

試 作 風 洞 の 特 性

田 島 勲*・原 田 彊**・蘇 武 栄 治***

The characteristic of a wind tunnel on a trial basis

Isao TAJIMA, Tsuyoshi HARADA, and Eiji SOBU

要 旨

吸込型風洞を試作し、その特性について実験し考察した。

Synopsis

This paper reports on experimental results about the flow around a circular cylinder and an aerofoil in a wind tunnel.

1. 緒 言

著者らはこれまで、水の流れにおける「キャビテーション」をテーマに研究⁽¹⁾を重ねてきた。この現象は、学生に短時間の授業で理解を求める上で最も難しい現象の一つであり、35mmカメラやオーディオ機器、ビデオカメラ等による映像や音を、教室での現象説明の際に教材として利用してきた。しかし水を扱う場合、実験装置における模型交換や観測および装置の保守等の面で困難なことが多いことや、広い範囲において安定した流れの条件を選ぶことが困難であるため、学生に教材として提示する場合も単調になりがちであった。

流体工学の授業は4、5年生において通年週2時間、学生実験の中で4、5年生は前期3週あり、各2テーマの合計4テーマについて実験を行う。他に5年の機械設計製図では、現在遠心ポンプを課題として選んでいる。これらの講義の内容の中で学生が理解しにくい現象がいくつかあり、説明にこまることがある。ベルヌーイの定理とその応用、うず運動、層流・乱流、損失、境界層の剝離、キャビテーション、揚力・抗力(物体回りの流れ)などは、学生にとって理解しにくい現象のようである。

ある。そのために最近では流れの可視化が盛んで、写真やスライドにその現象を記録した例⁽²⁾が多く、著者らも利用している。しかしあくまでも一般的な説明であり、その映像に動きはなく、学生の疑問に対応するには充分ではない。学生の疑問の説明に役立つ教材を容易に手作りできる条件が必要である。風洞は実験範囲が広く得られること、流れの安定性の面で優れており、また模型の実験が容易で観察しやすい点から現在の水を扱う回流装置に比べ教材作りに向いている。そこで、流れとして空気を扱う風洞による実験装置を作成した。システムとして購入すると高価なため装置は全て実験室において作成され、費用としては樹脂板、基礎枠材、接着剤、送風機等の材料費のみで済んだ。ここにその特性実験の結果とその考察を報告する。

2. 実 験 装 置

実験室に設置する条件から、装置の大きさ(入口面積、絞り長さ、観測部長さ)に制約があり、また実験室全体の容積から流れの安定性を保つためには最大風速もあまり大きくすることは出来なかった。

実験室の広さは16m×9m×3.5mであるが、実験室内にはすでにいくつかの実験装置が設置されているため風洞の位置とその設置面積はおおよ

* 助教授 機械工学科

** 教 授 機械工学科

*** 技 官 機械工学科

そ決まっていた。試作した風洞の全体図を図1、2に示す。全長4,800mm、吸込型で全体として実験室内に設置できる大きさのため、あまり大がかりな装置を作ることには出来なかった。観測部は模型の大きさやその影響、圧力測定、流れの乱れを考慮して今回は350mm×350mm×1,200mmとした。

絞り部は正弦波曲線を利用し、別に治具を作り製作した。装置のほとんどは3mm、10mmの樹脂板を使った。樹脂板の厚さがわずかに違うため組立の段階で観測部断面精度がよくなるように注意した。接着にはいろいろ試した結果ジクロロメタンとアクリルダインB、Cを用いた。入口整流部には金網と防塵フィルターを併用した。送風機は全体が小型で効率がよく2.2kW軸流送風機を選んだ。送風機回転数を可変周波数電源装置で制御することによって任意の風速が得られる装置となっている。平均風速の監視は送風機回転数、ベーン式風速計によって行われ、流れの安定性を確認しながら実験を行い、またパソコンに直接入力して記録も可能とした。

翼模型は樹脂板、円筒は塩ビ管でそれぞれ作ら

れ、表面は非常に滑らかである。実験はレイノルズ数 $Re=3.52\times 10^5$ で行った。

実験に使用した翼模型はゲッチンゲン623型である。圧力分布の測定は模型表面にあけられた直径0.8mmの圧力測定孔を用いて測定した。圧力の測定には、ベッツ型微圧計および傾斜微圧計を用いた。風速測定はJIS標準L型ピート管を用いた。

