

## II-244 数値実験によるトレーサ粒子の検討

福山 大学工学部 正員 梅田 真三郎  
 神戸 大学工学部 正員 筧 源 亮  
 大阪産業大学工学部 正員 野村 勝 美

### 1. まえがき

本研究では、流れの可視化実験に用いるべきトレーサ粒子の流れへの追従性を数値実験によって調べた。数値計算で得られた平面2次元の定常流れ場に投入されたトレーサ粒子の流跡結果を発表してきたが、今回は鉛直2次元の場合も付け加えてトレーサ粒子の軌跡を考察した。

### 2. 理論解析解<sup>1)</sup>と流れ場の数値計算<sup>2)</sup>

流れに単一粒子が混入された場合を考え、粒子を半径  $r$  の球とし、流速  $u_f$  と粒子速度  $u_p$  の差が小さいものとする、粒子に作用する外力が、その慣性力と釣合うBasset、Boussinesq及びOseenによる運動の式により表現され、粒子速度はこの運動の式より求められる。

運動の式から導かれる積分方程式での流速に関する項については解の重ね合せが可能であることなどから級数の形の理論解析解を求めることができる。紙面の都合でそれらの式は省略するが、以下の文章に用いる記号として流体の密度  $\rho_f$  と粒子の密度  $\rho_p$  等に関係するものは次のとおりである。

$$\sigma = \frac{\rho_p}{\rho_f}, \quad T = \frac{2r^2(\sigma+1/2)}{9\nu}, \quad U_s = \frac{2r^2(\sigma-1)}{9\nu}g, \quad t_* = t/T$$

なお今回の計算では、 $t=0.00892$  (sec)、 $\nu=0.15$  (cm<sup>2</sup>/sec) を用いた。

理論解析解に基づき、流れ場に投入する粒子の軌跡を調べるにあたって、まず差分法のSOLA法による数値計算によって平面及び鉛直2次元の角柱背後の流れを再現した。それぞれの流れには、計算初期に双子型の渦ができ、時間とともにカルマン渦列があらわれた。鉛直2次元の流れには、重力の影響がわずかにみられる程度である。今回は平面2次元の流れの中から双子型の渦が再現されているCYCLE=50とカルマン渦列が再現されているCYCLE=260の二つの流れ場をとり出し、また鉛直2次元の流れについてはCYCLE=260のみをとり出し、それぞれの定常流れに種々の比重と粒径をもつ粒子を投入した場合の流跡線求めた。なお、CYCLEは流れの計算開始からの経過時間に関係するものである。

### 3. 流跡比較と考察

トレーサ粒子の軌跡を追跡するため構造物背後に形成されていると思われる渦列の中心あるいは周辺に粒子を投入した。今回流れ場を定常流れとしているので、その流跡線から求めた。流れに最も追従すると考えられる粒子である比重  $\sigma=1.0$  で粒径が非常に小さい場合に相当する  $t_*=10.0$  の粒子を投入したときにその流跡線が得られ、それを基準なる流跡線と名づけた。

まず平面2次元流れに対しての流跡をみると、基準なる流跡線では渦の中心付近に投入した各々の粒子は渦の中心から外に向って遠心旋回を示し、計算領域の右境界外へと粒子が移動する流動状況を示している。一方、比重が1.0より小さくて粒径がある程度以上の大きになると渦の周辺に投入した粒子が渦の中心へ向う向心旋回を示すようになる。このような遠心及び向心旋回を示す個々の渦をみると、比重、粒径、CYCLE及び渦の位置などによって渦の旋回特性が異なっている。

次に鉛直2次元流れに対しては、基準なる流跡線が平面2次元と比較した場合

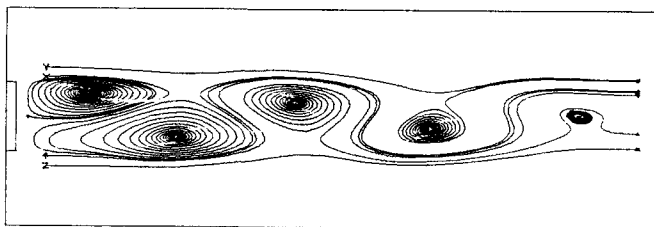


図-1 流跡線図 ( $\sigma=1.0, t_*=10.0$ )

同じ遠心旋回を示すが、その旋回幅や旋回数などが異なっている。また種々の比重や粒径の粒子の流跡を調べてみると、すべて遠心旋回を示した。その一例として基準なる流跡線を図-1に、 $\sigma = 1.04$ 、 $t_x = 0.5$ の場合の結果を図-2に示す。ただし粒径が比較的大きくなると、当然ながら比重の小さい場合には浮力の影響で上方に、比重の大きい場合には重力の影響で下方に行く流跡を示した。

