

II-04 物体まわりの流れと抗力

予習レポートおよび本実験の準備

予習レポートに必要な図や文章(このテキスト)の電子ファイルは

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~ttsanad/lecture.html> にあるので、自由に使用して下さい。

- 1.~3.を予習レポートとしてまとめること。(コピーでなくまとめること)
 - マノメータについて復習しておくこと。(予習レポートに書くこと)
 - 実験時にはパソコンを持参すること.

1. 目的

流体の流れの中に物体が置かれると、その物体には抵抗力が作用する。この抵抗力は物体表面に作用する流体摩擦による力(表面摩擦抵抗)と圧力分布による力(圧力抵抗または形状抵抗)とに分けて考えることができる。本実験では物体が流れにより受ける力を（1）天秤によって、（2）物体表面の圧力分布によって、計測することを目的とする。

2. 理論

円柱まわりの流れを考える。理想流体の場合、円柱表面の任意の点における流体の速度 v は

である⁽¹⁾。ここで U は一様流の流速、 θ は円柱表面よどみ点からの角度である（図 1）。

その点の圧力を p , 流体の密度を ρ とすれば, Bernoulli の定理によって

であるため、

$$\frac{p - p_0}{\rho U^2 / 2} = 1 - \left(\frac{v}{U} \right)^2 = 1 - 4 \sin^2 \theta \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

となる。したがって圧力分布は円柱の前後において対称となるから圧力抵抗は 0 となる。

一方、粘性流体では圧力抵抗を生ずる。円柱表面に境界層ができ、それが途中で表面からはがれて後流を形成し、圧力分布が非対称となるためである。

円柱の単位長さあたりの圧力抵抗 D は、抗力係数(圧力係数)を C_D として次式で表される。

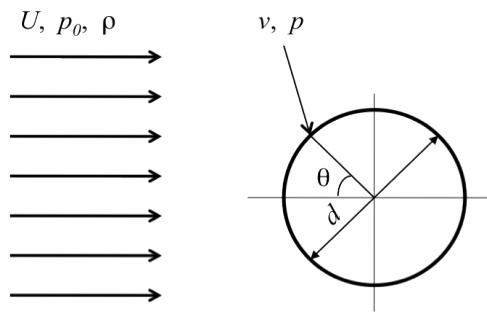


図1 円柱まわりの流れ（記号の定義）

ここで d は、円柱直径である。ここで定義された抗力係数は単位長さあたりなので、一般的な抗力係数とは異なることに注意せよ。

3. 実験

実験 1 天秤による抗力の測定

円柱や翼に働く抗力を、天秤を用いて直接測定する。図2に示すように計測原理は単純で、気流により円柱にかかる力を、重りを用いて天秤で釣り合いをとり測定をする。以下に測定手順を示す。

- (1) 試験体（円柱・翼）およびバランスアームを取り付ける.

(2) 流れが無い状態での釣り合いを取り、基準値としてメモを取る.

(3) チャンバー（ほぼよどみ点状態：風速ゼロ）および測定部の圧力測定孔とマノメータをビニールチューブで接続する.

(4) 風洞の電源を入れて流れを作り、バランスアームが釣り合う重さを測定し抗力を求める。同時に釣り合ったときの圧力（チャンバー内圧力 P_0 ；全圧、測定部圧力 p_0 ；静圧）を計測し、風速も測定する.

(5) 風速を 3 点程度変化させながら (4) を繰り返す.

実験2 圧力分布による抗力の測定

円柱表面に設けられた圧力測定孔により、円柱まわりの圧力分布を計測し、円柱に働く抗力を測定する。圧力はマノメータを用いて測定する。なお圧力測定孔は一つしか設けていないため、円柱を回転させることにより、圧力分布を求める。以下に測定手順を示す。

- (1) 試験体（円柱）を取り付け、圧力測定孔とマノメータとをビニールチューブで接続する。

(2) チャンバーおよび測定部の圧力測定孔とマノメータをビニールチューブで接続する。

(3) 圧力測定孔を流れの方向($\theta = 0^\circ$)に向け、それから 5° ずつ $\theta = 180^\circ$ まで回して、

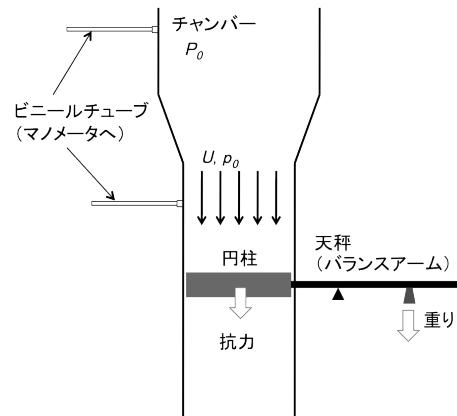


図2 天秤による抗力の測定

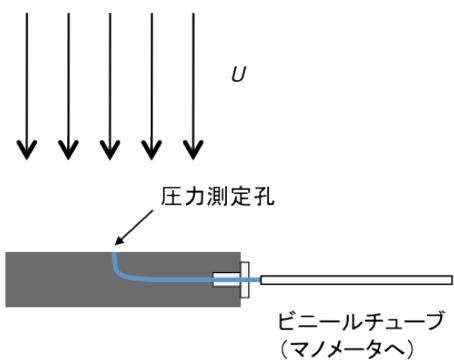


図3 マノメータによる圧力の測定

その都度、円柱表面圧力 p と上流の静圧 p_0 をマノメータで測定する。

- (4) 表面圧力 p と静圧 p_0 との差を動圧 $(1/2 \rho U^2)$ で無次元化した圧力 C_p を求める.

