

小型噴流装置の試作

角田哲也* 田丸裕也** 吉田年輝***

Trial manufacture of a small size jet flow equipment

Tetsuya SUMIDA, Yuya TAMARU and Toshiteru YOSHIDA

Abstract

A purpose of this study is to manufacture a jet flow equipment in cheapness and small size. At first we manufacture this equipment experimentally for student experiments and, as a result, we manufacture official approval use and a small size jet flow equipment for studies. The acquisition target of student experiment with this experimental equipment is to learn a principle of the Pitot tube which is a method of a guide of the speed measurement and the directions for use. I manufactured a small size jet flow equipment by this study and investigated the performance by the speed measurement by a Pitot tube.

Key words: Small size jet flow equipment, Pitot tube, Half width, Self-preservation

1. 緒言

本研究の目的は噴流装置を安価かつ小型に製作することにある。

流れを束縛する固体境界が存在しない流れを自由乱流というが、自由乱流のうち、静止した流体中にノズルから流出する自由噴流を本研究では対象とする。自由噴流の特徴は噴出条件と周囲流体の間に速度勾配の大きい領域ができ、その領域では流体粒子間の運動量交換が活発になることである。また、自由噴流は流れを束縛する固体表面が存在しないため、非常に不安定で、低いレイノルズ数で乱流に遷移する。噴流の性質を利用した応用は多く、工業上はエアカーテン、燃料ノズル、ジェットバス、ペルトン水車のノズルなどに応用される。一方、自然界ではイカから吐き出される水噴流や火山火口からの固体粒子を含む噴煙などの例がある。

本研究の指針は、まず本装置を学生実験用に試作し、その結果を鑑みて、熱線流速計の検定用および研究用噴流装置を製作することである。今回試作する装置を学生実験用に使用する理由は、噴流の平均速度分布測定が比較的容易なため、噴流

実験が学生実験に適すると判断したからである。本実験装置を用いた学生実験の学習目標は流速測定の入門的な方法であるピトー管の原理およびその操作方法を習得することである。

以上のことをふまえて、本報告では小型噴流装置を製作し、その性能調査を報告する。

2. 実験装置

2.1 基本設計

装置の設計方針はコンパクトかつ安価に装置を製作することである。本装置は商船学科4年生の学生実験に使用する。学生実験の人数は1班につき約10人で、現時点では装置1台につき3名程度の学生が使用する。このため、最終的には3～4台の噴流装置が必要になる。実験室には全長約3mの可視化用水槽および約10mの風洞装置が設置されている。このため、3～4台の噴流装置を設置するスペースはおのずから限定されてくる。以上のことを考慮して415×1390mmのコンパネ上に噴流装置を設置した。また、装置の製作コストをできるだけ抑えるために、実験室内の廃材(水槽および風洞製作時のあまりの材料)を利用した。

用した。装置製作にあたり、新規に購入した物品はファン(11800円)、ハイトゲージ(63800円)、読み取り顕微鏡(162000円)およびピトー管(26500円)である。これらのうち、ピトー管については自作が可能で、将来的にはより装置製作時の価格を抑制することが可能である。

2.2 実験装置

図1に試作した小型噴流装置の外観を示す。送風機は淀川電機製作所(株)のプレート型電動送風機を採用した。そのモーターの消費電力は90Wで、その時の電流は1.2Aである。ファンの無負荷回転数が3600rpmのとき、最高静圧および最大風量はそれぞれ0.51kPa、1.3m³/minである。



- ① ファン ② ノズル
③ ピトー管 ④ ハイトゲージ
⑤ 読み取り顕微鏡 ⑥ マノメーター

図1 装置外観

送風機全体の重量は3.4kgfである。送風機出口に内径65mm、長さ410mmの塩ビ管を接続し、その下流に整流部を設けた。整流部は2枚の金網と1枚のハニカムから構成される。整流部の金網は線径が0.5mm、開口比0.52のものを、ハニカムにはセルサイズが3mm、フィルム厚さが60μmのもの(新日本コア株式会社)を使用した。

絞り部は製作時間の短縮およびコストダウンを図るためペットボトルを利用した。市販されているペットボトルの絞り形状は直線形状のものと曲線形状のものがある。詳細は割愛するが、両者の性能を比較すると、曲線形状のペットボトルの性能の方がより理論値に漸近したため、本装置では曲線ノズルを採用した。絞り部は入口直径が65mm、出口直径20mm、長さ75mmであり、そのときの絞り比は9.5/100である。絞り部形状の詳細を図2に示す。図中のx軸は図3の座標系に従って記述している。なお、ファン出口から絞り部出口にいたる配管中の段差はパテを埋めてなくした。

流速測定にピトー管とゲッチングマンノメーターを用いた。使用したピトー管は直径4mmの標準ピトー管(岡野製作所製)を採用したが、将来的にはコスト削減と空間分解能を高めるために測定体積の小さい自作ピトー管を使用する予定である。

