111 旋回型拘束噴流のスワール数に対する吸引特性

Induced Characteristics for Swirl Number of a Swirl Type Confined Jet

○学 生越 健介 (東海大院) 正 青木 克巳 (東海大)

Kensuke OGOSE, Tokai University Graduate School, 1117, Kitakaname Hiratsuka city, Kanagawa 259-1292, Japan
Katsumi AOKI, Tokai-University, 1117, Kitakaname Hiratsuka city, Kanagawa 259-1292

This study is described on Induced characteristics for swirl number of a swirl type confined jet. When this study is advanced, it is very important the flow pattern accompanied by the swirling flow in a cylinder pipe is clarified. So in this report, three time mean velocity components of swirling flow in circular duct is measured using five-hole pitot probe when the swirling numbers are changing from 0.35 to 1.35 by the axial flow type swirler. Further, the flow visualization is carried out using a streamer and numerical analysis and the flow patterns become clearer. From these results, the present study clarifies the location, size and shape of recirculation zone, eye of vortex and sub-recirculation zones for the swirling numbers.

Keywords: Swirl, Swirl number, Recirculation zone, Induced characteristics

1. 緒論

本研究は、旋回型拘束噴流を用い、二次流を吸引する事を目的としたものである。

旋回を伴った円筒管内噴流では、遠心作用により、中心部が周囲よりも低圧となることが知られている。また、その発生圧力差により、管内中心部に逆流域を生じ非常に複雑な流れとなる⁽¹⁾。ところで、拘束噴流の特徴を利用したものにジェットポンプ、インジェクター、エジェクタ等がある。これらは、稼動部が無く、構造が簡単である。そのため安全性の観点から、工業的価値がある。たとえば、二次流側から排ガス、汚物、水、空気などを吸引することで工学的な応用範囲が多岐にわたっている⁽²⁾。しかし、これらはいずれもノズルからの高速噴流をえるために、高い駆動圧力が必要となる。これに対して旋回型の拘束噴流は、発生圧力差を二次流れの誘引混合に有効に利用できると考えられる。

ここで、この研究を進める上で旋回を伴った流れの管内での流れ様式を明らかにすることは、大変有意義なことである。

よって本報告では研究の前段階として、旋回流を流したとき、流れの旋回角及び、流速の変化による、流れ様式を実験と解析により明らかにする。

2. 実験装置および方法

2-1 実験装置

実験装置は Fig.1 に示すように、旋回器と円筒管により構成されている。旋回器は、内周半径 15 mm、外周半径 30 mm 旋回翼枚数 16 枚とした。

円筒管は、管内の流動の様子が観察できるようにアクリル製とし、内径 $D=120$ mm、長さは外部の空気が管内の流動に影響を与えないように $5D$ (600 mm) とし、大気放出をしている。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Velocity component

2-2 実験方法

実験は各旋回羽根角度 α (24° , 30° , 45° , 52° , 60°) に対する旋回器を円筒管に設置し、ノズル流量計により流量を調節し、所定の管内レイノルズ数 Re_D ($v_m \cdot D / \nu$; v_m :管内平均流速, ν :気体の動粘度) に設定する。この時の流れ様式を把

握するために、上流より軸方向に10mm間隔で300mmまでを各半径方向に5mm間隔でストリーマを移動し、タフトの風向きを目視によりスケッチする。これらの流れ様式をもとにしながらかじめ風向検定してある5孔ビトー管を混合管内の軸を含む平面上の測定個所に挿入し、ビトー管の5つの測圧孔からの圧力を読み取ることににより、それぞれの圧力比に対応した風向検定曲線より δ , ϕ を決定し、絶対速度 V を求める。したがって混合管内での各速度成分は Fig. 2 に示す座標に基づき、絶対速度 V から次式のように算出する。また、混合管の軸中心上のみ静圧プローブにより静圧を測定する。

$$v_r = V \cos \delta \sin \phi \quad (1)$$

$$v_\theta = V \sin \phi \quad (2)$$

$$v_z = V \cos \delta \cos \phi \quad (3)$$

2-3 数値解析

数値解析にはレイノルズ平均したナビエーストックス方程式を有限体積分法によって離散化し、線形化された方程式系の連立方程式を得るために、SIMPLE アルゴリズムによって速度場と圧力場を関係付けて反復法により解く。時間積分法はオイラー陰解法を用いる。この解析には汎用熱流体解析ソフトウェア FLUENT を使い、旋回器及び円筒管を三次元的にモデル化し、解析領域は実験装置と同寸法の形状で、領域を分け、非定常的に計算を行った。格子は格子系非構造格子を使用し、乱流モデル ($RNG k-\epsilon$) を用いた。格子数は約 78000 である。

3. スワール数

本装置に対しての旋回強さを示す相似指標としては次式で示されるスワール数 S が広く知られている⁽²⁾。ここで運動量の軸方向流速を G_z 、角運動量の軸方向流速を G_ϕ とすれば、

$$\text{スワール数 } S \text{ は } S = \frac{G_\phi}{G_z R_0} \quad (4)$$

となる。ここで、 θ は

$$G_\phi = \int_{R_i}^{R_0} 2\pi \rho v_z v_\theta r^2 dr \quad (5) \quad G_z = \int_{R_i}^{R_0} 2\pi \rho v_z^2 r dr \quad (6)$$

