C215

同軸二重円管を用いた衝突噴流の流動特性 に及ぼす管径比の影響

猪股 友紀子[○](鹿児島大院), 福原 稔(鹿児島大),
片野田 洋(鹿児島大), 山下 英成(鹿児島県立薩南工業高校)

Effect of Pipe-Diameter Ratio on Flow Characteristics of Impinging Jet from Coaxial Circular Pipe

Yukiko INOMATA, Minoru FUKUHARA,
Hiroshi KATANODA and Hidenari YAMASHITA

ABSTRACT

The impinging jet is widely used in the industry field because high heat transfer characteristics are obtained in the vicinity of a stagnation point on the object surface. The authors have already examined the heat transfer characteristics on the impinging wall surface after being blown off through a coaxial circular pipe by changing the pipe-diameter ratio and the velocity ratio. In this paper, the flow phenomena of a two-dimensional flow field were examined using PIV between the whole region from the pipe to wall surface. As a result, the factor was clarified by calculating the time mean velocity, the fluctuating velocity and the instantaneous vorticity.

Keywords: Impinging jet, Heat transfer, Particle image velocimetry

1. はじめに

衝突噴流とは、ノズルから噴出した流れが物体表面に衝突するものであり、よどみ点近傍において高い熱伝達率が得られる。これは、電子機器の冷却、樹脂や溶解金属の固化など工学的に幅広い分野で用いられている⁽¹⁾。本研究では、従来用いられている円形噴流の同軸上に内管を設け同軸二重円管とし環状噴流を用いることで、衝突噴流による加熱壁面の冷却特性を改善することを目的としている。これまでの研究から、外管の内径および環状噴流の流速を一定とし、内管の内径および内管噴流の流速を変化させることにより、よどみ点において高い冷却特性を得られる最適な条件がわかっている⁽²⁾。

本報では、PIV計測法を用いて管端から壁面までの二次元流れ場を計測し、平均速度、変動速度、瞬時渦度を算出することにより、その流動機構を明らかにする。

2. 実験装置および方法

Fig.1に同軸二重円管を用いた衝突噴流の概要を示す。水平に設置された同軸二重円管の外管内径を d_o 、内管内径を d_i とし、衝突壁を管中心軸に対して垂直に設置した。座標は管出口端の中心を原点とし、噴流中心の軸方向に z 軸、半径方向に r 軸をとった。

次にPIV実験装置及び画像処理法の概要について述べる。トレーサ粒子には線香の煙を使用した。それを環状噴流中に混入することにより濃度パターンを形成した。光源にはダブルパルスNd:YAGレーザを用い、レーザライトシートを測定断面(r - z 断面)に間欠照射した。画像入力装置としてNTSC方式のCCDカメラを用い、短い時間間隔の2時刻の画像を取得した。得られた2時刻の画像に対し、濃度相関法を適用して速度ベクトルを算出した。時間平均量を求めるためサンプリング数

は100個とした。実験条件として、外管内径 d_o を47mm、環状流速 U_o を20m/sで一定とし、外管と内管の管径比 d_i/d_o は0, 0.51, 0.64, 0.77の4条件とした。外管と内管の流速比 U_i/U_o は0~1.0までの9条件で行った。なお、本論文では、紙面の関係上、各管径比の流速比0の結果のみを載せている。また、管出口端から衝突壁までの無次元距離 z_w/d_o は4と一定とした。

3. 実験結果および考察

3.1 ヌセルト数

管径比を0から0.51, 0.64, 0.77と変化させた場合のヌセルト数をFig.2に示す。縦軸 Nu はヌセルト数、横軸

Fig. 1 Schematics of impinging jet

Fig. 2 Relation between Nusselt number and pipe-diameter ratio

Fig.3 Contour maps of time mean axial velocity

Fig.4 Contour maps of fluctuating velocity

Fig.5 Contour maps of instantaneous vorticity

d_i/d_o は管径比を表す。Fig.2より、ヌセルト数は管径比0に比べ、管径比0.51で増加が見られ、管径比0.64ではさらに増加し、管径比0.77においては減少することがわかる。全体的に見てヌセルト数は増加傾向にあるといえる。そこで、これらの条件においてPIV計測を行った。

