粒子の回転による壁面乱流の変化に関する実験的研究

北海道大学工学部　学生員　小林　雄介
北海道大学大学院　学生員　村上　吉剛
北海道大学工学部　正会員　森　明巨
北海道大学工学部　フェロー会員　板倉　忠興

１．目的と方法

我々は、せん断流中を回転する粒子が乱れを引き起こすことを 2 つのせん断流実験で見い出した。清水ら[(1)]は回転せん断流中の粒子の上下流に 1 対の渦状構造が現れるのを見いだし、粒子下流のものを bubbleA、上流のものを bubbleB と呼んだ。Acrivos[(2)]らは，1 様せん断流中の粒子上下流に図-1 に示すような 1 対の渦状構造が生成されることを示したが、上記の実験における渦状構造はこれによって説明された。

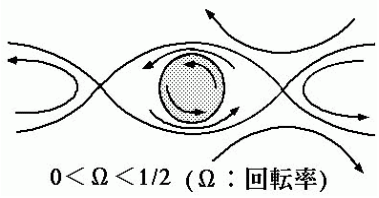

図-１

村上らは境界層せん断流の側壁に沿って流下する粒子周辺の流れを可視化した。写真１に見られるように粒子の下流側で粒子と壁面の接点付近から上昇流が発生し、粒子頂部を超えると渦状に巻き込むことを見いだした。これは bubbleA に対応するが、bubbleB は見られなかった。

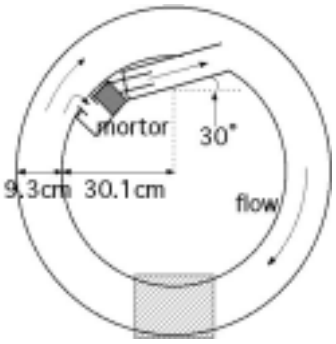

図-２

そこで本研究では、境界層せん断流について水路を新設して更に新しく調べることにした。水路は、図-2 に示した幅 9.3cm、内径 30.1cm、の円形である。水路の彎曲部に発達する螺旋流を利用して粒子を側壁に沿って流下させる。粒子には、直径 1.5cm の円柱を用い、二次元粒子とみなした。図の斜線部を上方からビデオカメラで撮影し、染料とアルミ粉により可視化し、また、PIV 解析を行った。

２．粒子の自由回転による効果

bubbleA：　写真-１は粒子が回転している場合である。図-３は PIV 解析の結果で、粒子速度を引いたものである。渦の発生は周期的で、大きさは粒子直径程度である。染料によって観察された流れに対応して境界層付近の流体が粒子下流側に沿って上方へ向かうベクトルと渦状のベクトルが認められる。

写真-２、図-４は比較のため粒子を固定したときのものである。これらによると境界層付近の流体の上昇は粒子下流側は粒子頂部より上方と下方の流速差によって生じるせん断による乱れが見られ、この渦の発生位置は定まらず、複数同時に起こることもあり、大きさも様々で、規則性は低い。粒子によって作られた乱れの範囲は狭い。