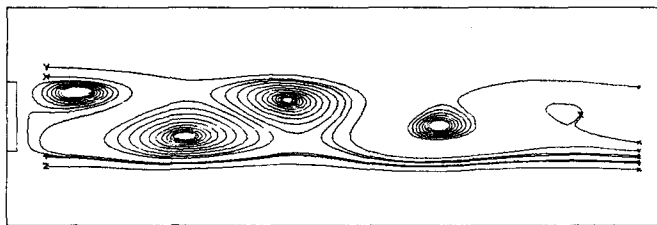


図-2 流跡線図 ( $\sigma = 1.04$  ,  $t_x = 0.5$ )

今回の旋回渦の渦の中心付近を比較してみると、同じ座標点に投入しながらも投入後初期の粒子の軌跡である初期渦の形が比重や $t_x$ の違いで異なっている。そこで粒子投入後2、3旋回程度までの流跡に関して、基準なる流跡線の場合と種々の粒子の流跡線の場合とを比較した結果を拡大した図の形で図-3に示す。図の中央付近の小さな渦が基準なる流跡線のもので、比重が小さくしかも $t_x$ が小さくなるにつれて左に流跡幅が拡大され、比重が大きい場合にはその逆となっている。

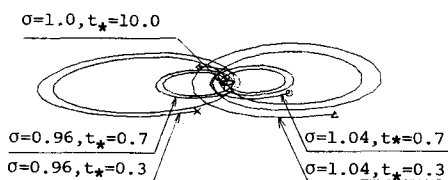


図-3 渦の中心付近の比較

種々の粒子に対しての渦全体の流跡特性を比較するために、基準なる流跡線の旋回数でそれぞれの流跡線の旋回数を割った旋回数比と $t_x$ の関係を示したのが図-4である。比重が $\sigma = 1.04$ の場合には $t_x = 22$ 程度、 $\sigma = 2.65$ の場合には $t_x = 400$ 程度以上でそれぞれの旋回数比が1.0となる。一方比重が1.0より小さい場合には、ある程度の大きさの $t_x$ になると旋回数比が1.0より大きくなる場所があらわれ、さらに $t_x$ が大きくなるとその比が1.0になるという結果となった。

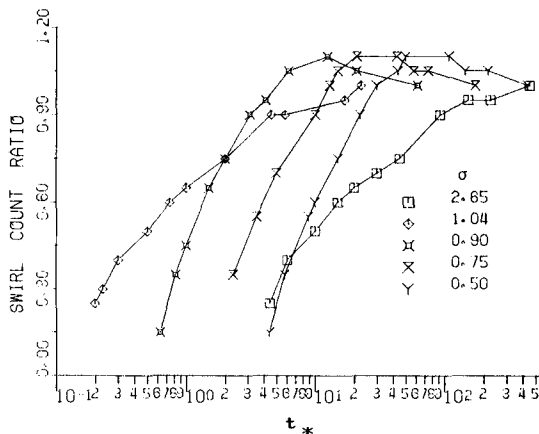


図-4  $t_x$ と旋回数比の関係

この $t_x$ に代ってSettling Velocity  $U_s$ の絶対値と旋回数比の関係で整理し直すと図-5のようになる。比重の大きい $\sigma = 1.04$ 及び $\sigma = 2.65$ のものとその他の比重の1.0より小さいものがそれぞれほぼ重なっている。

また比重が1.0より小さい場合には、 $U_s$ が-0.1から-0.02の範囲内は旋回数比が1.0より大きくなっている。なお図-4及び図-5の結果は、運動の式においてBasset項を省略した場合のものである。

このように鉛直2次元流れに対しては、浮力あるいは重力の影響を受けた旋回状況を示していることが想像される。すなわち流跡特性は $U_s$ によってほぼ決ってくると思われる。

〈参考文献〉

- 1) 梅田真三郎、野村勝美：トレーサ粒子の流跡比較、土木学会中・四国支部年次学術講演会、1986
- 2) 筧源亮：流速分布可視化に使用するトレーサ粒子の比較、流れの可視化学会誌、Vol.5、NO.18、1985
- 3) 梅田真三郎、森行裕章：カルマン渦列のグラフィック表示について、土木学会中・四国支部年次学術講演会、1985

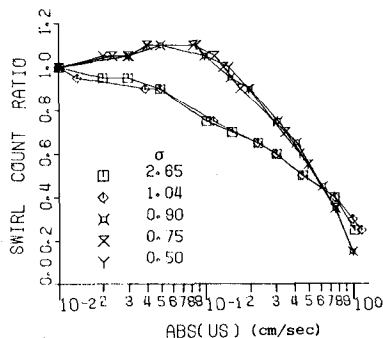


図-5  $U_s$ と旋回数比の関係