

京都大学工学部 正員 岩 佐 義 朗

京都大学工学部 正員 小 本 博 健

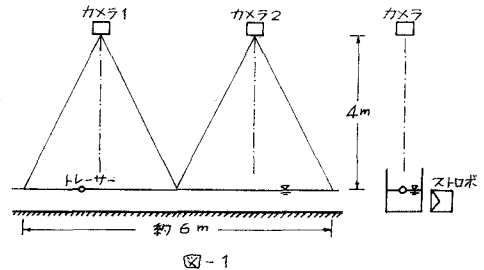
京都大学大学院 学員 本 庄 正 史

流れ運動を記述する方法は、流体内の一々の質点部分の運動経路を表わすLagrange的方法と、流体中の一点における質点部分の運動状態を表わすEuler的方法とに大別されるが、従来の流れ計測においては、多くの場合主としてEuler的方法が用いられ、Lagrange的方法が用いられることはほとんどなかった。本研究は開水路流れにおける流れ特性を解明するための一環として、開水路流れの自由表面上における流れのLagrange的特性を、トレーサー法によって計測しようとし、トレーサー（固体粒子）の観測法として写真観測による方法のほかに新たに超音波による方法を用いる。

1 実験装置および方法

実験水路は、長さ10m、巾25cm、深さ35cmのビニール樹脂製珪面直線水路であり、水路こう配は1/500あるいは1/100とした。

(1) 写真観測による方法：トレーサーとして、パラフィン塞(比重0.73)の球形固体粒子を自由表面上に流下させ、側面よりストロボ照明しつつ鉛直上方に設置した2台の精密写真計測用カメラによって、トレーサーの軌跡を乾板上に記録する(図-1)。これより、一定時間(Δt)ごとのトレーサーの流下方向(x方向)および横方向(y方向)の変位(Δx)を読み取り、

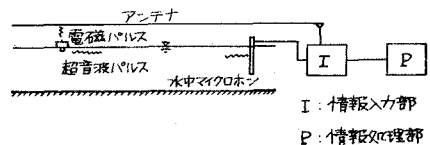


$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

によって、それぞれの時間ごとの平均流速が求められる。本実験においては、 $\Delta t \in 1/50$ 秒とし、下流方向の観測範囲は約6mであり、レンズの収差などによる誤差は自由表面近傍に設置されたスケールによって補正される。

(2) 超音波による方法：写真観測による方法によってLagrangeの流れを計測することは、とくに読み取りに莫大の労力を要し、実際上この方法を採用することは相当困難な要素が多いため、超音波を利用する方法が考えられた。以下簡単にその原理について説明する。

図-2に示すように、トレーサーが一定時間ごとに超音波パルスを水中に向けて発信すると同時に、電磁パルスを空中に向けて発信させ、水中に設置された水中マイクロホンによって超音波パルスを、水路周辺に巻かれたアンテナコイルにより電磁パルスを受信するようになっている。受信地盤(水中マイクロホン)より距離xにあるトレーサーより発信された超音波パルスが受信されるまでに要する時間Tは



$$T = \frac{x}{c+u} \approx \frac{x}{c} \quad (2)$$

図-2

に示すところである。ここに \$U\$ は超音波の本中心伝播速度、\$U_0\$ は本流の流速である。\$U\$ が \$C\$ (\$\approx 1500\$ m/sec) に近い場合、(2)式のように近似できる。したがって、\$T\$ を測定することによりトレーサー位置が決定され、\$T\$ の時間的変化を測定しその時間的微係数を算定すると流速が得られる。

本研究に用いる超音波によるトレーサー速度計測装置は、トレーサー部、情報入力部、情報処理部の3部により構成され、その概要はつぎの通りである。トレーサー部は、送波器、発信器、送信コイルより成り、空中送信は約 2(V) 微分パルス、水中送信は約 6(V) の微分パルス電圧を送取器に加え、この電気信号を音波エネルギーに変換し、超音波パルスとして送取器から発信している。情報入力部は受信器、アンテナコイル、前置増幅器、主増幅器、波形整形器、D-A 変換器から成り、受信器でトレーサーからの超音波パルスを受け、本路に導いたアンテナコイルで電磁パルスを受け、前置増幅器、主増幅器で増幅し、波形整形回路で電磁パルスと超音波パルスとの時間差をゼロ出し、D-A 変換器によって、analog 量に変換する。情報処理部は、情報入力部からつづつ analog 信号を受け、low-pass-filter を通した後、計算回路によって流速に相当する analog 信号を出力として得られるようになっている。