である。

Fig.3 Comparison of swirl number

Fig.4 Flow pattern in cylinder pipe

Fig.5 Velocity distribution

Fig.6 Static pressure distribution at central axis

旋回器出口での流速の軸方向成分 v_z は半径方向に一樣であり、円周方向成分 v_θ は一定とすると式(4)は

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - (R_i/R_o)^3}{1 - (R_i/R_o)^2} \right] \tan \alpha \quad (7)$$

となる。したがって、本実験での $\alpha = 24^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 52^\circ, 65^\circ$ に対するスワール数は $S=0.35, 0.45, 0.78, 1.0, 1.35$ となる。また、旋回器出口から7mmの位置で混合管をはずした状態で5孔ピトー管を使用して測定した速度分布から求めたスワール数 S_s と式(7)から求めた値 S との比較をFig. 3に示す。図より両者は、ほぼ一致しているので、式(7)によるスワール数 S で表すことにする。

4. 実験結果および考察

4-1 ストリーマ及び5孔ピトー管による流れ様式

Fig.4の(a)(b)及び(c)(d)の上半分は、ストリーマにより表された管内流れの様子である。ここで、管内レイノルズ数による流れ様式の変化が考えられるため、 $Re_D = 1 \sim 2.6 \times 10^4$ の範囲で測定を行った結果、タフトのふれの強さが変化をするものの全体的な様式の変化がほとんどなかったため、 $Re_D = 2.36 \times 10^4$ ときの様子のみを示す。これによると、各スワール数ともに円筒管入口上部に、循環領域(ここではこれを補助循環領域と呼ぶ)が生じていることが分かる。 $S=0.35$ のときは、壁面近くでは、下流方向に流れているが、中心に見られる逆流領域との間の方向の定まらない領域が大きくなっている。 $S=0.45 \sim 1.35$ の間でも同様の様式を示すが、 S が大きくなるに従い補助循環領域が小さくなり、境界部の厚さが小さく、また中心部が大きくなっていく。ここで再循環領域と呼ばれる領域は、軸方向速度成分の半径方向分布を積分し求められる速度ゼロの流線と一致する。したがって、再循環領域を求めるには正確な軸方向の速度分布を求める必要がある。しかし、タフトの向きを正しくとらえることにより、流れの向きを知ることができる。逆方向の流れが接する逆流境界を結んで形づくられた内側が再循環領域であり、この領域で流

体は循環をし、大きなトロイダルボルテックスが生じている。またトロイダルボルテックスの渦中心が各スワール数において若干移動していることがわかる。また、再循環領域の軸方向の長さ L は旋回器より再循環領域内の循環流が閉じるころまでとしており、この位置は一定に絞られる絞り領域入口に近いところである。スワール数が $0.45 \sim 1.35$ と大きくなるにつれ逆流領域の長さは伸びる傾向を示している。また、半径方向の大きさは、逆流境界の最大半径は、スワール数が大きくなるに従い、少しずつ増し、 $S=1.0$ 以上ではほぼ一定な大きさの半径となっている。逆流領域の形状は $S=0.35$ の場合を除き、スワール数の変化に対し極端に異なった形状に変わるこなく、ほぼ類似的な卵形状に近い形状である。ここで、Fig. 5は5孔ピトー管を用いた $S=0.78$ のときの各速度分布である。 $V_z=0$ を結んでつくられる逆流領域は大きく、その輪郭はタフトの逆流境界を結んだ形状とほぼ等しいようである。この逆流領域は流体が循環しており、 S が大きくなるに従い逆流量の一部は円筒管上流端の壁から側壁へと流れ、一部は軸中心に沿って下流へと流れる傾向を示している。

4-2 静圧分布

Fig. 6は、円筒管中心軸におけるスワール数に対する静圧分布を表している。 $S=0.35$ のときは、旋回型自由噴流の分布のように見受けられる。 $z/D=0.17$ 付近で特徴的な負の最大値をとっている。その後、 $z/D=1.0$ までの間に大きく回復をし、それ以降は、大気圧に近い値で一定となる。 $S=0.45$ 以上では、 S が大きくなるに従い、負の静圧値は大きくなる傾向を示す。そして最小値をいずれも再循環領域に持つ。また、図中の一点鎖線は再循環領域の軸方向の長さを表している。

4-3 解析との比較

解析により得られた速度ベクトル図を、 $S=0.78$ 及び 1.35 についてFig.4の(c)(d)の下半分に表す。これを見るとストリーマで表された流れ様式とよく一致していることが分かる。また、Fig.5の V_z 方向の比較においてもよい結果を得ることができた。

5. 結論

円筒管内にスワール数 $0.35 \sim 1.35$ の旋回流を噴出したとき、次のことを明らかにした。

- (1) 再循環領域は $S=0.45$ 以上で形成され、その領域の軸方向長さ及び、半径は、スワール数が大きくなるに従い増加する。
- (2) 補助循環領域は S が小さくなるにしたがい、大きくなる。
- (3) $S=1$ 以上のとき再循環領域内部の中心軸上に下流方向への流れが発生する。
- (4) 数値解析を用いることにより、管内流れの詳細な流れ様式を明らかにした。

参考文献

- (1) Sato, G.T., Tokyo Joint gas Turbine Congress, No.14, 129.
- (2) Beer, J.M. and Chigier, N.A., Applied Science Publishers Ltd., London, (1974), 100.
- (3) 内藤和夫, 空気調和・衛生工学会論文集, No.16, 1981 105