23 タフトを用いたボルテックスチューブ内流れの可視化

山形大学

安部 二郎, 吉永 昭男, 西尾 友幸

Flow visualization in a vortex tube by using a tuft method

Jiro ABE^{*}, Akio YOSHINAGA^{*}, Tomoyuki NISHIO^{*}

In this paper, the flow of a counter flow type vortex tube is visualized. The flow visualization is performed by means of the tuft stick method. The tuft dyed with fluorescent dyes is used and the length of the tuft is changed from 5mm to 20mm at intervals of 5mm.

The obtained results are summarized as follows;

- 1) It is considered that, except for near the wall, the tuft with 5mm length only shows the direction of flow but does not show the actual inner flow because of the stiffness of a thread.
- 2) If the tuft with over 10mm assumes to show a phenomenon close to the real inner flow, it will be supposed that those tufts present a secondary flow in the vortex tube.

1. はじめに

ボルテックスチューブに関する研究は、1931年にランクによって発見されて以来、数多くの実験的、理論的研究がなされている。しかしながら、チューブ内の流れを可視する試みは、ほとんどなされていない。エネルギー分離の原因を探る手段として、流れの可視化は、たいへん有効な手段であると考えられるが、内部流れの複雑さのために、それを可視化するのは、なかなか困難である。筆者らは⁽²⁾ 注入トレーサ法(蛍光染料フルオレセイン溶液使用)により、流れの可視を試みた。この方法は、壁面流れ及び中心付近流れの可視に有効であるが、それ以外の内部流れの可視の手段としては適切であるとは言い難い。

本研究では、蛍光タフトを用いたタフトスティック法により、チューブ内流れの定性的な可視を行った。

^{*} Department of Precision Eng., Faculty of Eng., Yamagata University;

4-3-16 Jonan, Yonezawa 992

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略をFig.1(a), (b)に示す。コンプレッサーで圧縮された空気は、接線方向にあけられたノズル(φ4.2)より、チューブ内に送り込まれる。チューブは、可視化用にアクリル樹脂でできており、内径は、φ40である。なお、流量比の調節は、コーンバルブで行う。入力圧は71.5kP、ノズルからチューブに流入する流速は236m/sである。流量比は流入全空気質量流量を G_i 、流出低温空気質量流量を G_c 、として G_c/G_i で定義し、0.2と1.0に変えて実験を行った。チューブの管壁には、φ0.9の穴をあけ、そこからタフトスティックが挿入される。挿入深さは、ハイトゲージで任意に調節することができる。タフトは、絹糸9号を蛍光染料で染め、長さは、5, 10, 15, 20mmで実験を行った。照明は、40W×2, 20W×5のブラックライト蛍光管を使用した。撮影はビデオカメラで行い、モニター画面より写真撮影を行った。カメラの撮影条件は、絞り2.8 シャッタースピードは1/4秒とし、フィルムは、ネオパン400を使用した。

① Cold orifice ③ Vortex chamber
② Nozzle block ④ Corn valve

① Compressor ⑥ Flow meter
② Air chamber ⑦ Height gage
③ Regulator ⑧ Black light
④ Flow valve ⑨ Tuft stick
⑤ Pressure gage ⑩ Video camera

Fig. 1 (a) Vortex Tube

Fig. 1 (b) Schematic Diagram of Test Setup

3. 実験結果及び考察

3-1 タフト長さの影響

タフトの長さが5mmでは、糸の剛性のために糸の動きが小さく、流れの方向は示されるが、その他の流れ現象を観察するのは困難である。Fig. 2は、壁近傍流れに対してタフト長さの影響を調べたものである。タフト長さが短い場合には、壁面流れに近い流れを示すが、タフト長さが長くなるにつれて、タフト先端の回転渦が大きくなり、壁面とタフトとの傾き角も糸の重力と遠心力によって大きくなり、壁面流れ以外の流れの影響が現れるものと考えられる。スティックを下げるに

つれて Fig. 3に示すように $r/D=0.4$ ではタフトと管壁との傾き角はほぼ同じとなり、タフト長さ10mmに比べてタフト先端の回転渦は、15mm, 20mmと拡大されてゆく様子がわかる。円管の中心付近では、Fig. 4に示すように、タフト長さの影響は全く見られない。

(a) 10mm (b) 15mm (c) 20mm

Fig. 2 Influence of Taft Length at $r/D=0.5$

Fig. 3 Influence of Taft Length at $r/D=0.4$

Fig. 4 Influence of Taft Length at $r/D=0$

3-2 半径距離の影響

Fig. 5 は、壁面から中心に向けてタフトスティックを移動させた場合の連続写真である。タフトが $r/D=0.45$ では、先端での回転渦の径は小さいが、 $r/D=0.35$ では、角度も回転渦の径も大きくなる。そして、 $r/D=0.3$ では回転渦の径は、更に大きくなり、中心ではタフトは長さ一杯に回転し、管壁との角は直角になる。Fig. 6 は、管内流れの最大速度方向を矢印で示したものである。図の各半径距離に Fig. 5 の図を対応させた場合、概ね流れは回転渦と直角をなしており、ここに示された回転渦は、ボルテックスチューブ内に生じた二次流れと考えるのが妥当である。既に報告したように⁽³⁾、中心付近流れについては、中心軸に沿った戻り流れに対して、外向き二次元螺旋線 (spiral) が存在するが、これも二次流れの一種と考えられ得る。その例を Fig. 7 に示した。

(a) $r/D=0.5$ (b) $r/D=0.45$ (c) $r/D=0.4$ (d) $r/D=0.35$ (e) $r/D=0.3$ (f) $r/D=0$

Fig. 5 Vortex Motion with Variation of r/D (15mm)

Fig. 6 Direction of maximum Velocity

3-3 流量比の影響

ボルテックスチューブでは、 $G_c/G_i=1$ で高温が得られ、 $G_c/G_i=0.2$ でより低温が得られる場合がある。そこで、それらの流量比に対する内部流れをタフトにより調べた結果、壁面においては、 $G_c/G_i=0.2$ の場合が、 $G_c/G_i=1$ に比べて回転螺旋面の法線となす角が小さくなっていることがわかる。それは、Fig. 8 に示した。内部流れについての流量比による相異は、さほど認められない。しかし、 $G_c/G_i=0.2$ の場合、中心付近では、複雑な流れのためにタフトがスティックに絡まるのが見られた。

Fig. 7 Spiral Motion of Flow

(a) $y=1$ (b) $y=0.2$

Fig. 8 Influence of Flow Rate

4. おわりに

蛍光染料で染めたタフトを用いて、ボルテックスチューブ内流れの可視を試みた。その結果、短すぎるタフトでは、流れを明瞭にとらえることができないこと、場所によっては長いタフトが流れ現象をより明らかに示すこと、またタフト長さにも影響されない流れの存在することなどが明らかになった。さらに、この度のタフト利用により、流れ方向に直角な二次流れを見ることができ、内部流れの概略は理解できたが、まだその詳細については不明である。更に研究を進める予定である。

5. 参考文献

- 1) 流れの可視化学会編： 新版 流れの可視化ハンドブック (1986)
- 2) 安部、中野： 流れの可視化, Vol. 7, No. 26, pp. 202-212, (1987)
- 3) 安部、西尾： 第3回 流体制御シンポジウム講演論文集, pp. 47-52 (1988)