

【物体周りの流れの計測および可視化による観察】

1. はじめに

私たちが休むことなく吸っている「空気」、生命および生活維持に欠かすことができない「水」は「流体(fluid)」の代表格である。「流体力学(流れ学)」はこれらの流体に対する力と運動の関係を調べるものである。座学だけだと「式が多くて難しい」、「何をやっているのかさっぱりわからない」と感じる人も多いが、その本質は実現象のなかにある。本実験では、「流れを観る」実験を行う。「観る」には「見る」も含まれるが、さまざまな測定装置を使って流れの状態を明らかにすることも含まれる。対象は小型風洞内に設置された円柱である。円柱は簡単な形状であるが、その周りの流れ場(flow field)は非常に複雑であり、流体力学における重要な現象が表れる。

2. 実験概要

1班を3グループにわけて、以下の実験を行う。

- ① ピトー管による流路内流速分布の測定
- ② 煙風洞による円柱周り流れ場の可視化
- ③ 円柱表面の静圧分布測定

3. 実験の説明

3. 1 実験1：ピトー管による流路内流速分布の測定

3. 1. 1 目的

- ・ ピトー管の原理および使い方を覚える
- ・ マノメータの原理および使い方を覚える
- ・ ベルヌーイの法則を理解する
- ・ 連続の式を理解する

3. 1. 2 ピトー管とは？

ピトー管は、流れの中のある点における圧力を測定し、その値を用いて「流速：流体の速度」を計算するものである。圧力を速度に変換する原理は「ベルヌーイの法則」と呼ばれ、次節で説明する。

図1にピトー管の概略図を示す。圧力測定穴が「先端」と「側面」にある。これら2つの圧力測定値は、圧力センサにより測定される。ピトー管は構造が単純であるため、流体の実験や航空機などに広く用いられている。飛行機の翼先端や胴体側部からこのような管が突き出ていることがあるので、注意して見ておくと良い。

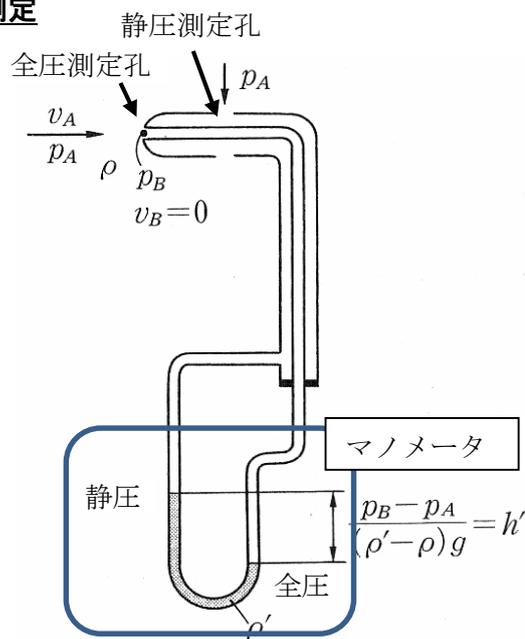


図1 ピトー管

圧力測定 (2カ所)

ピトー管



ベルヌーイの法則

流れの速度

3. 1. 3 ベルヌーイの法則

ピトー管で測定した2種類の圧力からどうやって速度が計算できるのか？ そのためには、流体力学における基本的な法則の一つである「ベルヌーイの法則」を知る必要がある。といっても考え方は、高校の物理で習った「エネルギー保存の法則」と同じなので、すぐに理解できるはず。運動学における「エネルギー保存の法則」は、言葉で書くと、

$$\underline{[運動エネルギー] + [位置 (ポテンシャル) エネルギー] = [一定]}$$

である (ただし、摩擦を考慮しない)。これを流体に当てはめて考えると、[運動エネルギー] は [動圧] に相当する。動圧というのは、流体が運動することによって生じる圧力で、流体が運動しなければ発生しない。これは例えば、高速で走っている自動車の窓から手を出すと、速度が増すに従って手に強く感じる力である。式で表すと、 $(1/2)\rho u^2$ となる。ここで ρ は密度 kg/m^3 、 u は速度 m/s を示す。つぎに、[ポテンシャルエネルギー] に相当するのが [静圧] である。重力場においては高い位置に物体を置くと、それだけ位置エネルギーが上がり、潜在的な仕事能力 (地面に落とした時の仕事) が高くなる。「潜在的な仕事能力」を「ポテンシャル」と呼ぶ。流体の場合、静圧 (いわゆる「圧力」と呼んでいるもの) が上がるとそれだけ仕事をする能力が高くなる。以上より、「ベルヌーイの法則」は以下のように書き表すことができる。

$$\underline{[動圧] + [静圧] = [一定]}$$

動圧と静圧の和は流れ場中で一定となり (保存されるという)、それを「全圧」と呼ぶ。ここで、静圧を p_0 , $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ 、全圧を p_t , Pa と表すと、ベルヌーイの式は以下ようになる。 (ただし、この式は非粘性流体に対して成り立つ。運動学において摩擦を考慮しないことに相当する)

$$\frac{1}{2}\rho u^2 + p_0 = p_t \quad (1)$$

3. 1. 4 速度測定原理

式 (1) 中には、「静圧」「全圧」という2つの圧力項がある。また、残りの動圧の項には速度に関係している。ここから、静圧と動圧を測定し、ベルヌーイの式によって動圧を求めれば、流れの速度 (流速) が計算できる。

