

計算風洞と工学実験

機械工学科 原口 荘太郎

1. はじめに

流体実験室における工学実験は、流体として水を用いる水力実験、空気を用いる空力実験を従来から行って来た。ここ数年は、水力実験と空力実験に加えて、二次元ではあるが、パソコンを用いた計算風洞⁽¹⁾を工学実験を取り入れている。

計算風洞は、ナビエ・ストークス方程式など流れの一般式を離散化して、所与の境界条件および初期条件の下に数値解を求め、数値解を基に流れの可視化まで行って調べるシステムである⁽²⁾。コンピュータ性能の高速化と大容量化に伴って、計算風洞が流体现象の解明に利用され始めている。計算風洞はパソコンでも利用可能になりつつある。

2. 各種の流れ

任意形状の流路内の流れ、任意形状の物体の周りの流れが計算できる⁽¹⁾。計算した数例について流線図を以下に示す。黒い部分は物体、灰色の曲線は流線を表す。

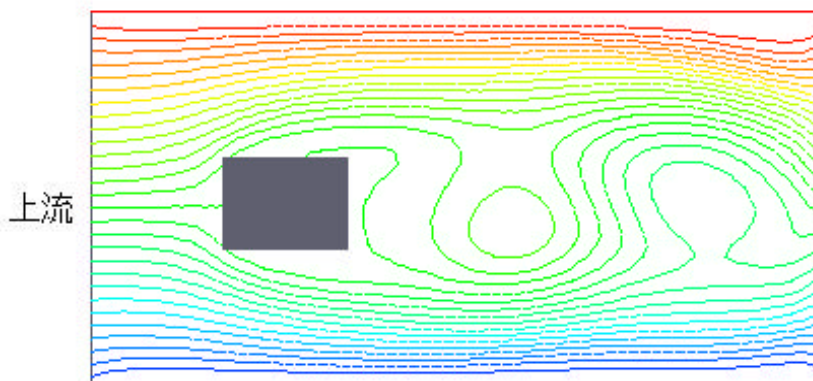


図 1

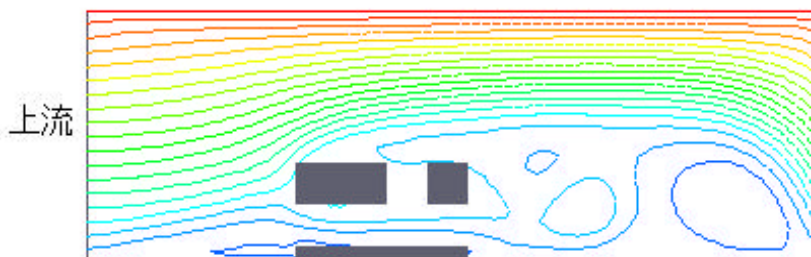


図 2

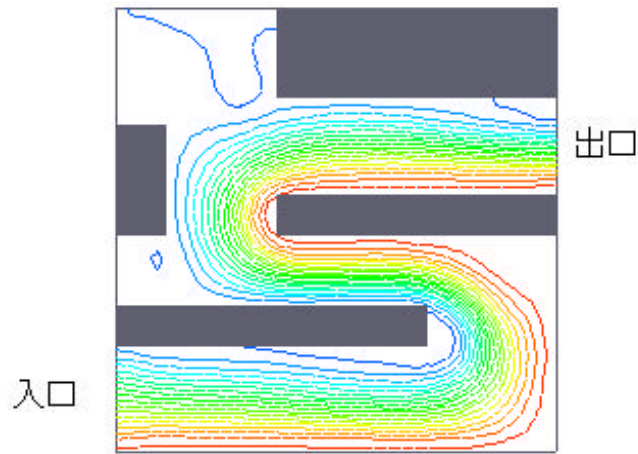


図 3

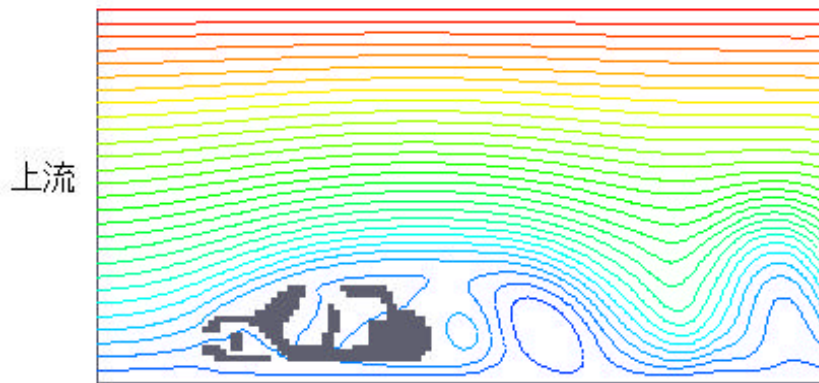


図 4

3 . 円柱を横切る流れ

円柱を横切る流れは、円柱表面上に加速流れ（減圧流れ）や減速流れ（増圧流れ）の部分を生じ、加速流れにおける境界層の発達、減速流れにおける境界層の発達と剥離現象、剥離現象に伴う渦の生成、生成した渦の表面からの離脱現象、円柱後方の渦列、等を含んでいる。境界層などに対する遠心力の影響も調べ得る。円柱に当たる流れのレイノルズ数を変更すれば、円柱表面の境界層や円柱の後流は層流にも乱流にもなる。円柱を横切る流れは、流れの基本メカニズムを調べる格好の材料になる。それゆえ、実験による多数の研究が行われて来た。