3.2 平均および変動速度分布

平均速度は平均流速の流れ方向成分 U_z を環状流速 U_θ で除して無次元化した値を用い、変動速度は流れ方向の変動速度 u_z と半径方向の変動速度 u_r の合成成分 $S[\sqrt{(u_z^2 + u_r^2)/2}]$ を環状流速で無次元化した値を用いている。ここで、流れ方向の測定領域は $0 < z/d_o < 4.0$ とし、半径方向の測定領域は $0 \leq r/d_o \leq 0.5$ とした。管径比を0から0.51, 0.64, 0.77と変化させた場合の平均速度 U_z の等高線図をFig.3(a)~(d)に示す。Fig.3(a)~(d)を比較すると、管径比が大きくなるにつれ、平均速度は流れ場全体において縮流しながら減速していく様子がみられる。この現象は管径比が大きくなるにつれ、流量が減少するためと考えられる。次に、管径比を0から0.51, 0.64, 0.77と変化させた場合の変動速度 S の等高線図をそれぞれFig.4(a)~(d)に示す。Fig.4(a)~(d)を比較すると、管径比が大きくなるにつれ、変動速度は流れ場全体において増加しており、壁付近においてその様子が顕著にみられる。これらの現象は、内管を設けることにより管端中心部に負圧が発生し、環状噴流が軸中心方向に縮流し、噴流がお互いに干渉したために生じたものと考えられる。

次に、Fig.2とFig.3, 4を比較する。管径比を0から0.77まで大きくした場合、管径比0から0.64において、ヌセルト数が増加傾向にあるのに対し、変動速度も同様の傾向が得られた。また管径比0.77においては、ヌセルト数が減少したが、これは平均速度が減少したことによるものと考えられる。これより、ヌセルト数の増減には、平均速度と変動速度が密接に関係しており、ヌセルト数の増加には変動速度の増加が大きく寄与していることがわかる。

3.3 瞬時渦度分布

変動速度の増加の要因を明らかにするため、管径比における瞬時の渦構造について調べた。瞬時渦度分布を管径比0, 0.51, 0.64, 0.77についてそれぞれFig.5(a)~(d)に示す。図中、渦度 ζ は U_θ/r 無次元化してある。高い渦度に着目するため、低い渦度の領域 $-0.2 \sim 0.2$ を同色とした。円形噴流の場合、Fig.5(a)より、 $r/d_o=0.5$ 付近において渦度の高い領域が下流まで連続して存在している。管径比0.51においては、Fig.5(b)より、内管を設けることで環状噴流内側において渦度の高い領域Bが存在することがわかる。また、 $r/d_o=0.5$ 付近における渦度の高い領域A(これを以後、渦度領域Aと称する)が下流に行くに従い、その領域を軸中心方向に広げながら連続して存在する。これは、環状噴流が縮流するためである。さらに管径比を0.64, 0.77と大きく変化させた場合、Fig.5(c), (d)より環状噴流がより縮流することによって、上述した渦度領域Aの現象が顕著となることわかる。また、環状噴流が縮流を終える位置付近から干渉する状態となることがわかる。その後、下流において渦度領域Aがお互いに干渉することにより、壁面付近において変動速度は顕著に増加したと考えられる。

4. むすび

同軸二重円管を用いた衝突噴流において、流速比0~ -1.0、管径比0, 0.51, 0.64, 0.77と変化させPIV計測を行い、その流動機構を明らかにした。その結論を以下に示す。

- (1) 流れ場全体で管径比を大きくすると、平均速度は徐々に減少するが、縮流により、変動速度は増加することがわかる。また、ヌセルト数の増加には変動速度の増加が大きく寄与していることがわかる。
- (2) 瞬時渦度分布より、その変動速度の増加要因を明らかにした。

参考文献

- (1) 片岡邦夫：日本機械学会講習会教材・噴流とその応用技術，98-11(1998)，13-20。
- (2) 塩屋貴之・福原稔・片野田洋・飯野直子・山下英成：可視化情報，28-1(2008)，117-118。