「静圧」は我々が肌で感じるいわゆる「圧力」であるから、圧力センサを流れの中に置いてやればよい。一方の「全圧」は概念量であるから、直接には計れない。そこで、式 (1) において、速度 u を「ゼロ」にした場合を考える。このとき、[静圧] = [全圧] となるのがわかる。すなわち、「速度がゼロの場所で計った静圧は全圧に等しい」ことになる。では、速度がゼロの場所はどこか？ それは、流れがせき止められた「ピトー管先端」である。かくして、ピトー管先端に開けられた穴を「全圧孔」、側面に開けられた穴を「静圧孔」と呼び、それぞれ全圧と静圧を測定する。

我々が求めたいものは速度であるから、式 (1) を u について解くと、以下のようなになる。

$$u = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_t - p_0)} \quad (2)$$

3. 1. 5 実験装置

(i) 風洞概略

図2に実験装置の概略図を示す。このような装置を風洞 (Wind Tunnel) と呼び、流体力学において最も重要な実験装置の一つである。ファンが空気を吸い込んで上方のチャンバ (貯気槽) に送り込み、ここから下方の測定部に向かって流路が狭まりつつ流れていく。測定部は開放型であり、ここに風洞模型等を設置して実験をすることができる。測定部を通過した空気は下方

から後方へ送られ、排気される。

(ii) マノメータ

マノメータとは、空気の圧力を液柱の高さに変換する装置である。本装置では圧力が上方から導入されるので、圧力が高いほど液柱界面が下がる。本実験装置では図3に示すような多管式水柱マノメータが使用されている。上部から導入された圧力に応じて水柱の高さが変動する。着色された水は左側の液体タンクに入っており、タンク内水面位置が大気圧に対応する高さとなる。また、目盛りは図4に示す通り、上方から数値が振られているため、圧力が高くなり水柱が下がるほど高い数値を示す。

ここで、管 A は大気に解放されているため大気圧 p_a を示し、管 1 の圧力 p_1 は大気圧より高い圧力状態にあることがわかる。大気圧と管 1 との圧力差は、水柱の高さの差 Δh 、 m と水の密度 ρ_w 、 kg/m^3 、重力加速度 g 、 m/s^2 を用いて、式 (3) のように表すことができる。

$$p_1 - p_a = \rho_w g \Delta h \quad (3)$$

大気圧との差圧のことを「ゲージ圧」と呼ぶ。また、 p_1 の「絶対圧」は、(4) となる。

$$p_1 = \rho_w g \Delta h + p_a \quad (4)$$

ピトー管を使用した流速計測の場合には、管 1 にピトー管で計測した全圧 $p_1 = p_t$ を管 2 に静圧 $p_a = p_0$ を導入する。水柱の高さの差より全圧と静圧の差 (= 動圧) が計算でき、式 (2) に代入することにより空気の流速を計算することが出来る (式 (5))。

$$u = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_t - p_0)} = \sqrt{\frac{2\rho_w g \Delta h}{\rho}} \quad (5)$$