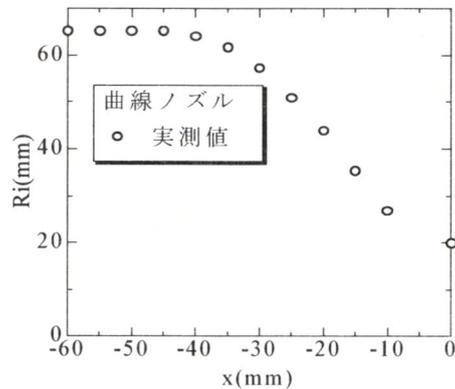


図2 絞り部形状

マンノメーターは実験室内の廃材を利用した。ゲッチングマンノメーターは直径90mm、長さ70mmのアルミ製円柱を旋盤加工して製作した。圧力を伝達させるため、容器の上蓋と容器の底に直径9mmの孔をあけた。容器の底の孔は外径5mmのガラス管とビニール管で連結されている。なお、容器内径Dとガラス管D'の内径の比は1/100である。この値は、日本機械学会の資料(流体計測法)⁴⁾が推奨する値を満足するため、液面変化による誤差は小さい。この容器とガラス管にはエタノールが封入されており、この容器のふたにあけられた孔に標準ピトー管の総圧孔を、他方をガラス管の片端に静圧孔を接続すれば、動圧の大きさがガラス管の液面上昇に反映される。

ガラス管内のエタノールの液面変化を読み取り顕微鏡で求め、その値 ΔH を式(1)に代入すれば流速Uが求まる。

$$U = \sqrt{2\rho_{al}g\Delta H / \rho_a} \quad (1)$$

ここで、 ρ_{al} および ρ_a はそれぞれアルコール密度、空気密度である。ピトー管のトラバースはピトー管を支持したハイトゲージをレールパッドに固定し、ハイトゲージ本体を流れ方向Xに移動することによってX方向のトラバースが可能になる。また、ハイトゲージのダイヤルを回転することによって、ピトー管を半径方向rに移動することが可能になる。

3. 実験結果

3.1 流れ場の概要と座標系

図3に流れ場の概要および座標系を示す。座標の原点をノズル出口中心とし、流れ方向を x 、半径方向を r とする。実験は、噴流出口中心速度 U_{co} を 25m/s に固定して実施した。代表長さをノズル直径 d 、代表速度を噴流出口中心速度 U_{co} にしたときのレイノルズ数 Re は $Re \approx 30000 (= U_{co} \times d / \nu)$ である。

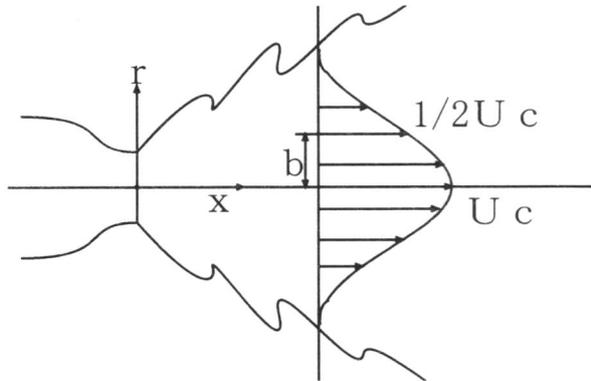


図3 流れ場の概要および座標系

3.2 平均速度分布

図4に平均速度分布を示す。測定最上流の $x/d=5$ において、管中心速度はノズル出口中心速度 U_{co} とほぼ同じで、その値は大きい。速度勾配は中心線付近が極めて大きい。速度は半径方向に減少し、 $r/d \approx \pm 1.5$ で速度が0になる。下流に行くにつれ、管中心速度 U_c は減少し、中心線付近に認められる速度勾配の大きさは減少する。速度勾配が最大になる位置および速度が0になる位置は中心から遠ざかる。以上の傾向を示す理由は下流に行くにつれ、管中心付近における流体のもつ運動量が半径方向(r 方向)に広がるからである。なお、速度分布は半径方向に対して対称である。このことは、試作した噴流装置の流れ場は軸対称であることを意味する。

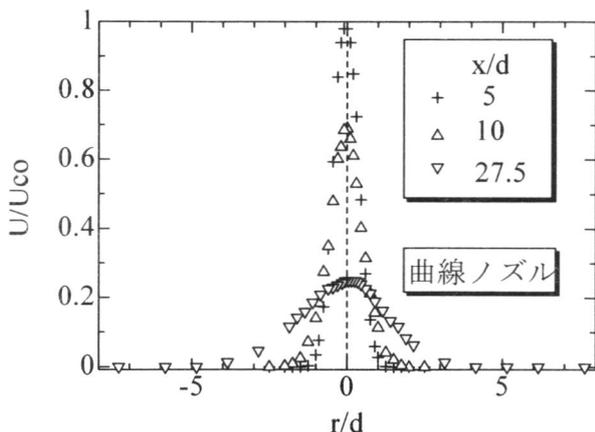
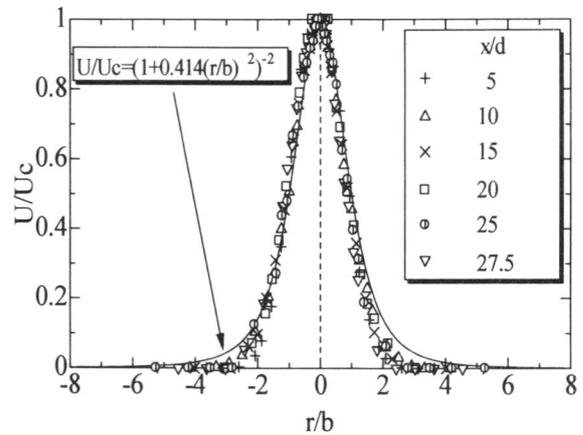


