

日本コムシス（株）
立命館大学理工学部
立命館大学理工学部
立命館大学理工学部

正会員 ○鮎川栄志
正会員 J.C.Wells
正会員 江頭進治
正会員 中川博次

1.はじめに 乱流場における質量の輸送、粒子の輸送においては、水深スケールの運動のほか、境界層中での輸送も様々な方法で検討されている。本研究においては、染料による可視化手法を用いることにより、乱流境界層中での浮遊粒子の運動と、乱流における組織構造¹⁾²⁾との関連性を調べることを目的とし、考察を行うものである。

2.実験方法と実験条件 実験は、長さ 8m、幅 50cm、高さ 40cm の可変勾配循環式直線水路で行った（図-1 参照）。底面に粒径 1.1cm($k^+=35.8$)のガラスビーズを密に敷き詰め、粗面開水路とした。なお、底面を 10cm 底上げして行い、その際路床勾配をゼロに設定した。トレーサーにはフルオレセイン（比重 1.005）を使用した。注入装置に関しては、上流から 5.5m 付近の底面に厚さ 1mm、幅 45cm のダイ・インジェクション・スリットから流出させるものを使用した。ライトシートは、スライドプロジェクターを用いて光源を薄いシートに変換し、スリットより下流側に断面 1 ($x=22\text{cm}$)、断面 2 ($x=27\text{cm}$)、断面 3 ($x=34\text{cm}$) の場所に 3 枚用意し、主流に対して底面から 68° 、 64° 、 60° で照射した。染料が回転する渦対によって

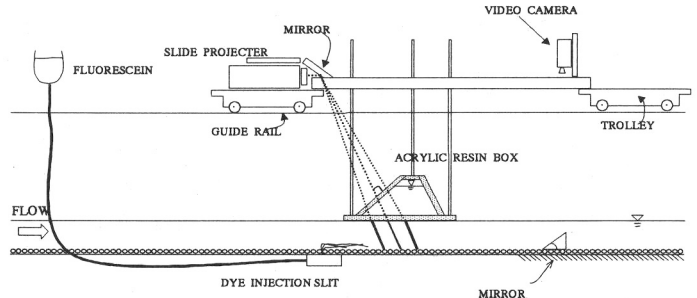


図-1 実験装置

表-1 実験条件

case	Q(l/s)	h(cm)	U _m (cm/s)	T(°C)	d(mm)	w ₀ (cm/s)	U*	U*/w ₀	Re	Re*	d+
1	2.71	10.79	5.02	10	11	0.353	0.43	1.22	4103	352	35.8
2	2.71	10.79	5.02	10	4	0.372	0.43	1.16	4103	352	13

次々と巻き上げられ、写真-1~3に示すようなきのこ型のパターンとして現れる。粒子にはポリエチレン粒子を使用し、それを加工することによって所定の沈降速度を得ることとした。11mm 粒子は粗面のガラスビーズを下げて、スリットより 5cm 下流側より設置したのに対し、4mm 粒子は設置することでは撮影範囲内で浮遊を得ることができなかったため、路面より上部から放した。スリットより 1m 下流側に鏡を設置し、上方にビデオカメラを設置することにより、粒子の鉛直方向、横断方向の軌跡を追えるようにした。なお、粒子が通過する際のライトシートのみ照射されるように、残り 2 枚はその都度消せるようにした。実験条件を表-1に示す。ここに、Q は流量、h は水深、T は水温、d は粒子の直径、w₀ は沈降速度、U* は摩擦速度、U_m は断面平均流速、 $Re=U_m h/\nu$ 、 $Re^*=U_* h/\nu$ であり、U* は対数則より求めた。なお、添字の+は、内部変数(ν 、U*)を用いて無次元化した値を示す。