また、式 (3) において液中の高さに相当する以下の物理量をヘッドもしくは水柱ヘッドと呼ぶ。

$$h = \frac{P}{\rho_w g} \quad (6)$$

(ii) 面積が変化する流路と連続の式

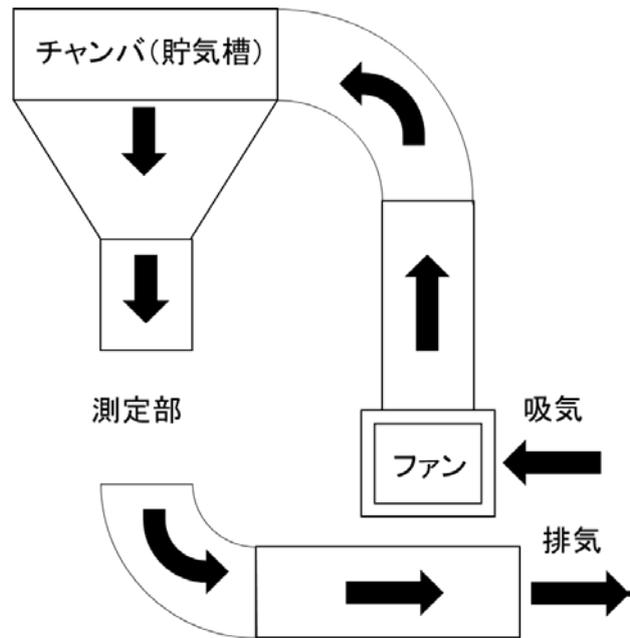


図2 実験装置 (風洞) 概略図

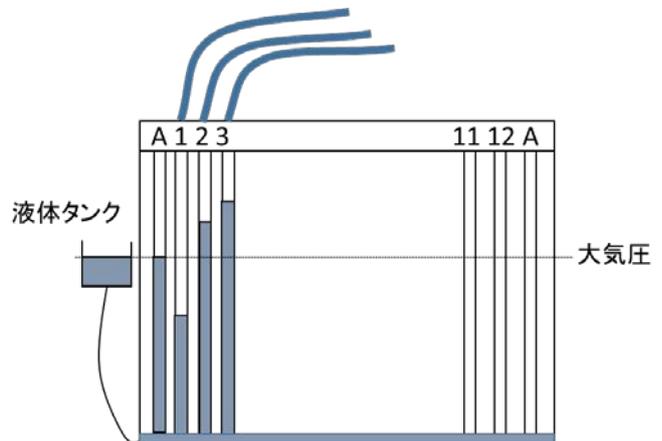


図3 マノメータ概略図

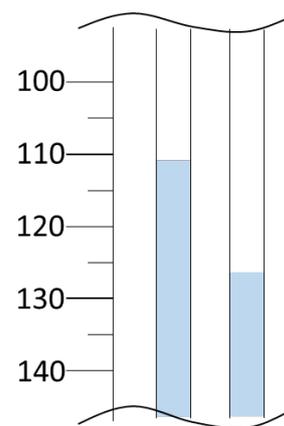


図4 マノメータ目盛

本実験では、図5に示すような収縮拡大管を測定部に装着して実験をする。上方からの空気流れは断面積収縮部で面積が絞られ、「スロート(Throat)」と呼ばれる断面積最小部を通過する。スロート通過後は拡大した流路を流れる。このように、断面積が変化する流路を流体が流れる場合、断面積変化に応じて密度と速度が変化する。密度変化が無視できると仮定する(非圧縮流れの仮定)と、体積流量 $Q, \text{m}^3/\text{s}$ (=【流速】×【断面積】)は流路のどこをとっても一定で(保存されるともいう)あり、式(7)のように表される。ただし、ここで流速を u 、流路面積を A とし、スロート部における値を下付添え字 t で表す。

$$Q = uA = u_t A_t \quad (7)$$

式(7)を「連続の式」と呼ぶ。ここで、体積流量が一定であることから、スロート部の流速と断面積を基準に考えると、式(8)の関係式が得られる。

$$\frac{u}{u_t} = \frac{A_t}{A} \quad (8)$$

本流路は奥行きが一定であるため、面積比は幅 B の比で表すことができ、式(9)のようになる。

$$\frac{u}{u_t} = \frac{B_t}{B} \quad (9)$$

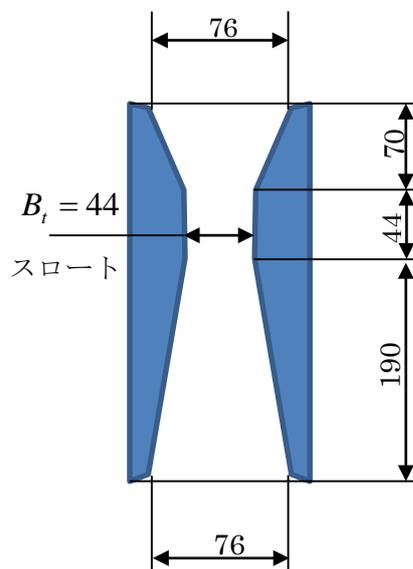


図5 収縮拡大ノズル

流路内の任意の位置における流路幅は図5より計算できるため、速度比の流路に沿った変化が計算できることになる。

式(9)によって示される速度比はベルヌーイ式(式(2))からも導出することができる。すなわち、計測された全圧と静圧の差から流速を求め、各位置における流速 u をノズル部における流速 u_t で割れば良い。

★本実験では、連続の式(断面積変化)から得られる速度比(式(9))とベルヌーイの式から得られる速度比を比較検討する。

3. 1. 6 実験方法

実験1では流路中央に沿ってピトー管を上下に移動させて流路内の動圧分布を計測し、動圧から流速を計算することにより流速分布を得る。

- ① 図6のようにピトー管を設置し、チャンバ圧 p_c を管1に、ピトー管全圧 p_t を管2に、ピトー管静圧 p_0 を管3にそれぞれ接続する。
- ② 風洞動作バルブ(正面奥)が水平になり「バルブ閉」状態であることを確認し、風洞動作スイッチを入れる。
- ③ 風洞動作バルブをゆっくりと垂直方向(流れ方向と平行)に回し、全開まで回しきる。
- ④ ノズル入り口を原点として、以下の位置にピトー管先端を設置し、その時の計測値(水柱高さ)を管A, 1, 2, 3について記録する。
【ピトー管位置, mm】4, 16.5, 29, 41.5, 54, 66.5, 79, 91.5, 104, 129, 154, 179, 204, 229, 254, 279, 304

