

壁面を回転流下する2粒子による流れの安定化について

The Study on the stabilization of the boundary-layer flow by two rotating particles

北海道大学大学院	学生員	小林 雄介(Yusuke kobayashi)
北海道大学大学院	学生員	○村上 吉剛(Yoshitake Murakami)
北海道大学工学部	正会員	森 明巨(Akio Mori)
北海道大学工学部	フェロー会員	板倉 忠興(Tadaaki Itakura)

1. はじめに

固液混相流の構成則を考えると、粒子による乱流変動機構を十分に理解することは重要である。レイノルズ数 $R_o = \Delta u d / \nu$ (Δu : 粒子と流れの相対速度、 d : 粒子径)と乱流生成機構はよく知られていて、 $R_o \rightarrow$ 小のとき、粒子は乱れに追従して乱流強度を減少させ、 $R_o \rightarrow$ 大のとき、粒子背後の流れの剥離によって乱れが増加する。しかし、これまでの多くの努力にもかかわらず、未だに粒子による乱流強度変化を十分に説明する領域区分法がないことは、 R_o だけでは乱流変動が説明できないことを示している。

著者らは従来の研究を検討して、剪断流中の粒子が乱流生成機構を持つことを予測した。そこで、外側が回転する同軸二重円筒によって作られる安定な剪断流中に二次元粒子(円柱)を投入して流れを可視化し、一つの乱流生成機構を見いだした。次いで、境界層剪断流について、同じ要因によって引き起こされる乱流生成機構を確認した。

一様剪断流中に投入された粒子は図-1 のように回転する。このとき、粒子の前、後面で遮断された流体は、粒子の回転とは逆の A、B のような流れを形成することが Acrivos ら¹⁾によって理論的、実験的に確認されている。この流れは ∞ 遠方に延びているが、周辺流の特性によって有限サイズの渦状構造が発生し、これが乱流生成に関わる。

境界層剪断流の場合、図-2 のように D 粒子前方 A では底面付近の渦度の強い流体が持ち上げられてburst状に噴き出し、単一粒子による乱流誘導が起こる。

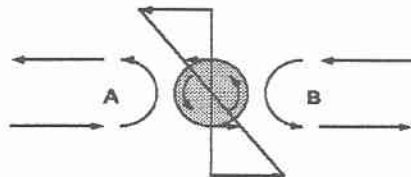


図-1 単一粒子周りの流れ

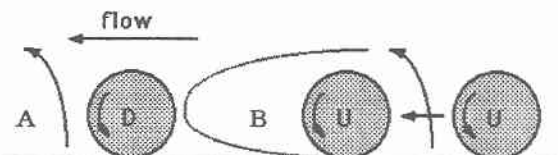


図-2 境界層流中の粒子 D 前後の流れと、上流からの U 粒子の接近

次に同軸二重円筒実験で多粒子実験を行った²⁾。3 粒子以上の場合には常に不安定であったが、2 粒子実験では安定場が形成された。流速分布を見ると、各粒子によ

て安定な $R_o \rightarrow$ 小の場が形成されていて、その中に各粒子が入り込んだ結果と考えられた。これに対し、境界層剪断流実験³⁾では、下流側粒子が停止し、上流側粒子がこれに向かい回転流下するのが観察された(図-2)。これは下流側粒子周辺の流れと上流側粒子周辺の流れが相互干渉して安定な流れを形成したためと思われる。このように、乱流生成と同時に流れの安定化作用もあることが予想された。この現象は、乱流の最大生成域である底面近傍に起こるから、移動床流れの乱流変動に重要な役割を果たしているはずである。流砂と流れの相互干渉の細部は、“掃流砂と浮遊砂”と“乱れの生成や減衰”が複雑に絡み合った結果であるから、これらの現象が流砂流の振る舞いを解明する1つの糸口になると考えた。本研究ではこの視点に立って、PIV 解析を利用して2粒子流れの構造を調べた。