2. 実験結果および考察

超音波による方法について現在、実験装置の調整中のため、ここでは写真観測による方法によって得られた結果のみを示す。こゝ、三つの特性について考察する。

(1) 分散、拡散(分散)係数、相関係数、平均スケール：等方位乱流場における乱流拡散現象に対する Taylor の理論によると、分散と時間との関係より、拡散(分散)係数あるいは相関係数と時間との関係とが得られることになっている。すなわち、\$k\$ 時間における分散を \$\overline{x_k^2}\$ とすると、\$k\$ 時間における拡散係数 \$D_k\$ 及び相関係数 \$Y_k\$ は、近似的に次式のように表わすことができる。

$$D_k = \frac{1}{2} \frac{\overline{x_{kn}^2} - \overline{x_{k-1}^2}}{\Delta t} \quad (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (3)$$

$$D_0 = 0, \quad D_n = \frac{\overline{x_n^2} - \overline{x_{n-1}^2}}{\Delta t} - D_{n-1}$$

$$R_k = \frac{D_{kn} - D_{k-1}}{\Delta t} \quad (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (4)$$

$$R_0 = \frac{2D_1}{\Delta t} - R_1, \quad R_n = \frac{2(D_n - D_{n-1})}{\Delta t} - R_{n-1}$$

$$Y_k = \frac{R_k}{R_0} \quad (5)$$

(3), (4), (5)式を用いて流れ方向の分散測定値より拡散係数及び相関係数を計算しに結果の一例を図-3 に示す。一方、相関係数は

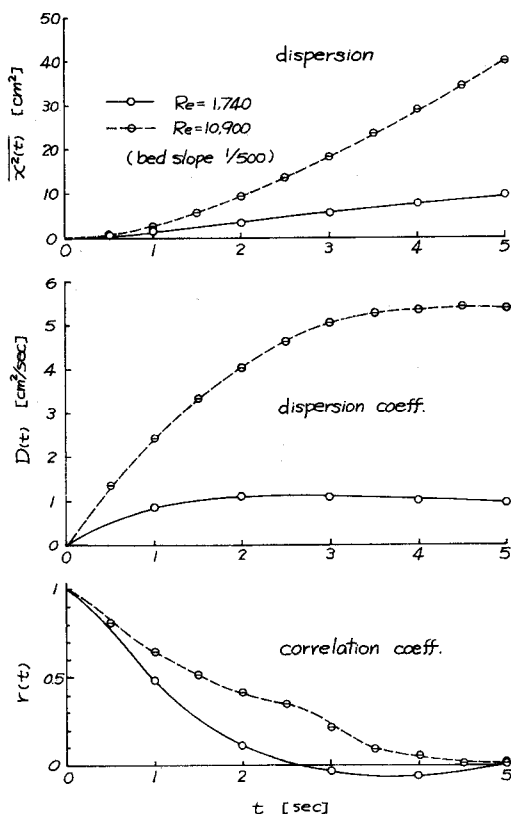


図-3

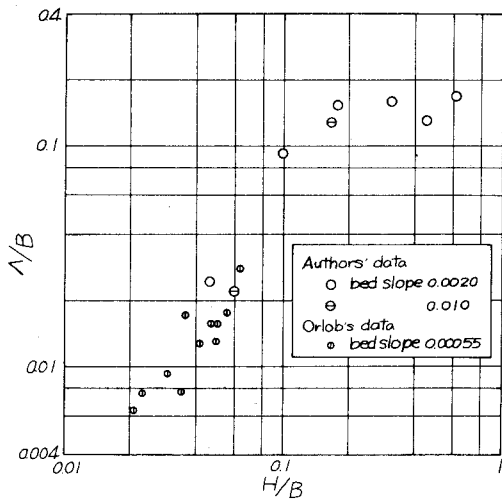


図-4

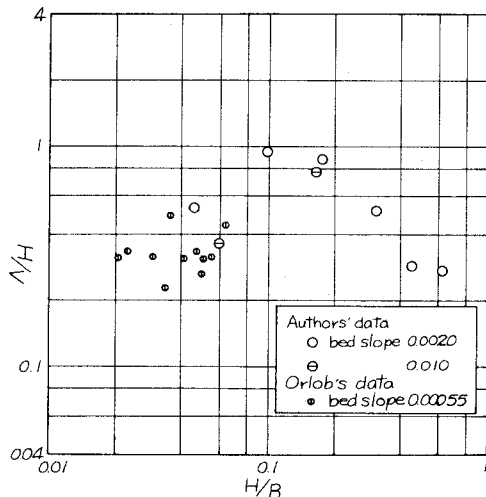


図-5

り定義される Lagrange 的平均時間スケール T_L の近似値として

$$T_L' = \int_0^T r(t) dt \quad (6)$$

を用い (ここに, T は $r(t)=0$ となる最小の時間), 併式における R_0 より, $R_0 \approx \sqrt{u^*}$ として乱れの強さを定めると, 流れ方向における乱れの平均スケール (あるいは渦の大きさ) Λ_x は近似的に下記のようになり示される。

$$\Lambda_x = \sqrt{u^*} \cdot T_L \approx R_0^{\frac{1}{2}} \int_0^T r(t) dt \quad (7)$$