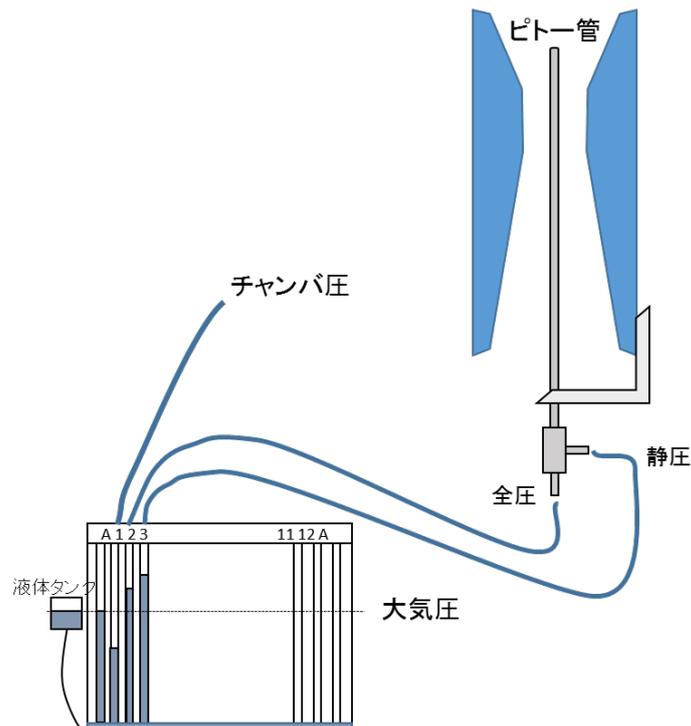


図6 ピトー管計測

- ⑤ 計測が終わったら次の班が計測を開始する。
- ⑥ データ表にまとめる。大気圧 p_a (管 A), チャンバ圧力 p_c (管 1), 全圧 p_t (管 2), 静圧 p_0 (管 3), 動圧 p_d (全圧-静圧) を「水柱高さ, mm」で表記せよ。なお, ピトー管静圧孔はピトー管先端 (全圧孔) の位置より 25 mm 下方にあることに注意せよ (図7 参照)。すなわち, ピトー管先端位置を 4 mm に合わせたときは, 静圧孔の位置は 29 mm である。
- ⑦ 横軸にノズル入り口からの距離 x , mm, 縦軸に水柱高さ, mm をとったグラフを作成し, 全圧, 静圧, 動圧をプロットせよ (プロット点とプロット点をつなぐ線は書かない)
- ⑧ 実験時の気温 (風洞に付属の温度計), 気圧 (実験室入り口横の気圧計) を記録しておくこと

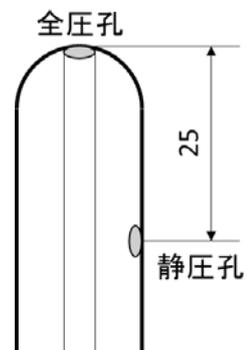


図7 ピトー管先端部

3. 1. 11 レポート課題 (結果)

- ① データ表 (表は表 1 などと番号をつけてレポート中に書く)
 - i. 実験で得られた高さの表を作成し提示する。
 - ii. 高さを圧力 (ゲージ圧) へ変換した表を作成して提示するとともに, 動圧から計算した流速の計算値も表中に追加しておく。ただし, 水の密度を 998.2 kg/m^3 , 重力加速度を 9.81 m/s^2 とせよ。空気の密度は実験時の気温と気圧から状態方程式により計算し, その値を示すこと。
 - iii. ノズル入り口からの距離 x に沿った流路幅 B を計算する (ノズル断面はすべて直線で変化しているとする)。また, スロート部幅 B_t との比 B_t/B も計算しておく。
 - iv. スロート部における流速 (最大流速値) u_t とノズル断面各部における流速 u の比 u/u_t を計算しておく
- ② グラフの作成 (全て手書きでグラフ用紙に記入のこと)
 - 1 枚目: 横軸がノズル入り口からの距離 x , mm, 左側縦軸が圧力 (ゲージ圧) Pa で,

プロットするのは、全圧、静圧、動圧とする。同じプロットに右側縦軸をノズル幅 B , mm としてノズル幅分布（ノズル形状）を記入せよ。

2 枚目：横軸にノズル入り口からの距離 x , mm, 左側縦軸が流速 u , m/s とし、流速分布をプロットせよ。同じく右側縦軸にノズル幅分布を記入せよ。

3 枚目：横軸にノズル入り口からの距離 x , mm, 縦軸に流速比をとり、プロットするのは式 (9) による流速比 $B_i/B (= u/u_i)$ とベルヌーイの式から求めた u/u_i とする。