2. 実験装置

実験を容易にするため、境界層流れは開水路側面に発達するものを使い、水面の流れを可視化する。粒子には二次元粒子(円柱)を用いた。直線水路では粒子は壁面を離れ、水路中央側へ流れてしまうため、円形水路を用い、弯曲部に発達する螺旋流を利用して弱い二次流で粒子を壁面に寄せる。図-3は本研究で用いた実験装置である。図の斜線部を上方からビデオカメラで撮影し、染料と微粒子により可視化し、また、PIV 解析を行った。

3. PIV 解析

流れの中に、おがくずとアルミ粉を混ぜた微粒子を投入し、可視化し、画像解析した。

境界層剪断流に単一粒子を投入した場合、粒子下流側では側壁付近の渦度の強い流体が持ち上げられて burst 状に噴き出す(写真-1)が、この現象は間欠的に起こる。そこで、解析は①1粒子・burst時、②1粒子・非burst時、③2粒子の3ケースについて行うことにした。

①burst 時

図-4は下流側の流体がburst状に噴き出したときの流

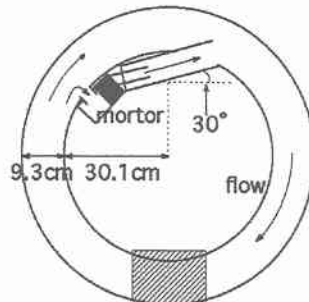


図-3 実験装置図



写真-1 burst 状の噴き出し

速のベクトル図である。粒子下流側において側壁付近の流体の上昇が見られる。また burst 状の噴き出しが下流水路中央側に拡散されているのも見られる。図-5に流速分布を示した。図中の実線は、二次元粒子を投入する前の乱されていない流れの流速分布である。点は各ケースにおける解析値である。5-1では水路中央付近で流速の低下・一様化が見られ、側壁付近では速度勾配の低下が見られる。5-2は全体的にわずかな速度低下が見られる。5-3は5-1と似た分布になっているが、側壁付近の速度勾配が増加している。5-4は1-1型と似た分布であった。

5-1はburstの放出によって流体が攪拌され、流速が一様化したものと考えられる。5-2は側壁付近の流体の上昇により、速度低下したと考えられる。5-4は時間の経過により、5-1型の流速分布から、もとの分布に回復する過渡期であると考えられる。

②非 burst 時

図-6は burst 状の噴き出しが起こっていない状態での流速のベクトル図である。①と同様に粒子下流側壁付近の流体上昇が見られる。しかし、下流側の流体の乱れは見られなかった。図-7に流速分布を示した。7-1ではburst時のburstが下流に伝播したものを表しているものと考えられる。7-2は5-2型と類似していた。これは、非burst時であっても粒子は回転しているため、burst時ほどではないが、側壁付近の流体上昇は起こっているため、5-2型と類似しているものと考えられる。7-3,4はもとの流速分布に近いが、多少ばらつきがある。これは5-4型と比べ

て、より回復が進んだケースであると考えられる。

③2 個粒子

図-8は 2 個粒子を投入した場合の 2 粒子間の流速分布である。この場合、速度勾配、流速共にburst時・非burst時よりも更に低下して流体の一様化が起こっている。これは前方粒子(下流側粒子)が上流に与える影響と後方粒子(上流側粒子)が下流に与える影響とが互いに干渉し、結果として大規模な流体の一様化が起こったものと考えられる。

4. 結論

境界層剪断流中に単一粒子が投入された場合には、粒子の下流側で間欠的に乱流生成が行われるが、2 個粒子投入の場合では、下流側粒子周辺の流れと上流側粒子周辺の流れが相互干渉して、流れを安定化させる作用が大きくなる。