図4 平均速度分布

3.3 自己保存性

図4で円形噴流の一般的な性質を述べたが、次に速度分布の自己保存性について考察する。自己保存とは、適切に速度の尺度と長さの尺度で平均速度場を規定すれば分布が相似になることである。一般に、噴流の平均速度分布は $x/d > 8$ の位置で相似になることが報告されている^[2]。

図5に速度の尺度に噴流出口中心速度 U_{co} で、長さの尺度に半値幅 b で規定した場合の平均速度分布を示す。図5において、 r/b の値が大きい領域を除けば、実験データはほぼ推測式付近に存在する。このことから、本実験装置では $x/d=10$ 以降、自己保存性が成立すると思われる。なお、 r/b の値が大きい領域で、測定値の方が推測式よりも若干低い値を示す。この理由は推測式の導入の際、渦粘性係数 ν_T は一定であると仮定しているが、噴流外縁付近における ν_T の値は一定ではないため



である。

図5 自己保存性

3.4 代表尺度の流れ方向変化

噴流における代表尺度の流れ方向変化を考察する。噴流の長さ尺度である半値幅の流れ方向変化を図6に示す。一般に噴流が十分発達した領域では、半値幅 b は距離 x に比例することが報告されている^[3]。本装置の場合、 $x/d \geq 10$ で $b \propto x^{1.1}$ になり、従来報告されてきた結果と一致した。

次に、速度の代表尺度である噴流中心速度 U_c の流れ方向変化を図7に示す。一般に軸対称噴流の噴流中心速度は $U_c \propto x^{-1}$ である^[3]。本装置の場合、 $x/d \geq 10$ で $U_c \propto x^{-1}$ が成立した。以上のように、速度の尺度および長さの尺度の流れ方向変化から本装置の噴流の発達割合は良好であると思われる。

ところで、理想のノズル形状は東北大学の島の式が推奨されるが^[4]、本報告ではコスト削減と時

間の都合上のためペットボトルを絞り部に採用した。平均速度分布，自己保存性および代表尺度の流れ方向変化から曲線形状のペットボトルを絞り部に代用しても差し支えないことがわかった。

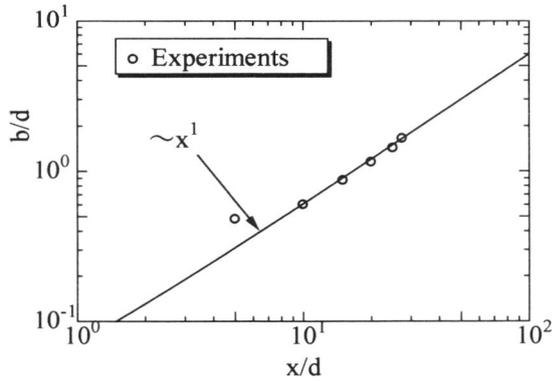


図6 長さ尺度の流れ方向変化

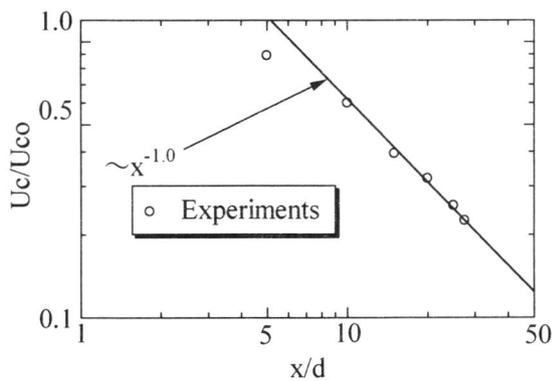


図7 速度尺度の流れ方向変化

4. 結言

小型噴流装置を試作し，性能調査した結果，以下の結論を得た。

- (1) $x/d \geq 10$ の位置において，自己保存性が成立した。
- (2) $x/d \geq 10$ の位置において，代表長さおよび速度の流れ方向変化は従来報告された結果と同じ傾向を示す。
- (3) 平均速度分布，自己保存性および代表尺度の流れ方向への変化から，本装置は学生実験用装置としての性能を有していることがわかった。

参考文献

- [1] 技術資料 流体計測法，日本機械学会。
- [2] H.Tennekes and J.L.Lumley, A First course in Turbulence. MIT Press.
- [3] 中村育雄，大坂英雄，工科系流体力学，共立出版。
- [4] 島章，東北大速研報告，Vol 17.164.
- [5] 生井武雄，井上雅弘，粘性流体の力学，理工学社。
- [6] 社河内敏彦，噴流工学，森北出版。