3. 1. 12 レポート課題（考察）

- ① ノズル断面積が入り口から変化するにつれて全圧・静圧・動圧が変化する。断面積がどのように変化すると、それぞれの圧力はどのように変化するのか、また、なぜそのような関係となるかを自分で調べて理由を述べよ。
- ② ノズルに沿った静圧変化と流速変化について述べよ。また、なぜそのような関係となるかを自分で調べて理由を述べよ。
- ③ ノズルに沿った流速比変化について連続の式（断面積比）から求めた速度比とベルヌーイの式から求めた速度比の相違について述べよ。またもし違いが生じるならば、なぜそのような相違が生じるかを自分で調べ、その原因となる事項を指摘し、その原因がどのように作用して相違が生じるかを論理的に述べよ。流れ学の授業でまだ習っていない事項に関しては各自流体力学の教科書や参考書により自習せよ。

3. 2 実験 2：煙風洞による円柱周り流れ場の可視化

3. 2. 1 目的

- ・円柱周りの流れの状態を観察し、理解する。

3. 2. 2 可視化とは？

実際に風洞内に風を流してみてもわかるように、空気の流れは目に見えない。しかし、風の強い秋の日に地面を舞う枯れ葉や、雨の日の高速道路で車の後方にできる細かい水滴を見ると、「流れの状態」が目に見えるようになる。本実験では、風洞の中に油を蒸発させて発生する「煙」を流し込み、円柱周りの流れ場を見えるようにする、すなわち「可視化」する。

3. 2. 3 実験方法

煙風洞の操作は必要ない。円柱周りの流れのようすを図 8 に「スケッチ」する。

3. 2. 4 円柱周りの流れ：理想化された状態と実際の状態

円柱周りの流れ場は、ある理想化された状態下では解析的な解が得られている。その条件とは、2次元、非粘性である。現実の流体には必ず粘性が存在し、かつ流れ場の状態に大きな影響を及ぼすため、この条件は非常に理想的である。図 9 に、このときの流れ場の様子を示す。図から分かるように、上下および左右で対称な流れ場となる。さて、自分のスケッチと見比べて分かるように、この流れ場は現実の状況とは大きく異なる。一番大きな違いは、円柱後方の流れ（後流と呼ぶ）にある。この原因は粘性のあるなしに起因する。粘性がない場合には物体表面で流れが固着することがないので、円柱後方までスムーズに流れることができるが、粘性がある場合には流れが後ろまで回り込むことができず、円柱表面のある点で「剥離」する。この後流域には渦を含んだ複雑な流れ場が形成される。

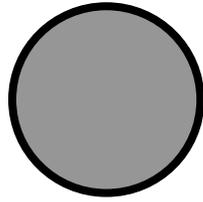


図 8 流れ場スケッチ

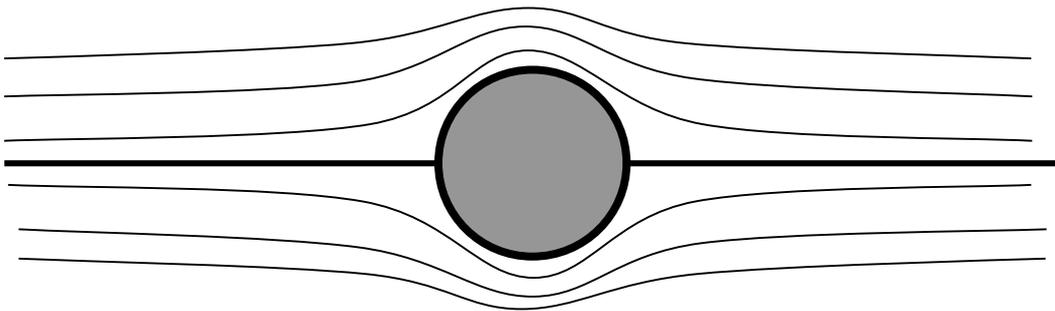


図 9 円柱周り流れ (完全気体)

3. 2. 5 実験結果

流れ場のスケッチを示し、空気が円柱周りをどのように流れていくか、またどのように剥離し、剥離した後どのように流れていくかを詳しく説明せよ。

3. 2. 6 考察

完全流体 (図 9) と比較して、流れ場にどのような相違があるかを考察せよ。考察とは、ただ単に事実としての結果を“説明”するだけでなく、観測された現象の原因を考え、その原因がどのように作用して現実の流れ場を形成しているかを“解説”しなければならない。ここでは、まず、相違が現れる原因を特定し、その原因があるために流れ場がどうなるか解説する。