4. 檢討

- (1) 実験 1 : 円柱および翼において、それぞれ表 1, 図 4 のようなグラフを作成し、その
グラフより抗力係数を求めよ。

表 1 秤量法で計測した抗力値

読み P_o	読み p_o	圧力	速度	$1/2\rho U^2$	測定値 DI	基準との 差	DI
[mm]	[mm]	[Pa]	[m/s]	[Pa]	[gmf]	[gmf]	[N]
117	94				33		
134	98				42.5		

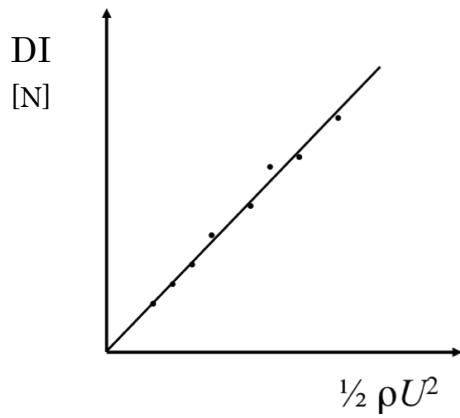


図4 円柱に働く抗力値

- (2) 実験 2 : 計測値を表 2 のように整理せよ. また, 実験で求めた C_p と理想流体の場合 (式 3) を比較して, 図 5 のような作図をし, この違いについて考察せよ (はく離に関して述べよ). 同時に円グラフでも圧力分布の作図をせよ.

表2 円柱まわりの圧力分布

角度 θ	読み	基準との差	垂直高さ	差圧	C_p	C_p	$C_p \cos \theta$	$C_p \cos \theta$
[°]	[mm]	[mm]	[mm]	[Pa]		[理想流体]		[理想流体]
0						1.000		1.000
5						0.970		0.966
10						0.879		0.866
15						0.732		0.707
20						0.532		0.500

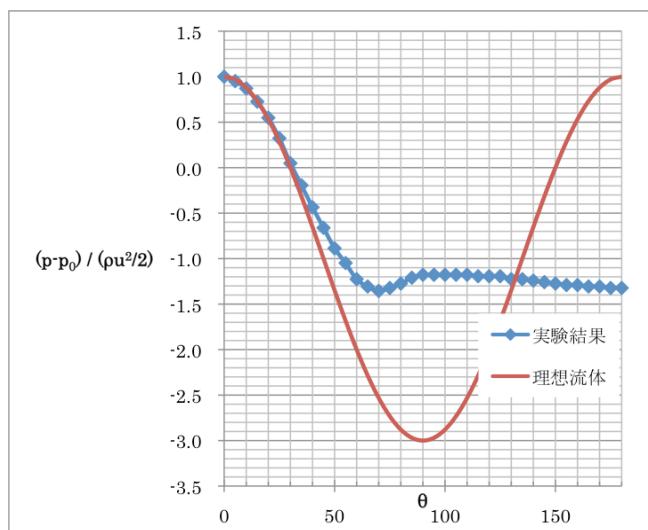


図5 円柱まわりの無次元圧力分布

- (3) 実験2：実験で求めた C_p の $\cos\theta$ を取り図6のような作図をせよ。図の面積から、抗力係数を求めよ。

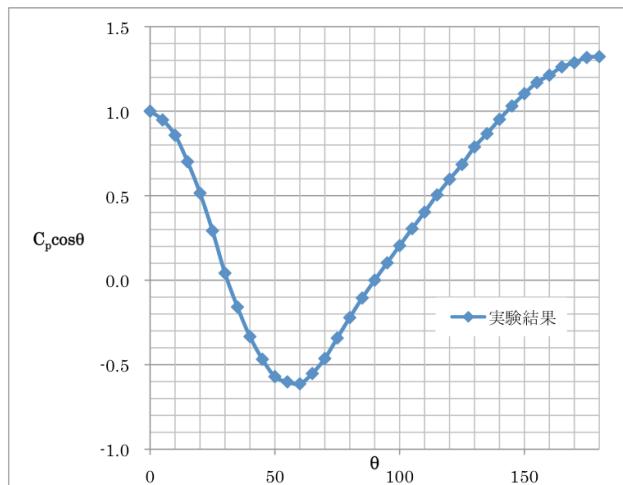


図6 円柱まわりの $C_p \cos \theta$

- (4) 課題：(実験 1) 円柱の場合と翼の場合の抗力係数を比較して、その違いが生じる理由を考察せよ。
- (5) 課題：(実験 2) レイノルズ数を計算して、測定された抗力係数と文献に掲載されている値とを比較せよ。
- (6) 課題：(実験 2) 上記の手法 ($C_p \cos\theta$ の 0 度から 180 度までの積分) によって、圧力による抗力係数の値が得られる理由を示せ。
- (7) 課題：ピト一管の測定原理についてまとめよ。

文献

- [1] 日本機械学会, JSME テキストシリーズ「流体力学」, 丸善, p171 等, 図書館にある流体力学の本において「(二次元) ポテンシャル流れ」, 「複素ポテンシャル」の項を参照。
- [2] 流体計測法を取り扱っているテキスト. たとえば
中村・大坂 著, 「機械流体工学」, 共立出版.

本実験で理解すべき事項

1. 圧力, 速度の計測手法
2. ベルヌーイの定理
3. 境界層
4. 剥離
4. 圧力抵抗と形状抵抗

試問で必要な知識

乱流域の剥離はどうなるか?

レポートについて

レポートの構成は以下のようにすること

- I. 予習レポート
- II. 実験結果 (4. (1)から(3))
- III. 考察 (4. 課題)
- IV. 感想

不明な点があれば真田 (総 410, ttsanad@ipc.shizuoka.ac.jp) に質問すること