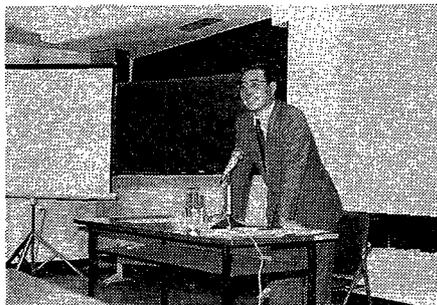


＝ 流れの可視化 ＝

Flow Visualization



講師 神戸大学工学部 機械工学科教授
木村雄吉
Takeyoshi Kimura
Professor of Mechanical
Engineering, Kobe University
抄録 (化)技術部 技術第1課
竹中努
Tsutomu Takenaka

One of the methods for solving fluid flow phenomena is by basic equation and boundary condition. However, there are very few strict solutions in hydrodynamics. Another method is by experimental approaches, especially flow visualization has advantage that the entire flows can be solved. Recently, not only the qualitative analysis but also the quantitative analysis of the flow was made possible through the flow visualization. One of the biggest subjects in the future is to visualize the pressure for fluid flow.

1986年7月10日本社大会議室にて、多数の出席者のもとに、特別講演会を開催した。

本講演会は、計測学会の会長である木村雄吉 神戸大学教授をお招きし、首記演題にてご講演頂いた。本稿は、そのご講演内容を要約したものである。

まえがき

私たちの身の廻りには多くの流れが存在する。風の流れ・川の流れ・海の流れなどである。また鳥が飛んだり魚が泳いでいるのも流れである。つまり鳥が飛んでいるのと鳥が静止していて周辺の場が動いているのは同じことである。これを「ガリレイ変換」という。そして人間はこれらの流れをいろいろな方法で解明しようとしてきた。

1. 基礎方程式

流れ場の解明方法の一つは基礎方程式を境界条件を与えて解くことである。基礎方程式には

(1) 連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho \mathbf{v} = 0$$

(2) 運動方程式

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} P + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$$

(3) 状態方程式

$$\frac{P}{\rho} = gRT$$

の3つがあり、これで一般の流れを解くには必要かつ十分である。この中の未知数は速度・密度・圧力の3項のみである。(動粘性係数はわかっており、温度は他の状態量がわかればよい。)すなわち境界条件を与えて速度・密度・圧力を解けば流体力学は解けたといえる。しかしこの式には非線形偏微分方程式を含んでおり、一般解がないので、流体力学にたずさわっている人は流れをモデル化して解こうとする(例えば流れには粘性がないと仮定する・流れが

完全な平行流れハーゲン・ポアズイユ流れと仮定する・壁面だけを考えるなど)が、それでも流体力学において厳密解といえるものは極めてわずかしかない。しかも境界層方程式で境界層全てが解けるわけではない。解けるのは平板の真平らな所だけである。極論すれば、流体の基礎方程式で実際の流れは解けない。このため実験的手段によって未知の物理量を測定して、流れを解明しなければならない。

2. 実験的方法

実験的方法の中で、ピトー管とか圧力計などで一点を測る局所計測は、その精度・容易さ・じん速さにおいて非常に発達しているが、流体力学の目的である流れ場全体を解くには不向きである。例えば部屋全体の流れを解くにはピトー管を部屋の中で3次元にトラバースしなければならない。これでは時間のむだである。

そこで可視化実験が出てきた。最初は流れを定性的に見るためであったが、最近では可視化実験から定量的なデータを得ようとしている。コンピューターおよび画像処理技術によってその精度は非常によくなっている。しかしまだ精度においては局所計測には劣るが、今後有望な実験的方法である。

3. 可視化の対象

1) 速度

可視化の対象はほとんどが速度である。速度の可視化はトレーサー法が主に用いられる。「流線(Stream line)：ある瞬間に流体内に一つの線を考えて、その線上で流体の速度がすべてその線の方向を向いている場合にその線を流線と呼ぶ」「粒子径路(Particle path)：流体粒子の実際の通路であり、流線と粒子径路は一致しない」「流脈(Streak line)」「タイムライン(Time line)」を観測する。

写真1は円柱まわりの流れを水素気泡法によって可視化したものである。この写真は流線を表しているが、画像処理によって速度場および圧力分布を知ることができる。

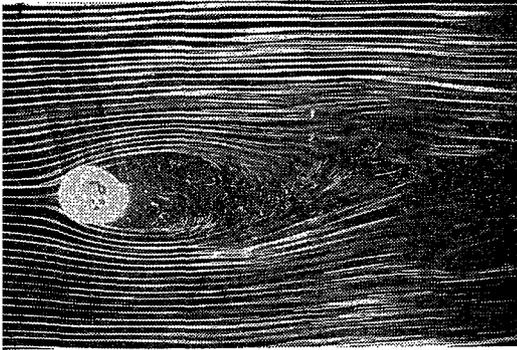


写真 1 水素気泡法による円柱のまわりの流れの可視化
Photo. 1 Flow visualization around a column by hydrogen bubble method