3. 3 円柱表面の静圧分布測定

3. 3. 1 目的

- ・円柱表面での圧力分布を知る。
- ・流れの可視化図および理論値と比較してその違いを知る。

3. 3. 2 円柱周りの解析解と表面圧力分布

前述の通り、流体を完全流体（非粘性，非圧縮）と仮定すると，円柱周りの流れ場は解析的に求めることができる．これによると，円柱周りの流速は，極座標表示では以下ようになる．

$$\begin{aligned} u_r &= U \left[1 - \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right] \cos \theta \\ u_\theta &= -U \left[1 + \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right] \sin \theta \end{aligned} \quad (10)$$

ここで， u_r は半径方向成分， u_θ は円周方向成分， U は一様流の流速， R は円柱半径， θ はよどみ点（一様流がぶつかる点）から流れ方向に計った円周角を示す（図10参照）．

次に円柱表面圧力について考える．円柱表面の圧力は，よどみ点から流れ方向に沿って計測されるが，データの整理をする際には，つぎに述べる「圧力係数」に換算しておくのが便利である．圧力係数とは，局所的な圧力と基準圧（ここでは一様流の静圧）との差を，一様流中の「動圧」で割ったものである．式で表すと以下のようになる．

$$C_p = \frac{p_s - p_0}{(1/2)\rho U^2} \quad (11)$$

ここで， p_s は円柱表面圧力（静圧）， p_0 は一様流静圧を示す．完全気体（非粘性非圧縮）の場合，この圧力係数も計算できて，その結果は円周角 θ の関数として，以下のように表される．

$$C_p = 1 - 4 \sin^2 \theta \quad (12)$$

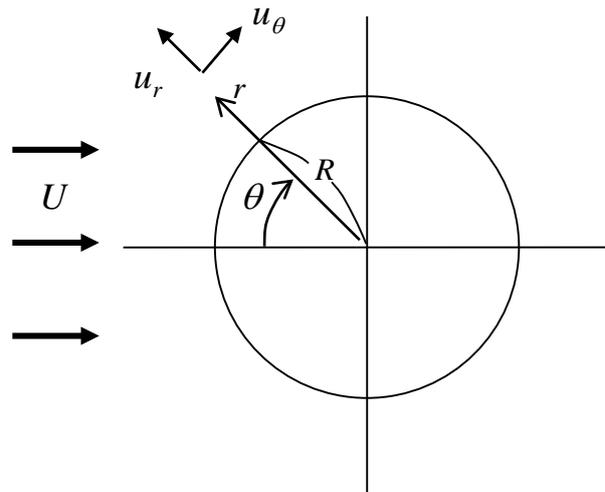


図10 円柱周り流れ

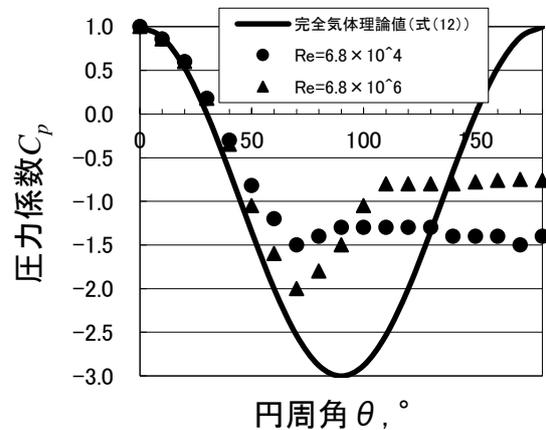


図11 圧力係数分布

式(12)で計算される値と，いくつかのレイノルズ数で測定された円柱表面の圧力係数分布を図11に示す．

3. 3. 3 流れの剥離と圧力分布

図11からわかるように，完全流体の場合，圧力はよどみ点から円頂部まで圧力が減少してゆき（これは速度が増えることを意味している），そこから後端部で流れが合流するまで増加してよどみ圧まで戻る（この過程では減速している）．しかし，実測値においては，途中から圧力が回復し，それ以降は同じ値が続いている．圧力係数が理論値からずれ始める点は，実験2において観察された，煙が円柱から離れる点，すなわち「剥離点」に対応している．圧力の回復の仕方はレイノルズ数によって異なるが，それぞれの場合に共通する特徴は圧力分布が平らになっていることである．つまり，この領域では流れがほとんどないということである．このことは，煙がほとんど停滞していたという観察結果と一致する．

