

Flow Visualization 法における 2, 3 の問題点

防衛庁技術4研 正員 工修 志方俊之
京都大学大学院 学生員 ○花村哲也

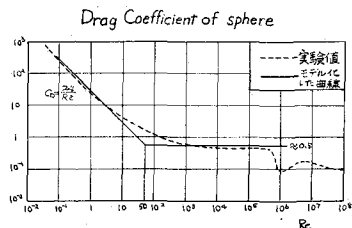
1. 緒言 ; Flow Visualization 法とは、流れの状態を直接視覚に訴えようとする実験的手法であつて、従来用いられてきた方法を分類するとつぎの3つになる。すなわち、(1)トレーサー法、(2)光学的方法、(3)表面処理法である。流体の運動を数学的に示すには、Euler および Lagrange の方法があり、トレーサー法では、投入条件と撮影条件により、それらの資料となる流線(stream line)、流跡線(path line)、痕跡線(streak line)を得るゝことができる。この場合、粒子の運動が流体の運動を表し得るか、流体への追従性はどうかなどが問題となる。本報告では球形トレーサーについて、追従過程を数式解と実験結果とを比較検討しようとするものである。

2. トレーサーの運動 ; トレーサーとしては、固、液、気体のものがあるが、その運動特性はよりさらに固形性と拡散性のものに分けられる。トレーサーの流れへの追従性を明らかにするために、固形性の粒子を取り上げる。粒子の運動方程式は(1)式のように表わされる。

$$\rho_p V_p \frac{du_p}{dt} = \frac{1}{2} C_D \rho_f A_p |u_f - u_p| (u_f - u_p) + \rho_p V_p \frac{du_f}{dt} + \rho_p V_p c \left(\frac{du_f}{dt} - \frac{du_p}{dt} \right) + F + T \quad (1)$$
 〓に添字 p はそれぞれ粒子、流体 f 、 ρ は密度、 V は体積、 A は抗力面積、 u は速度、 C_D は抗力係数、 c は仮想質量係数、 F は外力、 T は乱れによる力を示し、右辺第1項は抗力、2項は流体による慣性力、3項は仮想質量による抗力を示す。

図-1

実験と比較するために、(1)式によるトレーサー追跡例として、流れは一様流(平行、定常、非回転流れ)とし、その中で ρ の流体と同比重の球形粒子の運動を見る。 C_D としては図-1のように従来の実験値をモデル化したものを用いると(ただし、 $Re = 2r\rho_f |u_f - u_p| / \mu$ 、 μ は流体の粘性係数、 r は粒子の半径である。また c は球に対する経験値 $1/2$ を用いた。)、(1)式は簡単に(2)、(3)式となる。

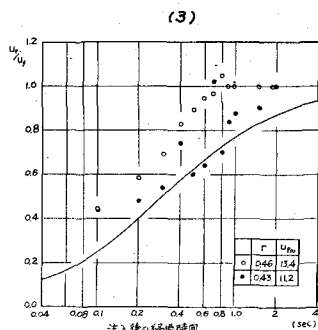
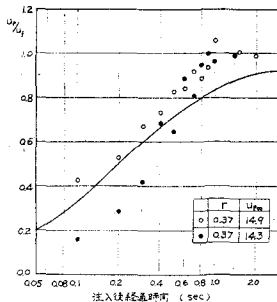
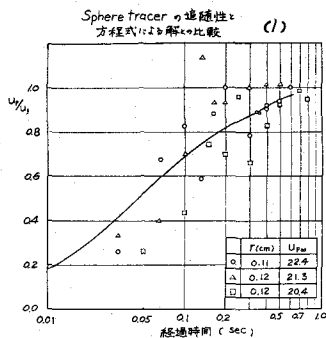


$$\frac{du_p}{dt} = \frac{3\mu}{4r\rho_f} |u_f - u_p| \quad (2)$$

$$\frac{du_f}{dt} = \frac{1}{4r} (u_f - u_p)^2 \quad (3)$$

初速0で投入したトレーサーの追従過程は上式から求められ、図-2の実験に示される。

図-2



3. 実験方法; トレーサーは四塩化炭素とキセレンおよび螢光物質を混合したもので、流体中に浮遊させ、流体とほぼ比重にし、直径1, 3 mmの真ちゅう管より注入した。測定はストロボ撮影を用いた。本実験条件 $Fr \approx 0.1$, $Re \approx 2 \times 10^4$ の開水路流れである。