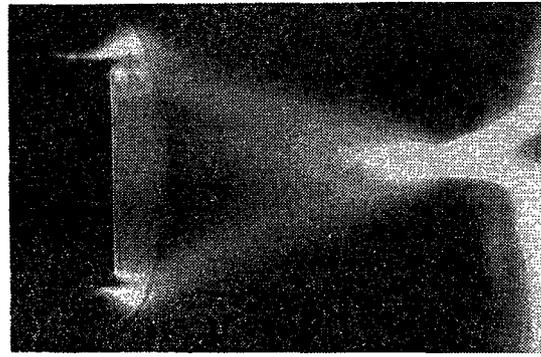
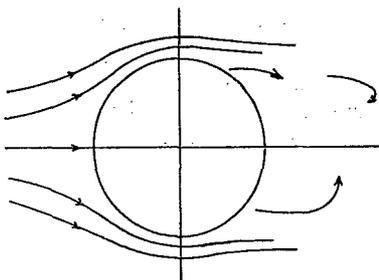
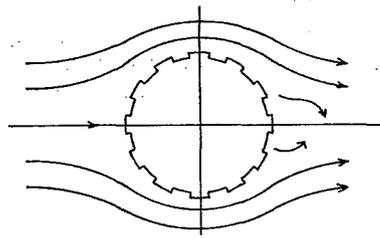


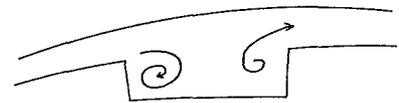
写真 2 放電法による楔模型まわりの衝撃波の可視化
Photo. 2 Shock wave visualization around a wedge-shaped model by electric discharge method



第1図 なめらかな円柱のまわりの流れ
Fig. 1 Flow around flat column



第2図 ディンプル付円柱まわりの流れ
Fig. 2 Flow around column with dimple



第3図 ディンプル内の流れ
Fig. 3 Flow in dimple

密度

密度は速度に次いで多い対象である。シュリーレン法などの光学的方法による可視化がある。

写真2は放電法によって可視化した楔模型まわりの衝撃波である。写真は楔を正面から見たもので、流れの方向から衝撃波断面を撮影している。

境界形状

物体後のウェーク等流れの形状の可視化である。写真1は円柱背後にウェーク形状が観察される。

温度

感温液晶法・サーモグラフ法などの手法があるが、可視化の例は極めて少ない。

圧力

流体力学では重要なパラメーターであり、特にエンジンリングにおいては物体が流体から受ける力または、物体が流体に及ぼす力（力は圧力を物体まわりに積分したもの）が重要であるが、圧力の可視化はまだほとんど行われていない。

可視化の応用例

第1図はトレーサとして色素を用いて可視化実験を行ったものを図示した。なめらかな円柱の場合、円柱の後方で流れは円柱からはく離し、後流といううずをもった速度の遅い領域ができる。この後流部をウェークというが、ウェークが大きいほど流体抗力が大きくなる。

第2図は円柱にディンプルを付けたものであるが、この場合ははく離点が後にくる。ウェークも非常に小さくなり

流体抗力が小さくなる。ゴルフボールのディンプルは流体抗力を弱めて、より遠くへ飛ばすために工夫されたものである。かりにこのディンプルがないと飛距離は $\frac{1}{2}$ 以下になることは、実験的にも計算上からも証明できる。

第3図はディンプル内流れの可視化である。（実験は円柱に2次元の溝を掘ったものである。）ディンプル内で渦を巻き、外側の流れと後ろ側で合流している。ディンプル内で渦を巻くような形状のディンプルを作ると抵抗は小さくなる。

以前は表面がザラザラだと乱流ができてはく離が小さくなり、抵抗が小さくなると考えられていたが、現在では、はく離泡ができて抵抗が小さくなることがわかってきた。

むすび

流れの可視化というのは重要であり、ただ単に画像を定性的に見るだけでも価値があるが、最近では画像処理することによって定量化したデータが得られ、流れの解明のための主要な手段となりつつある。

現在可視化における最大の課題の一つは圧力の可視化である。また高速気流の場合、慣性力が大きいとトレーサが主流にフォローしないため密度以外の可視化はまだ達成されていない。

非定常流れは乱流も含め、これからの問題である。また3次元流れは定性的に見るには楽であるが、データ化するには非常に困難である。これらの可視化は今後の重要な課題である。