5. 参考文献

- 1)CHARLES A KOSSAK and ANDREAS ACRIVOS (1974):Steady simple shear flow past a circular cylinder at moderate Reynolds numbers J.Fluid Mech, vol.66,part 2,377
- 2)清水啓之、森明巨、板倉忠興 (1999):せん断流中の自由粒子まわりの不安定性について,土木学会北海道支部 論文報告集 第 55 号(B)
- 3)小林雄介、村上吉剛、森明巨、板倉忠興(2000):境界層流れにおける回転粒子の効果に関する実験的研究,土木学会北海道支部 論文報告集 第 56 号(B)

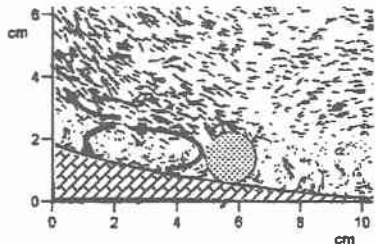


図-4 ベクトル図(burst 時)

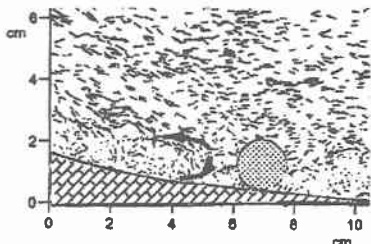


図-6 ベクトル図(非 burst 時)

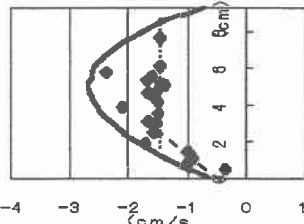
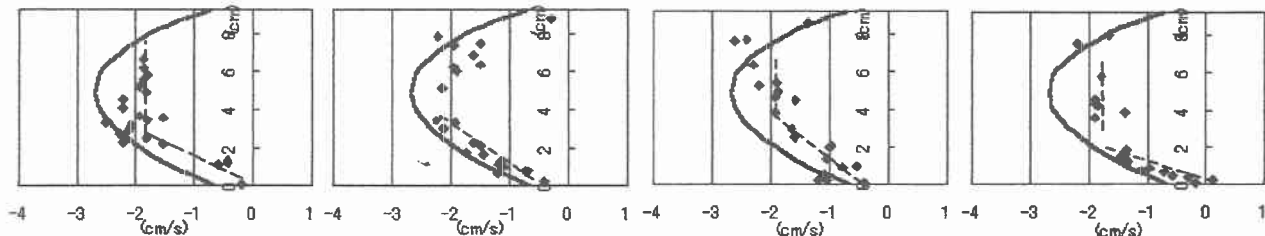
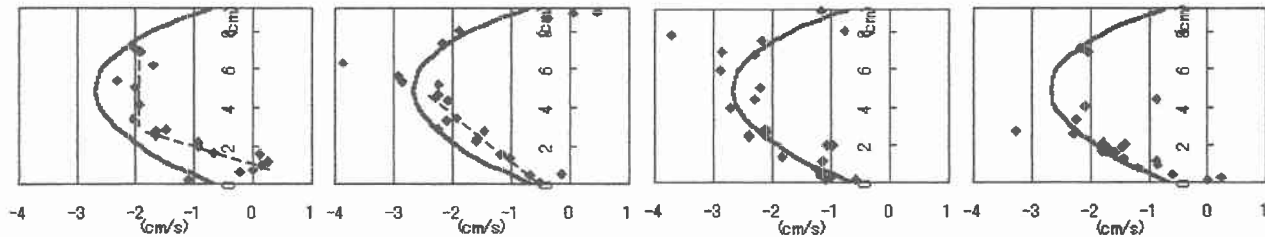


図-8 2 粒子中間地点の流速分布



5-1 粒子下流 5-2 粒子付近(下流側) 5-3 粒子付近(上流側) 5-4 粒子上流

図-5 burst時の流速分布



7-1 粒子下流 7-2 粒子付近(下流側) 7-3 粒子付近(上流側) 7-4 粒子上流

図-7 非burst時の流速分布