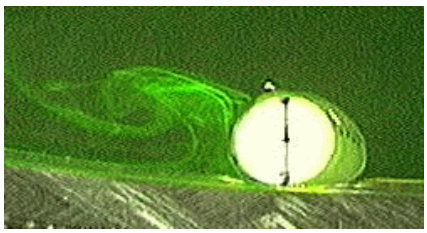

写真-１

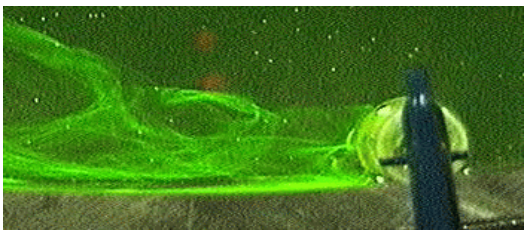

写真-２

キーワード：回転粒子・壁面乱流・境界層・ｂｕｂｂｌｅ
〒０６０－８６２８札幌市北区北１３条西８丁目北海道大学大学院工学研究科
ｔｅｌ０１１－７０６－６１９０

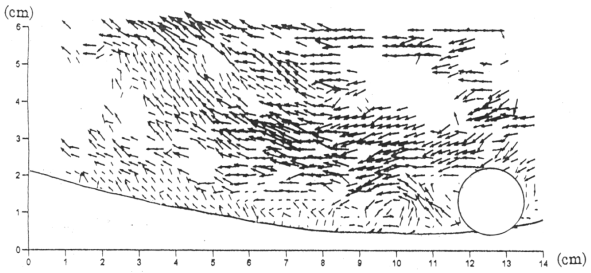

図-３

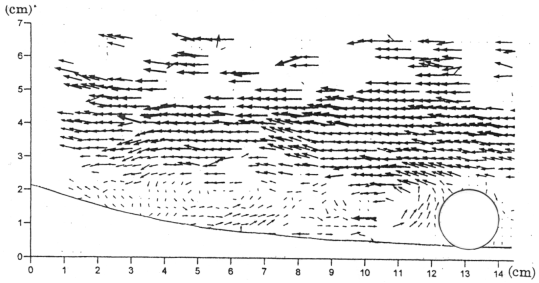

図-４

図-5 は粒子を流下させたときの回転速度と時間の関係を示したものである。t=1～3 では粒子下流に沿った上昇流により回転速度は小さくなる。ｔ=3 に渦が放出されると、回転速度は次第に大きくなっていく。これにより bubbleA 型の流れが強くなって、粒子下流側の流体の上昇が再び始まる。このようにして渦の生成は間欠的であった。

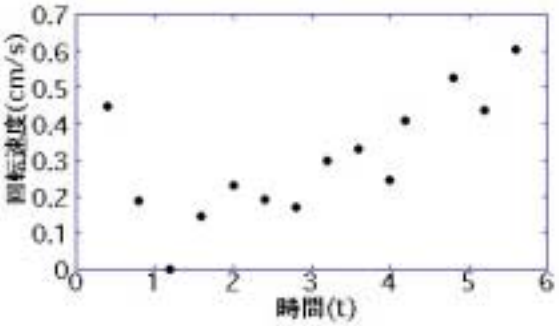

図-５

ｂubbleB：　粒子上流側はニ次流が弱いため、アルミ粉により可視化した。図-6 はこのベクトル図であり、粒子に沿って下降する bubbleB の渦状構造が認められる。

次に、２粒子のときの流況を可視化した。

粒子間距離が 3,4 粒径程度のとき、前方粒子の bubbleＢと後方粒子の bubbleA が一体となって 1 つの渦を形成した。粒子間距離が 3、4 粒径程度以上では単一粒子の流況と同じであった。粒子間が１粒径程度になると、下流側粒子は止まる。これに上流側粒子が接近して、粒子間の流体は押し出されるように上方に放出される。渦のカップリングは見られなかった。

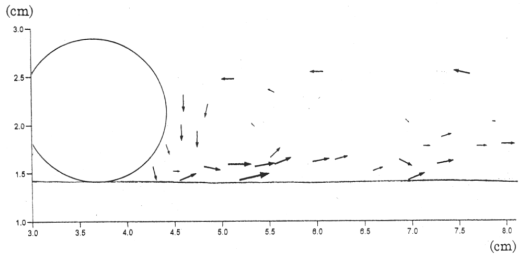

図-6

3.結論

境界層せん断流中に粒子を投入すると、回転効果により粒子の上流側と下流側に渦状構造が発達し,Acrivos 型モデルで説明できた。また、粒子下流側の乱れが顕著であったのは、境界層付近の高渦度の流体が上昇流によって強い渦状になるためである。

4.参考文献

(1)清水 啓之　森 明巨　板倉 忠興 土木学会北海道支部　論文報告集　第 55 号（Ｂ）1999
せん断流中の自由粒子まわりの不安定性について

(2)CHARLES A KOSSAK and ANDREAS ACRIVOS　J.Fluid Mech, vol.66,part 2,377 1974
Stesdy simple shear flow past a circuler cylinder at moderate Reynolds numbers