

(株)市川工務店
立命館大学理工学部
新潟県

正会員 ○波多野大輔
正会員 J.C.Wells
正会員 高島史揚

1.はじめに 乱流現象における秩序構造は、流れ場の様々な物理量の生成や輸送に深くかかわっていることからその解明は水工学上の重要な課題である。これまでも乱流境界層や開水路乱流においてそれらに関する究明がなされているが、構造自体の解明を目的としたものが多く秩序構造と物体の輸送の關係に注目したものは少ない。そこで本研究では、SPIV (Stereo Particle Image Velocimetry)を用いて速度を計測し、路床に設置された粒子の初動と乱流構造との関連性について考察を行った。

2. 実験方法と実験条件 図1は実験装置の概略図である。本研究は流れ場をレーザーライトシートで可視化し、これを2方向の視点から、2台のCCDカメラ(Kodak, ES1.0, 1008×1016pix, with Nikkor 105mm microlens)で観測し、横断面内の速度の3成分を同時に計測した。実験には長さ8m、幅50cm、高さ40cmの水平直線水路を用いた。測定は上流端から5.5mの断面で行い、測定面には円柱レンズと球レンズを用いて厚さ3mmのシート状に変換されたレーザー光を照射した。レーザー光源は水路に平行に設置し45°の傾きを持って設置された鏡を通して照射し、図1のようにレーザー光に対してそれぞれ60°の角を成すように設置されたカメラにより測定面の撮影を行った。また、CCDカメラにより画像を取り込む際の屈折を防ぐためにアクリルボックスをカメラの前に設置し境界を光軸に対し垂直にした。流れのトレーサー粒子は、平均径10μmの中空ガラスビーズ(Potters Industries)を使用した。撮影は、Δt秒間隔の2枚1組の連続画像を粒子の初動時前後最大11秒間行った。今回の実験ではΔt=5msとした。速度成分は、まずそれぞれのCCDカメラにより撮影された画像に対し2次元速度を相互相関法によって計算し、それらを校正板を用いて決定したカメラパラメータを用いてステレオの対応づけを行い速度3成分を計算した。表-1は実験条件である。ここに、

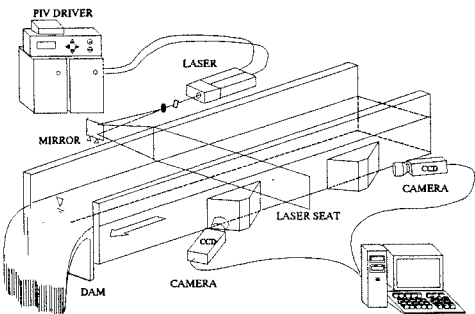


図1 SPIV 実験装置概略図

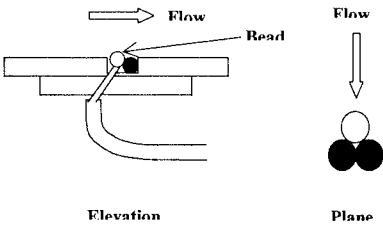


図-2 粒子設置図

Dは粒子の直径、 w_f は粒子の沈降速度、 Q は流量、 h は水深、 U は平均流速、 U_* は摩擦速度、 T は水温、 $Re=Uh/\nu$ 、 $Re_* = U_*h/\nu$ である。 U_* は Blasius 則より求めた。実験条件の設定は、Blasius 則で算定した摩擦速度に基づくレイノルズ数を300とするように決定した。粒子には、直径が11mm($d^+=35.3$)のものを使用した。ここに、 $d^+ = dU_* / \nu$ である。粒子は Saltation 運動となるように沈降速度を調整した。値は J.E.Abbott の実験結果を参考にした。図-2は粒子の設置図である。粒子の設置は、それぞれ同粒径の粒子を用い、粒子が左右に揺れないような接触状態になるようにした。滑面を維持するために可動粒子以外は滑面にはめ込み隙間をパテで埋めた。

表-1 実験条件

	D (mm)	w_f (cm/s)	h (cm)	Q (l/s)	U_* (cm/s)	T (°C)	Re	$Re^* (= U_* h / \nu)$
1/28	11.2	2.71	10.0	3.64	0.0728	10	52/33	300