図-4は(7)式によって求めた Λ_x と本路中比 H/B との関係も, また, 図-5は Λ_x/H と H/B との関係も示したものである。なお, これらの図には, Orlob¹⁾の測定結果をも併せて示されているが, 横方向の拡散状態より求めた乱れスケール Λ_y より, 等方性乱れの仮定によって, 流れ方向の乱れスケール Λ_x は, $\Lambda_x = 2\Lambda_y$ として計算したものである。これらの図より下記のことがわかる。すなわち, H/B が 0.2 より大きい場合, Λ_x/B はほぼ一定となり, Λ_x は本路中のみの関数となるのに対し H/B が 0.2 より小さい場合, Λ_x は本流のみの関数と見なすことはできず (図-5), むしろ, H/B の関数と見るべきである (図-4)。しかしながら, 乱れのスケールをこのよう幾何学的スケールのみによって説明することはきわめて危険であって, 運動論的あるいはエネルギー論的考察を加える必要がある。

2) 乱れの周期性: 開水路流れの乱れにおける同期性の存在については, すでに, Ippen and Raichlen²⁾による総圧管式流速計による乱れ計測において, 流速計の固有振動数によるもの以外の同期性の存在が指摘されているが, 開水路流れの乱れ計測に関する困難さとも相俟って, 従来においてはほとんど見向きがされてはいる。

本研究においても, このよう開水路流れの乱れに含まれる同期性の存在を明確にするため, $1/20$ 秒ごとの Lagrange 的平均速度について (図-6), 自己相関関数 $R(nT)$ を求めた結果を図-7に示す。

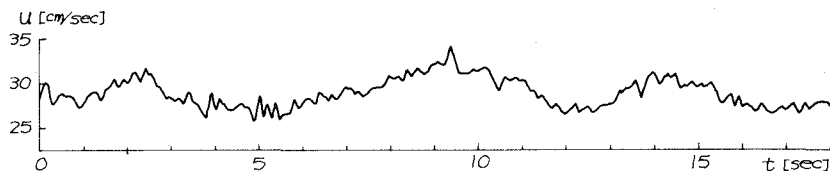


図-6 Lagrange的乱れ計測例 ($Q=0.96\%$, $H=1.63\text{cm}$, $\bar{U}=28.9\text{cm/s}$)

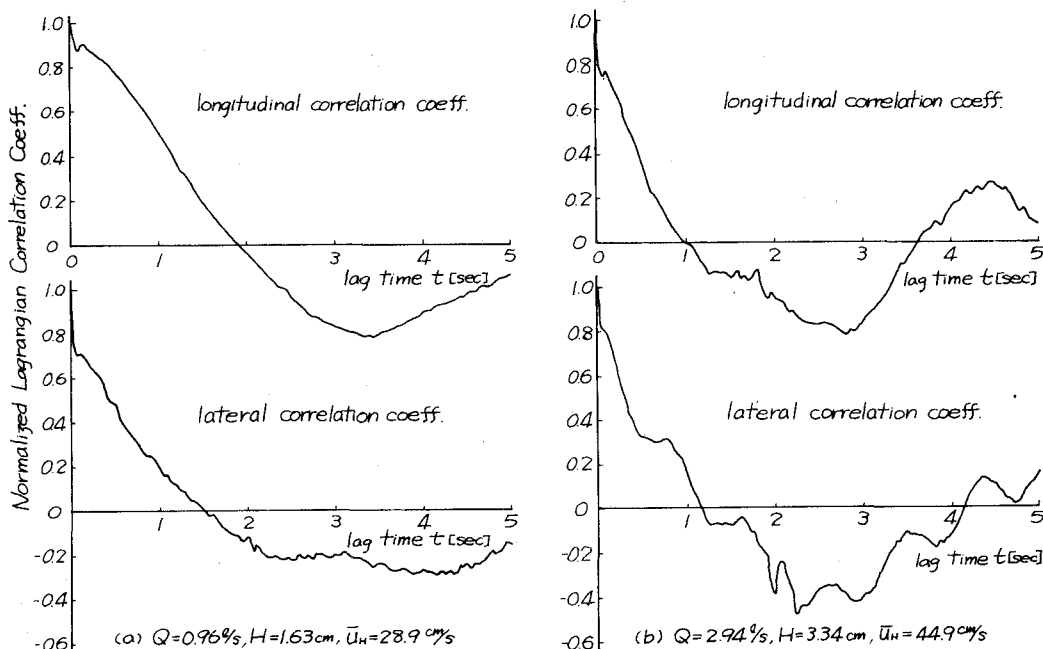


図-7

本実験における観測時間、実験装置の特性、統計的处理を行うに十分なものとはいえないが、開水路底の自由表面上におけるLagrange的乱れに就き、図-6および7に見られるごとく、本実験に関する限り、かなり顕著な周期性の存在が認められるが、現段階においては、周期性と巨視的水理条件との関係を見出すことは困難であって、開水路流れに特徴的なものか、あるいは、本実験装置の特異性にもつづくものが精確な下すことは不可能である。

参考文献

- 1) G. T. Orlob ; Eddy Diffusion in Open Channel Flow, Sanitary Eng. Research Labo., Univ. California, Berkeley, Contribution No. 19, Water Resources Center, 1958.
- 2) A. T. Ippen and F. Rachlen ; Turbulence in Civil Engineering : Measurements in Free Surface Streams, Proc. ASCE, Jour. Hy. Division, HY 5, 1957