4. 実験結果; 写真は1個のトレーサーが注入管を離れる瞬間から流れに追いつくまでの過程をストロボ撮影したものである。トレーサータのヘッドが十分低いと、注入管先端でトレーサーが膨脹し、ある大きさになると、流れの力により粒子は注入管から離れる。したがって初速で流れに追いついてゆくと考えられる。写真から得た速度と時間の関係を示したのが図-2中の実験値である。

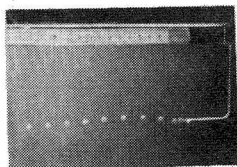
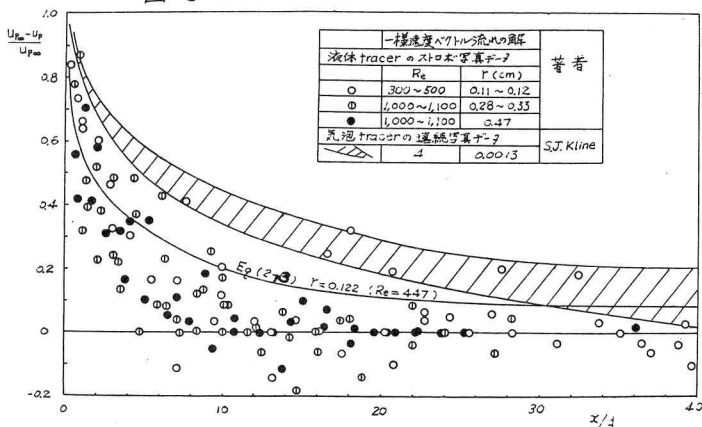


図-3

図-3では横軸に流下距離と粒径の比をとって示したもので速度と距離の関係を示した。ハッチ部は Kline らの気泡トレーサーによるデータである。

5. 考察; 図-2により、数式解が追いつく傾向をよく表わしていることがわかる。しかし実験値は解よりも早く追いついてしまう。これは方程式では、流速に近



ずいた粒子は(2)式で運動するとして求められているが実際の流れは乱流場であり、Stokes' law の成り立つ(2)式を用いることは適当でないことによるものと考えられる。また流体中の粒子は流れによって大きく加速される場合があり、一たん加速されると速度が急に増し、早く追いつくと考えられる。なお図-2では粒径が増すほど、数式解よりも早く追いつくことが見られる。これは注入の際トレーサーは管先端で膨脹し、流速が小さいほど粒径が増す。管径を一定にすると、粒径の大きい程注入管による後流の影響が小さく、流れに早く追いつく。図-3からは、追いつくに必要な流下距離が求まった。液体粒子(半径 0.11 ~ 0.47 cm)では $x/d = 10 \sim 20$, 水素気泡(半径 0.0013 cm)では $x/d = 50 \sim 80$ である。粒径が大きくなると x/d が小さくなる結果を得た。これは注入装置による後流領域の速度欠損が原因と考えられる。そのほかに流れと粒子の間に何か関係があると考えられる。今後はこの方面を把握する必要がある。

6. 結言; 従来 Flow Visualization 法は多くの実験資料をよそでまたが、その方法についての考察は少なかつた。そのわ1段階として、トレーサーの追従性を検討してみた。今後の問題として、トレーサーと流れの関係を知る必要がある。このほかに浮遊トレーサーに対する空気の影響、写真技術、新しい方法の開発など多くの問題をもっていることを示しておく。

参考文献; S.J. Kline 他: Use of Hydrogen Bubbles for Quantitative Determination of Time-Dependent Velocity Fields in Low-Speed Water Flows, Journal of Basic Eng. Trans. of ASME 1964