3. 縦渦と浮遊粒子の関連性

従来より流体の輸送、拡散において、縦渦の茎の部分が最も質量輸送の高い部分に相当するとされている¹⁾。粒子の輸送において、縦渦がどのような役割を果たしているかを検討した。全体的なパターンとして、縦渦に取り込まれる粒子（縦渦の回転流によって運動を規定される粒子、縦渦自身の Oscillation によって規定される粒子）や、横断方向に軸を持つ横渦に乗る粒子などみられた。

図-2は、一個の 4mm 粒子に着目し、その存在高さ y^+ と時間 t^+ の関係をプロットしたものである。写真-1はその中の 3 点での映像であって、(a)は渦に

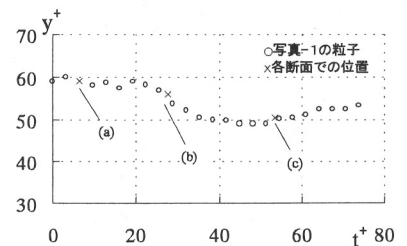
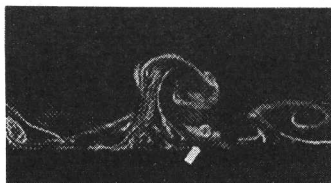


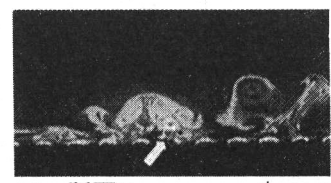
図-2 4mm粒子の位置と時間



(a) 断面1 $t^+=6.4$



(b) 断面2 $t^+=27.7$



(c) 断面3 $t^+=54.5$

写真-1 4mm粒子と縦渦
(主流は手前向き)

Eiji AYUKAWA, J.C.Wells, Shinji EGASHIRA, Hiroji NAKAGAWA

取り込まれる前、(b)は取り込まれた後である。これは、図-2において、 $t^*=0\sim 20$ までの間、粒子は波打つような挙動を示しているが、その後、比較的滑らかな運動へと変化していることからわかる。また、 t^* が50を越えた時点で、粒子が上昇し始めるのは、写真-1(c)に示されるように縦渦対の右側の下部に発生した、小スケール(粒子径と同程度)の渦対の茎の部分に粒子が取り込まれたためである。

写真-2、3は 11mm 粒子のものである。写真-2は縦渦に取り込まれた状況を示し、写真-3は渦の頭部にあり、横断方向に軸をもつ渦(横渦)に取り込まれた状況を示す。図-3は、写真-2、3の粒子の存在高さ y^+ と時間 t^* の関係であり、写真-2の粒子運動の軌跡の最高点を $t^*=0$ とした。写真-3の粒子の時間は、写真-2粒子が断面1を通過する際の時間と一致させた。図-4は、図-3の粒子の位置を、 y^+-z^+ (z^+ は水路横断方向)面上に示したものである。

写真-2の11mm粒子において、縦渦対の左側の渦のスケールは、断面1で $D^*=55.6$ 、断面2で $D^*=61.1$ 、断面3で $D^*=56.3$ であり、図-3、図-4の粒子の軌道スケールとほぼ同程度となっている。また、写真-2(b)、(c)の縦渦の形象より、粒子の移動速度と縦渦の回転速度を比べると、粒子の速度のほうが遅いことがわかる。また、図-4の粒子位置をみると、縦渦の茎の部分による粒子の位置の変化はみられない。このことは 4mm 粒子が渦の茎の部分により上昇したのとは対比している。すなわち、質量輸送の高い茎の部分の影響による粒子の輸送は、粒子スケールと渦のスケールに依存して、4mm 粒子が輸送されたのに対し 11mm 粒子は輸送されていない。

図-3、4の結果にみられるように、写真-3の横渦に取り込まれた粒子は、写真-2の粒子と比較して軌跡が大きく異なる。これより、Saltation 軌道から浮遊への遷移機構は、渦構造によって決定されていることがわかる。