3. 3. 4 実験方法

ここでは，円柱表面圧力 p_s と一様流静圧 p_0 を計測し，円柱表面に沿った圧力分布を明らかにすることを目的とする．

① 管1にチャンバ圧を，管2に静圧を管3に円柱表面圧力をそれぞれ導入する．図12参照

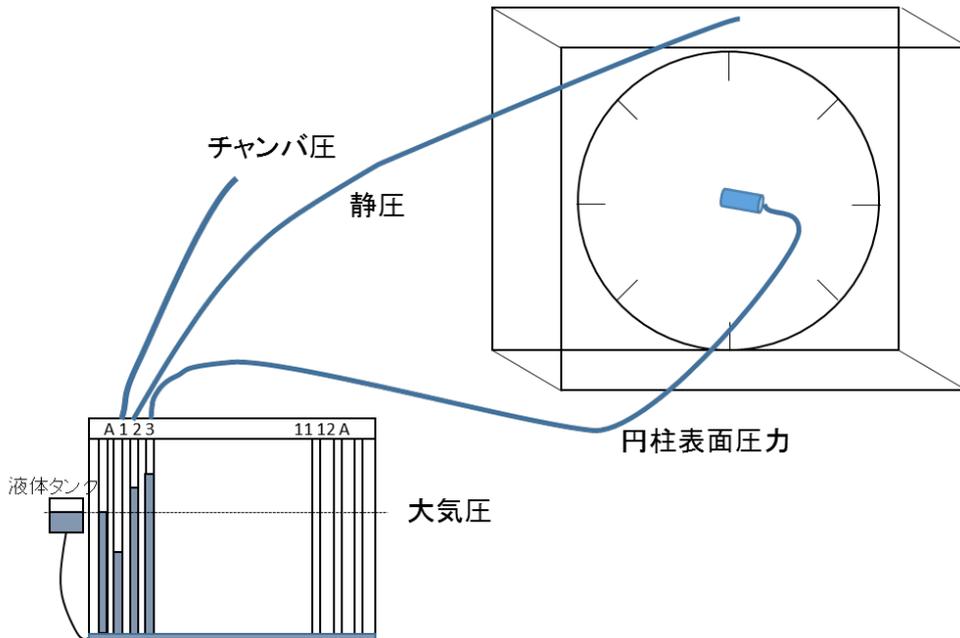


図 12 円柱表面静圧分布計

- ② 風洞を始動させる。
- ③ 円柱の圧力孔は1つだけなので、円柱を回すことによって測定角度を設定する。測定点は 0° から 180° まで 10° おきにとる。円柱はゆっくり回転させ、必要以上に回さないこと。
- ④ 各円周角において、大気圧 p_a (管 A)、チャンバ圧力 p_c (管 1)、一様流静圧 p_0 (管 2)、円柱表面圧力 p_s (管 3) の高さ、mm を記録する。
- ⑤ 円柱表面圧力と一様流静圧との差 $p_s - p_0$, mm も計算しておく。この時点では高さの値で差を取っておけばよい。
- ⑥ 横軸に円周角 θ , deg, 縦軸に円柱表面圧力と一様流静圧の差 $p_s - p_0$, mm (高さ表記) をとったグラフを書く。

3. 3. 6 レポート課題 (結果)

① データ表

- i. 実験で得られた高さ表記の表を提示する(大気圧 p_a , チャンバ圧力 p_c , 一様流静圧 p_0 , 円柱表面圧力 p_s , 円柱表面圧力と一様流静圧との差 ($p_s - p_0$))
- ii. 高さを圧力 (ゲージ圧) Pa に変換した表を提示する (静圧 p_0 , 円柱表面圧力 p_s , 円柱表面圧力と一様流静圧との差 $p_s - p_0$). 圧力係数 C_p の実験値を示すとともに, 式 (12) から求まる圧力係数の理論値も計算して表中に記入する. 圧力係数の実験値は, [表面圧力と一様流静圧との差圧] / [一様流動圧] である. 角度が 0° の場合には, 圧力測定孔の位置がピトー管全圧孔と同じ状態になり, よどみ点状態 (速度がゼロ) となる. よって, ピトー管と同じ原理で一様流の全圧を測定していることになるので, [一様流全圧] - [ピトー管静圧] すなわち, 角度 0° における差圧計の読みが [一様流動圧] となる.

② グラフ

- ・円柱周りの圧力分布 (横軸: 円周角, deg, 縦軸: 円柱表面圧力と静圧との差 $p_s - p_0$, Pa).
- グラフの説明をすること (横軸, 縦軸, 現れた現象の説明)
- ・圧力係数の比較 (横軸: 円周角, deg, 縦軸: 圧力係数 C_p). 『理論値』はなめらかな実線で結び, 『実験値』は点のみプロットする. グラフの説明をすること (横軸, 縦軸, 現れた現象の説明)

3. 3. 7 レポート課題 (考察)

圧力係数分布の比較図において、完全流体の値と実験値を比較し、その差異について考察せよ。すなわち、実験値は理論値と比較して、どのような角度においてどのような相違が生じたかを、まずは克明に記述する。理論値と異なる結果となった場合には、その原因が何であるかを特定すること。また、その原因が作用した場合、実現象にはどのような影響（現象）があり、今回得られた結果とどのように対応しているのかを明記する。