3. 実験結果とその考察

3. 1 風速分布、脈動

実験に先だって、模型を取り付けない状態で観測部の速度分布を測定したが、流れの脈動と乱れについて問題のない範囲で実験できる事を確認した。

観測部流れの風速分布について実験した結果の一例を図3に示す。横軸は壁面からの距離である。実験範囲は観測部において最大レイノルズ数 $Re_{max}=3.52\times 10^5$ であった。壁面から約50mmまでの範囲で速度勾配が認められ壁面の影響があることがわかった。また流れの脈動について傾斜微

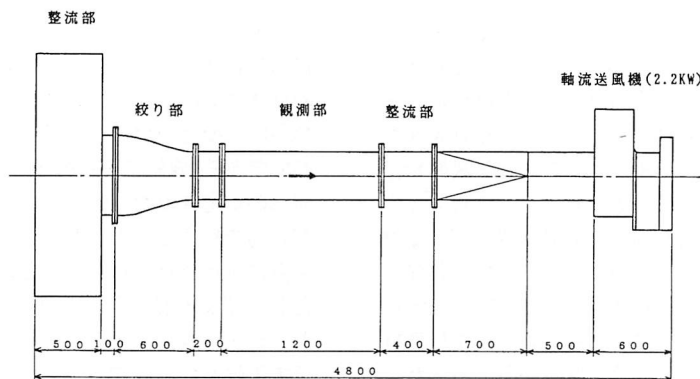


図1 全体図

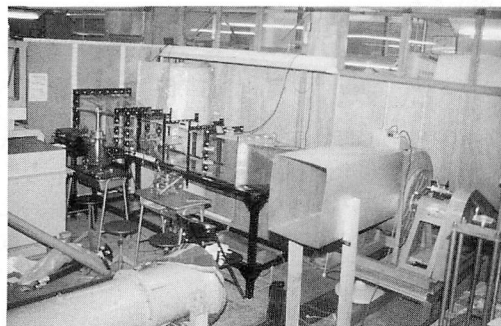


図2 装置写真

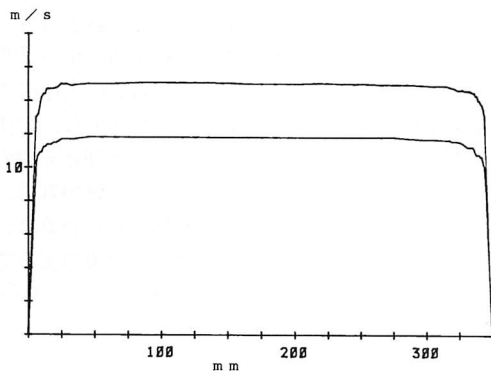


図3 速度分布

圧計とベッツ型微圧計によって調べたが、このことについては壁面から約50mm以内でわずか確認されただけであった。実験は模型の無い状態であり、実際の実験の際は模型を支えるための部分や導圧チューブがむき出しになる部分も想定されるが、それらの影響を考慮しても安定した流れの観測断面が得られることが確認された。

3.2 円柱

最も基本的な流れのパターンを持つ円柱によって物体周りの流れを確認した結果を図4に示す。レイノルズ数が小さいため層流剥離の発生した結果となったが、文献⁽³⁾⁽⁴⁾に見られるように $\theta = 75^\circ \sim 80^\circ$ において層流境界層の剥離が起こっている。また圧力変動においても剥離前と思われる $\theta \leq 76^\circ$ では安定した値を示し、この角度を越えるとマノメータのメニスカスが急に変動し始めた。図4に示されている理論曲線や多くの文献と比較して今回実験で確認された円柱表面の圧力分布は正しいと思われる。また、測定に必要な時間やその内容から学生実験のテーマとして適当であることも知ることができた。

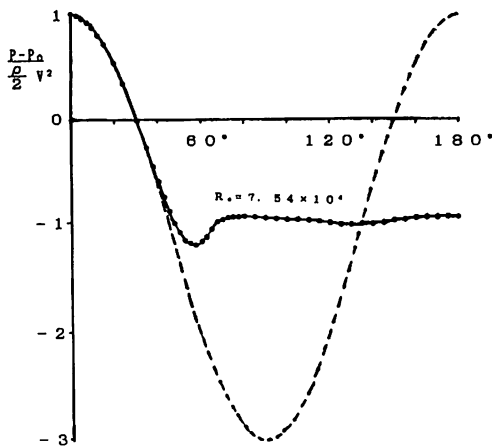


図4 円柱表面圧力分布

3.3 翼模型

これまでの学生実験では翼の特性について、傾向を知ることが出来たが、流れが不安定なため翼の特性を明確にすることが出来なかった。

試作風洞による翼の表面圧力分布の数例を図5に示す。実験室にある翼模型のため縦横比は $\gamma = 1.88$ と小さかったが、繰り返し実験を行った結果、図6の特性曲線が得られた。迎え角 $\alpha = 17^\circ$ では、