表-2は、11mm粒子の存在高さの平均と標準偏差を示したものである。これより、断面 1~3 へと標準偏差が大きくなるのは、掃流運動から浮遊運動へ遷移した反映であると思われる。

4. おわりに 本研究では、乱流境界層における浮遊粒子と組織構造(渦構造)との関連性の検討を行った。その結果、粒子運動は粒子の粒径と渦のスケールの比に依存していることが示された。また、掃流から浮遊への遷移機構も、渦構造と密接な関係があることが示された。

本研究は、一部、文部省学術フロンティア、および文部省科学研究費基盤研究 C(代表者:J.C.Wells)の補助を受けて進めているものである。ここに記して感謝します。

参考文献 1)大成博文・佐賀孝徳・斉藤隆:開水路乱流内層の縦渦構造、土木学会論文集、第 363 号/II-4,pp.135-144,1985. 2)玉井信行・瀬津家久・小松利光・大成博文・大橋正和・浅枝隆:乱流における組織構造の役割、土木学会論文集、第423号/II-14,pp.25-41,1990. 3)辻本哲朗・中川博次:掃流から浮遊への遷移機構に関する基礎的研究、土木学会論文集、第 369 号/II-5,pp.43-50

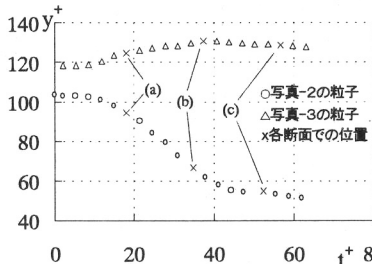
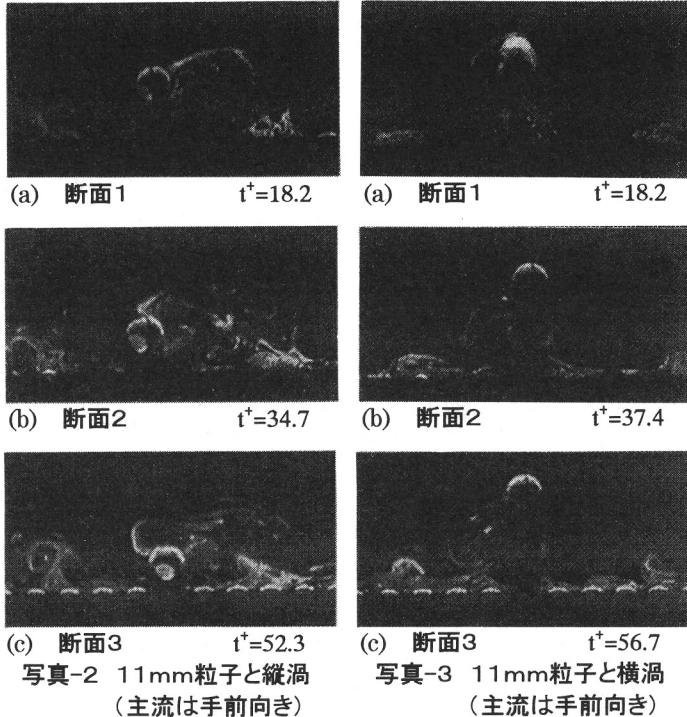


図-3 11mm粒子位置と時間

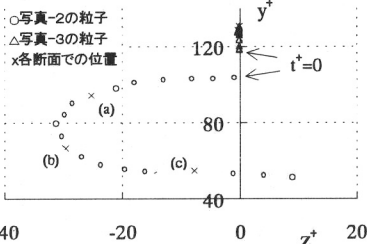


図-4 11mm粒子の鉛直方向と横断方向位置

表-2 11mm粒子の存在高さ

	N=7	y/h	y^+
断面	平均	0.287	108
1	標準偏差	0.057	21.6
断面	平均	0.278	104.4
2	標準偏差	0.077	28.9
断面	平均	0.259	97.5
3	標準偏差	0.09	33.8