4. レポートの書き方

4. 1 実験レポートとは

実験レポートは、自分が行った実験手順の詳細とその結果を他者に知らせるためのもので、他者がそのレポートに書かれた内容に沿って同様な実験をすれば、同じ結果が得られなければならない。従って、実験レポートには得られた結果を単に示すだけでなく、実験装置や手順を詳細に書く必要がある。また、得られた実験結果に対する自分の考察とその根拠を明示し、目的に対応した結論を導く。学生実験の目的は、実際の実験装置を使って授業で習った事項の理解を深めるとともに、実験レポートの書き方を修得することにあるので、以下に示す解説を熟読してレポートを書くこと。

4. 2 実験レポートの構成

本実験は3つの実験からなっているので、以下の構成とする。

1. 実験 1

1.1 実験目的, 1.2 理論, 1.3 実験装置, 1.4 実験手順, 1.5 実験結果, 1.6 考察

2. 実験 2 (以下同じ。ただし、実験装置が同じ場合は省略して良い)

3. 実験 3

4. 3 実験目的

すべての実験には意義と目的がある。これらを明示しなければ、実験レポートは成立しない。実験を行う際には、この目的を念頭においておく必要がある。実際に書く内容としては、背景、動機、手段（使用機器や実験方法等）、調べたい事項などがあげられる。本実験では、テキストに記載されている内容を要約して記述する。

4. 4 理論

多くの実験では、得られた結果を理論解析と比較する。実際の研究を行う際には、実験結果から理論式を考える場合もあるが、学生実験では既存の理論を確認するとともに、実際の状況との違いを認識するのが基本である。テキストに書かれている内容を要約して記述する。

4. 5 実験装置

実験レポートには使用した装置の詳細を記述する必要がある。厳密に言えば、各装置の諸元も示す必要があるが、本実験では不要である。実験装置図に関してはテキスト中の図はコピーしてレポートの貼り付けてもよい。その上で、各機器の機能の概略および装置全体の動作過程を述べる。

4. 6 実験手順 (方法)

具体的な実験手段を詳細に記す。これも他者が追実験を行う上で重要なので省略しない。

4. 7 実験結果

実験で得られたデータは、基本的にはすべて記入する。データの単位は、必ず SI 単位系を使用する。また、得られたデータから他の量を算出する場合には、その方法の手順を詳細に示す。データの示し方は、ただ単に表や図を書くだけでなく、文章中で指示するのが基本である。(例)「表**に得られた○○の値を示す。また、図**に、これらの値をグラフ化した結果を示す」実験装置には分解能（最小計測可能範囲）があり、計測値には計測誤差が含まれる。有効数字に注意しながらデータ表を作成すること。また、常識から考えて異常だと思われるデータは計算間違いがないか何度も確認すること。

作表のポイントは、(1) 表番号とタイトルを表の上を書いて、文章中でこれを指定して説明す

る。(2) 各項目の物理量とその単位を明示する。(3) レポート用紙にすでにある線を利用するのではなく、自分で区切り線を書く。

図(含グラフ)は、実験データの特性や理論値との相違を視覚的に理解する目的で用いられる。作図のポイントは、(1) 図番号とタイトルを図の下に書いて、文章中でこれを指定して説明する。

(2) 縦軸および横軸は必ず自分で線を引き、軸が表している物理量および単位を明示する。

4. 8 考察

考察は、得られた実験結果に対して行われた解析の結果をふまえて、「事実」と「見解」とを筋道をたてて記述する。ただ単に、「実験結果はこうなった」「理論解析とは異なった」などと、事実を列挙するだけでは不十分である。例えば、理論解析との比較に関する考察をしたとすると、理論値と実験値とは、どこがどの様にどの程度違ったのかを明記し、それらの「事実」得られる「見解」を述べる。また、その場合には「見解」の根拠を【理論的に】示す必要がある。この実験における理論とは流体力学の理論なので、

【流体力学の参考書を読まなければ考察は書けません】

4. 9 参考文献

考察の記述には参考文献の参照が必須である。文献を参照した時は、文章で参照した順番に番号を付し、[1]などと参照箇所参考文献を提示する。

4. 10 最後に

図表の書き方や考察の書き方は他の実験にも応用できる基本事項なので、良く読んで覚えておくこと。また、学生実験は「ただ実験に参加すればよい」、「ただレポートを書けばよい」というものではないことも覚えておいてもらいたい。

【注意事項】

※レポートは図表を含めて全て手書きとする。ただし、実験装置の図はコピーを利用して良い。

※レポートの採点結果は 13 号館 1 階宇宙システム研究室前に掲示するので見に来ること

※レポートの評価は以下の通り。図表・考察が無いレポートは採点不可能なので即刻不可とする。正当な理由がない提出遅延も即刻不可とする

- **『合』: 合格**
- **『不可』: 不合格**
- **『再』: 再提出**

※再提出となったら 13 号館 1 階宇宙システム研究室渡邊まで取りに来ること。再提出レポートの提出は渡邊本人に手渡しすること。【重要】再提出する場合は、訂正箇所を『別紙で』書き直しレポートの最後に添付すること(元々のレポートはそのままにして一緒に提出)