後縁から $1/5L$ の位置で剥離しているがこの直前に揚力係数の最大値 C_{Lmax} があると推察できる。 α が約 17° を越えると急に翼上面における剥離現象が進行し、揚力 C_L が減少し抗力 C_D が増加する様子も図から読み取ることが出来る。

なお $dC_L/d\alpha = 0.0784/\text{deg} = 4.49/\text{radian}$ となり文献等⁽⁵⁾⁽⁶⁾の値とほぼ一致した。

3.4 模型周り流れの可視化

模型の表面に絹糸(直径約0.3mm)を接着し、流れの様子を視覚的に捕らえるため写真に撮影($\alpha = 17^\circ$)したのが図8である。シャッタースピード $1/60$ で撮影したもので、糸の先端が振動し、更に翼先端から $1/2L$ あたりから逆流領域が観察され、後端はどうずが激しくなっている⁽⁷⁾。観察によると明らかに $\alpha = 16^\circ$ を越えると翼上面後端の糸に乱れが生じ始め、図7の C_{Lmax} と迎え角ではほぼ一致した。またその後、急速に翼上面後端から剥離領域が広がっていく様子も観察できた。また実験の際にはビデオカメラの応用も可能なことも確認できた。ビデオカメラの有効性は以前にも報告⁽⁸⁾したが、その特徴として

- 1) 記録・再生が容易
- 2) シャッタースピードが1画面 $1/60$ 秒
- 3) コマ送りが可能
- 4) 画面を選択した上で35mmフィルムに記録できる
- 5) シャッタースピードとして他に $1/1,000$ あるいは $1/2,000$ 秒がある

等があって、35mmカメラとまた違う使い方が考えられる。ビデオカメラにクローズアップレンズを装着し撮影したところ、翼表面の流れの様子が簡単に再現でき、画像も鮮明で学生が授業の内容や実験の結果を理解する上で、手軽に役立て得られると思われる。