3. 結果と考察 実験は粒子の静止状態から移動するまでの一連の運動について行った。以下、粒子が静止状態か

ら初めて動き出す瞬間を粒子の初動とし、解析は初動時に着目して行った。図-3、には実験により得られた速度から、平均流速を引き変動成分のみを取り出し、テーラーの凍結乱流の仮説により断面平均流速を用いて時系列のデータを3次元的に並べたものを示す。流れの方向は右から左である。濃灰色は垂直方向の変動成分で摩擦速度の-2倍というレベルの等値面、黒色は垂直方向変動成分で摩擦速度の2倍というレベルの等値面、淡灰色は主流速の平均流速よりも速い部分で摩擦速度の5倍というレベルの等値面を示す。 $a-a'$ 断面は初動を示す。図-4には実験により得られた速度から主流方向渦度を計算し、図-3と同様に時系列のデータを3次元的に並べたものを示す。流れの方向は右から左である。

渦度は $\pm 0.25u_*^2/\nu$ の等値面で表されており、黒色が時計回り(正)、濃灰色が反時計回り(負)の渦度を示す。

まず、粒子初動付近の図-3領域Cでは主流方向流速が平均流速に比べかなり高速である。よってこの高速の流れが粒子初動を引き起こしたと考えられる。次に、粒子初動より前の時刻である図-3領域Aにおいては水深の半分程度の大規模な下降流体塊が存在する。この下降流体塊が上方の運動量を底面付近へと輸送し、この結果前述の粒子初動を引き起こした図-3領域Cの高速の流れが生じたと考えられる。また、図-3領域Bにおいては多くの壁面乱流においてその存在がしられている縦渦構造が見られる。そして、その大きさから明らかなように、前述の下降流体塊はこれらの縦渦構造のまわりの旋回運動とは異なる。すなわち、粒子初動を引き起こす高速の流れは縦渦構造によって引き起こされるのではない。図-3の等値面を見る限り粒子初動時に下降流体塊は存在していない。そこで粒子初動時の横断面図での流れである図-5をみてみるとやはり下降流は存在しない。図-5での流れの方向は手前に向かっていて、この図から図-3領域Cの高速の流れが下降流体塊の発生後すぐにつくりだされているわけではないということがわかる。

4.おわりに 粒子初動時の速度と渦度を測定することにより、粒子初動と秩序構造との関連性について検討した。その結果、粒子初動時において必ずしも底面付近の縦渦が影響するものではないということが推察される。粒子初動は、初動時より前の時刻に発生した下降流により粒子周りの主流速が速くなることにより引き起こされている。

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) 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.

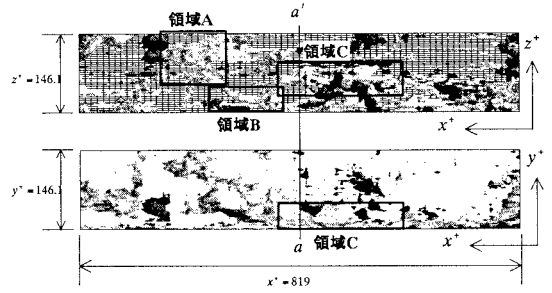


図3 変動成分

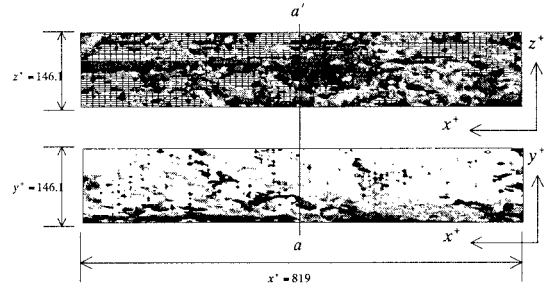


図4 $\omega_x = 0.25$ の等値面

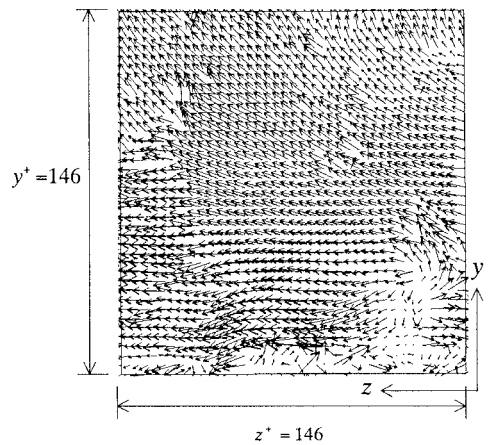


図5 粒子初動時の横断面内の速度場