子 A の方が大きい。



(3) 図 6 からわかるように粒子 A 下流の強い上昇流により 2 粒子間の圧力が低下。

(4) 河床粒子との接触は、粒子 A は間欠的であるのに対し粒子 B は常に接触しているため、粗面との間に摩擦効果が大きい。

滑面での観察から、粒子 B のみが速度低下となる (1)、(4) は排除される。(2)、(3) が複合した結果と思われる。

3. 3 2 粒子の接触

2 粒子間から押し出されて形成された burst 状の乱れ、B 粒子下流側の乱れが合体して規模が大きくなる。図 6 の B 粒子下流の強い渦がこれに相当する。

3. 4 粒子の上昇

2粒子は接触直前に粒子間から押し出される強い流れによってB粒子は順回転、A粒子は逆回転する。

(図7) また、そのときA粒子上流の流れが下方にもぐりこみA粒子は上昇する(図8)

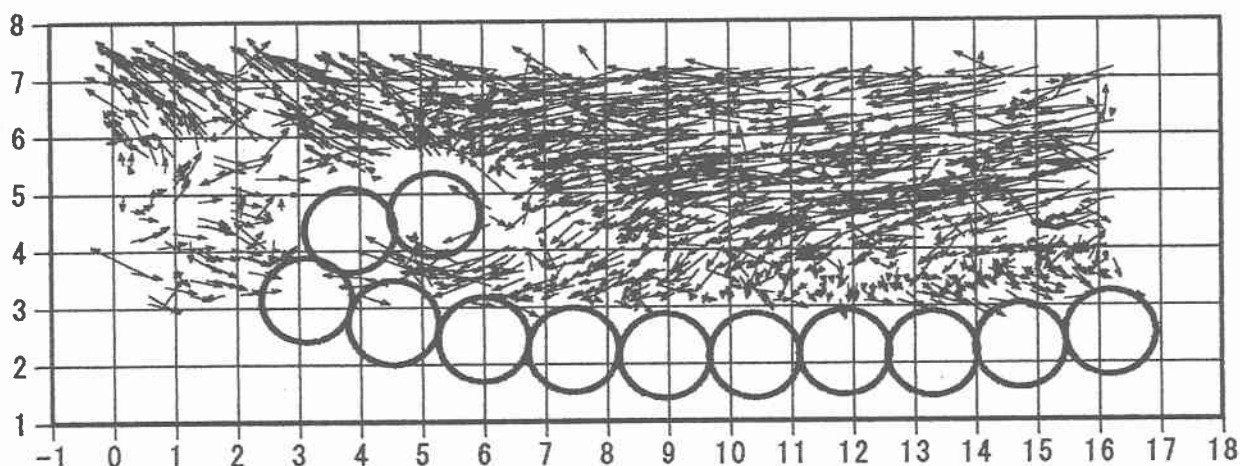


図 8

4. 考察

本実験の結果から下流粒子は上流粒子が接近すると、上流粒子が引き起こす burst 状の乱れによってその Saltation 運動が低下することがわかった。この 2 粒子で起こった現象が粒子濃度が高い状況で起こった場合、上流粒子が下流粒子の Saltation 運動を低下させる現象が連続的に起こる可能性があると考えられる。

参考文献

1. Robertson C.R.& Acrivos A. : Low Reynolds number shear flow past a rotating cylinder:Part 1.Momentum transfer.J.Fluid Mech.40,1970
2. 森、科学研究費補助金（萌芽的研究）研究成果報告書 課題番号 10875097 H.13
3. 土木学会年誌 II-175 2002 年 広瀬・小林・森