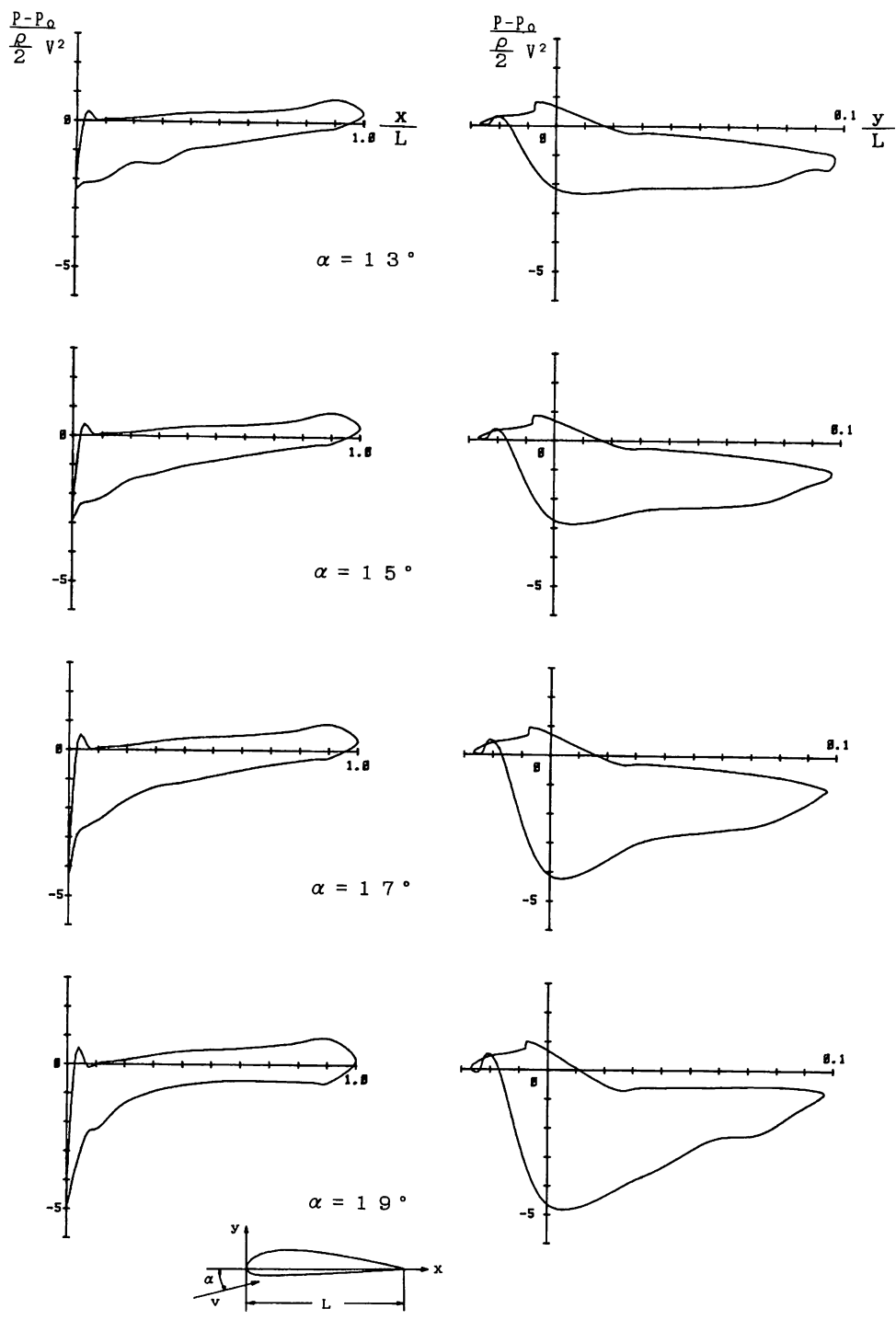


図5 翼表面圧力分布

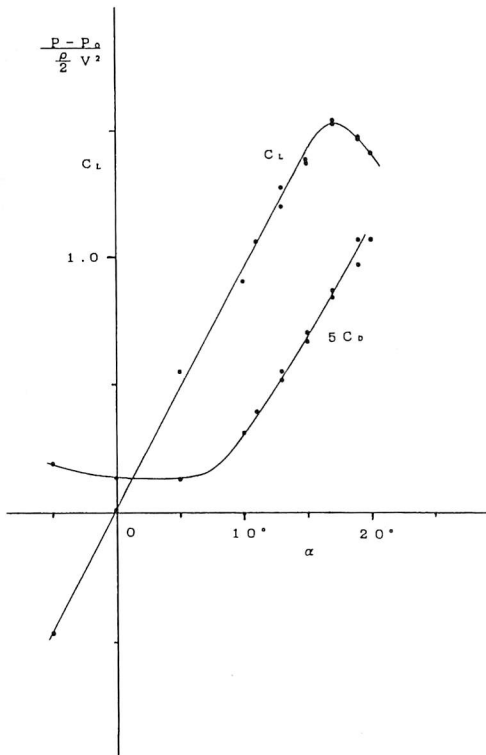


図6 翼の性能曲線



図7 翼表面におけるタフトの振舞い

4. 結 び

実験室において吸い込み型風洞を試作し、特性について実験した結果次のことが判った。

- 1) 風洞内の観測部における流れの乱れ（一様性と脈動）については問題がない。
- 2) 模型実験に壁面や導圧チューブ等の影響のない断面を確保できる。
- 3) 基本的な模型実験の結果から試作風洞は、学生実験に充分利用できる。
- 4) 風速条件の上限が小さいため臨界レイノルズ数より小さい条件となった。
- 5) 模型周りの流れの可視化が可能で教材作成に有効である。
- 6) 将来、測定のコピュータ処理が可能な実験装置である。

今後、実験条件がより広く得られるように送風機や絞り部、観測部断面等で改善したいと思う。

最後に本報告の実験装置の作成にあたっては、第24期卒業生である井上勲、今井昌平、本間裕三の三君に協力して頂いたことに深く感謝いたします。

文 献

- (1) 田島・原田，苫小牧高専紀要 第19号，1984
- (2) 機械学会編，「スライド集 流れ」，丸善，1984
- (3) 遠藤 剛，旭川工業高等専門学校研究報文 第17号，1979
- (4) 谷・小橋・佐藤共著，「流体力学実験法」岩波書店，1977
- (5) 村田・小川・三宅共訳，「ポフ 機械工学における 空気力学実験法」朝倉書店，1969
- (6) 谷 一郎著，「流れ学」岩波書店，1968
- (7) 浅沼 強編，「流れの可視化ハンドブック」朝倉書店，1979
- (8) 伊藤・田島・佐藤・藤井・廣川・小鹿・石川・嵯峨，苫小牧高専紀要 第23号，1988

(平成3年11月29日受理)