計算風洞を用いれば、実験によっては取得が困難なデータ、時間的にも空間的にも詳細なデータを取得できるので、それらのデータ（計算結果）を用いて流れの基本メカニズムを実験よりも詳細に知ることができる。レイノルズ数 10^5 の計算例（計算格子：周方向 256 × 半径方向 128（壁に近いほど密）、時間刻み： 4×10^{-4} 無次元時間）を以下の図に示す⁽¹⁾。図 5 の曲線は等圧線、図 6 は図 5 の円柱表面圧力を示す。図 7 は図 6 以降の 1 無次元時間の抗力係数の変動（この間の平均値は 1.20）を示す。円柱表面の境界層は未だ層流である。

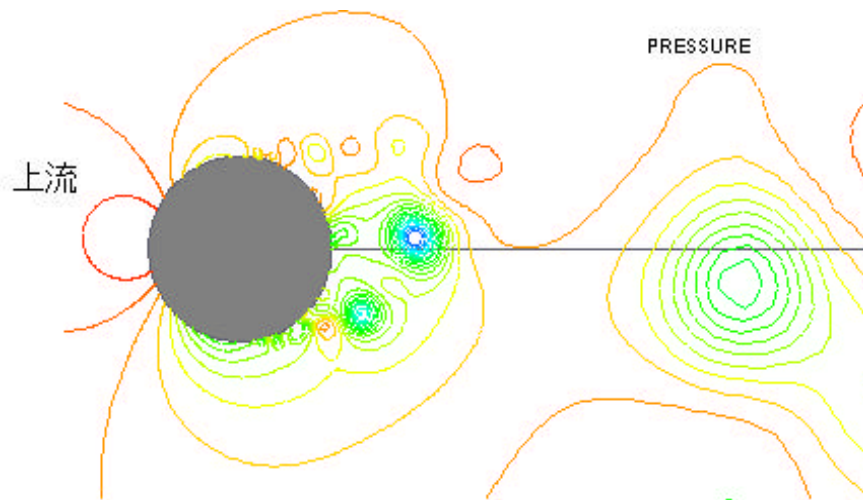


図5 円柱まわりの等圧線（時刻 T）

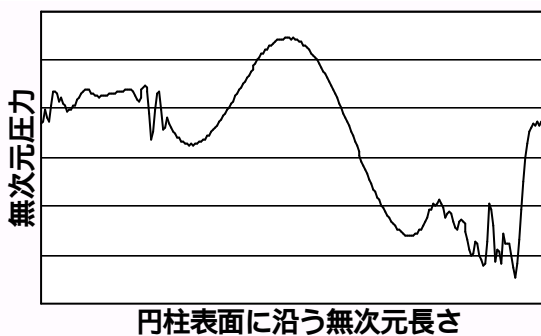


図6 円柱表面の圧力分布（時刻 T）

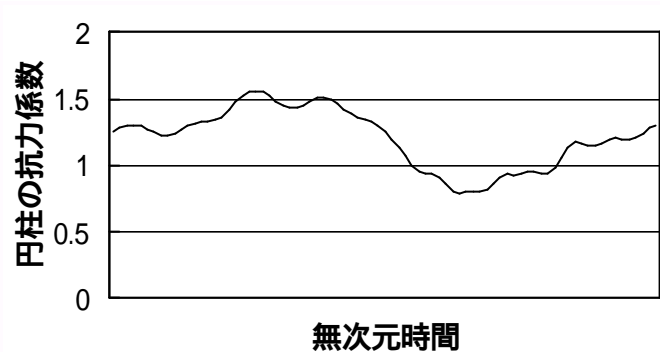


図7 抗力係数の変動（1 無次元時間）

4. おわりに

計算風洞には構造計算格子を用いる差分法、有限要素法、非構造計算格子を用いる有限体積法、計算格子を用いない MPS 法などの粒子法、格子ボルツマン法などがある⁽²⁾。後者ほど、複雑構造物の周りの流れ、複雑流路内の流れ、複雑に移動する界面をもつ流れなど、複雑な流れの計算が可能になっている。ただ、複雑な計算になる程より高速・大容量のコンピュータを必要とする。流体計算に特化したベクトル演算・並列計算の機能を搭載したパソコンが作成されれば、計算風洞の実用性はさらに増す。

実際の流れを用いる実験には模型作成・計測・評価に多くの経費・労力・時間を要するし、複雑な流れの実験になれば計測・評価が困難になる。計算風洞を用いる実験が普及しつつある理由である。ただ、「乱流」は計算風洞でも「最後の秘境」になっている。

(1) FLOW SIMULATOR Hyper NAGARE (風上 3 次精度差分法)、2D-F2 & 2D-F3、数値流体力学研究所、1996。

(2) たとえば、越塚誠一、数値流体力学、培風館、1997。