729 傾斜内壁をもつ矩形断面往復流路内流動の PIV 計測

PIV Measurement in two-pass rectangular channels with an inclined divider wall

正 中山 浩 (名大), ○正 廣田 真史 (名大), 正 藤田 秀臣 (名大)
 蔡 磊 (名大院), 倉本 博幸 (エプソン)

Hiroshi NAKAYAMA, Masafumi HIROTA, Hideomi FUJITA and Lei CAI,
 Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya University
 Hiroyuki KURAMOTO, Seiko EPSON Co., Matsumoto, Nagano

Keywords: Forced convection, Velocity measurement, Heat exchanger, LDV

1. 緒論

シャープターンをもつ矩形断面往復流路では、遠心力に起因する2次流れと大規模な流れのはく離、再付着が共存するため、流路内の流動は極めて複雑となり、流路内の熱伝達特性は複雑に変化することが知られている⁽¹⁾。

これまで、著者らは高空間分解能が得られるナフタレン昇華法を用いて、シャープターンをもつ矩形流路内の全壁面にわたる局所伝熱特性を実験的に明らかにしてきた⁽²⁾。特に流路内壁(隔壁)を外壁に対して傾斜させた場合には、局所熱伝達特性に大きな影響が及び、また傾斜角度の最適化により、平均熱伝達率の増大、流動抵抗の低減、熱伝達率分布の一樣性向上、など熱交換器により適した伝熱特性が得られる可能性を指摘してきた⁽³⁾。しかし、その伝熱特性に多大な影響を及ぼす内部流動については、流動特性が複雑なこともあって十分な研究は行われていない。このような流路の流動特性を明らかにすることは、工学的に興味深いだけでなく、より高効率な伝熱機器の設計にも有用な知見を与えることになる。

本研究では、傾斜内壁を有する長方形断面のシャープターン流路(図2)において、3種類の傾斜角度に対して、非接触で多点同時計測が可能なPIV法を用いて流路内の速度分布を計測し、隔壁傾斜角度が隔壁先端部におけるはく離泡の形成、ターン後の二次流れのパターンなどに及ぼす影響について検討した。

2. 実験装置および実験方法

図1にPIVによる実験装置の概要を示す。作動流体には室温空気を用い、流路系は吸い込み式とする。室温空気は整流室を経てシャープターンを持つ測定流路に流入し、フィルターおよび流量計を通過後、送風機により実験室外に排出される。測定流路入口はバッフル板を取り付けて、流入空気を強制的にはく離、急縮小させた⁽³⁾。

図2に測定領域の詳細と各壁面の名称を示す。流路は入口断面40mm×20mm(水力直径 $d_h=26.6$ mm)をもつ矩形流路であり、流路長さ226mm、流路隔壁を厚さ $T_d=8$ mm、ターン部の間隙寸法 C を40mmとして、流路隔壁の傾斜角度 α を+4°(拡大流路)、0°(平行流路)、-4°(縮小流路)の3通りに変化させた。流路入口で定義したレイノルズ数 $Re=U_b d_h/\nu=3.5\times 10^4$

(U_b : バルク速度, ν : 動粘性係数)の条件下で実験を行った。

座標系の原点は $\alpha=0^\circ$ の場合の隔壁先端中央とし、上流側の主流方向を X 軸、長辺壁スパン方向、短辺壁スパン方向をそれぞれ Y 軸、 Z 軸と定めた。流路の無次元化にはそれぞれ水力直径、流路幅($2A$)、流路高さ($2B$)を用いて、 $X^*=X/d_h$, $Y^*=Y/(2A+T_d/2)$, $Z^*=Z/B$ と定義した。 X , Y , Z 方向の平均速度成分はそれぞれ U , V , W と表す。

速度計測に用いたPIVシステムは、撮影用光源としてダブルパルスYAGレーザシート光(出力: 15mJ, 波長: 532nm, 発光半値幅: 5ns, シート光厚さ: 0.5mm)、相関カメラ(640×480pixel, 8bit)とレーザとカメラを同期させるシンクロナイザおよびコンピュータから構成されている。本計測ではトレーサとしてプロピレングリコールの煙を使用し、発光時間間隔 Δt を10~30 μ sに設定して測定断面を可視化した。PIVの解析には濃度相関法を適用し、速度ベクトルの算出にはサブピクセル補間を用いた。また設定した検査窓のサイズは31×31pixel、探査領域は40×40pixelとした。今回は1000枚の瞬時画像(500ペア)を用い、時間平均速度分布を算出し、流れ場の時間平均的挙動を調べた。

3. 実験結果および考察

3. 1 流路対称断面内の流れ

図3(a), 3(b), 3(c)にそれぞれ $\alpha=0^\circ$, -4° , $+4^\circ$ の場合の流路対称面上($Z^*=0$)における速度ベクトル分布およびバルク速度で無次元化された平均速度分布 $(U^2+V^2)^{1/2}/U_b$ を示す。

まずターン前の部分に注目すると、 $\alpha=0^\circ$ では、 Y 方向に対して対称な速度分布を示しており、 $X^*=-1$ からターン部の影響が現れ始め、高速流体が隔壁側に偏り、ターン内へ流入していく様子が見られる。 $\alpha=-4^\circ$, $\alpha=+4^\circ$ では、流路の縮小・拡大に伴い、それぞれ主流が下流方向に加速、減速している様子が見られる。

ターン部に流入した流れは、端面に衝突して減速すると同時に Y の正方向へ向きが変えられ、その後、ターン下流外壁に再衝突する。 $\alpha=-4^\circ$ ではターン部に流入する流体の流速が大きいため、端面に衝突する流れは強く、 $Y^*=0.5\sim 0.5$ の領域で端面(End wall)側に高速流体が偏る傾向が見られる。一方、 $\alpha=+4^\circ$ では端面に衝突する流れは $\alpha=-4^\circ$ に比べて弱く、隔壁

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Details of the test section
 ($\alpha=-4^\circ$, convergent channel)

側の先端部で流れが加速される傾向が見られる。いずれの流路でも端面に衝突した流れの一部分はターン前半コーナー部で逆流し、循環領域を形成する。この循環領域は $\alpha=+4^\circ, 0^\circ, -4^\circ$ の順に小さくなる。なお、ターン後半コーナー部には、いずれの場合にも明確な循環領域は観察されない。

ターン下流の領域では、流れ場に及ぼす α の影響が顕著に認められる。 $\alpha=0^\circ$ の場合では隔壁先端からはく離して $X^*=-2.6$ 付近の隔壁上に再付着する流れが見られ、隔壁に沿ってはく離泡が形成される。この結果外壁側の流速は最大で U_b の2.2倍になる。 $\alpha=-4^\circ$ の場合にははく離泡が大きく発達し、外壁側に最大速度が U_b の2.2倍程度の高速度領域をもつスパン方向に偏った速度分布が見られる。 $\alpha=+4^\circ$ では、隔壁の傾斜と流れのはく離による実質的な流路断面積が小さくなるため、この領域を通過する流体の速度は外壁側で U_b の2.6倍に達し、またははく離泡のスケールは他の流路に比べ小さくなる。

3. 2 断面2次流れ

図4(a), 4(b), (c)にそれぞれ $\alpha=0^\circ, -4^\circ, +4^\circ$ の場合の断面2次流れを示す。これらの図において左側は隔壁側、右側は外壁側(ターン内では端面)を示している。また、それぞれの流路における3種類の図は、流路の3断面(ターン中間部、ターン出口部、ターン下流部)を示している。

ターン中間部では、いずれの流路でもターン部に流入した

流体が外壁(端面)に衝突した後、一部の流体が上下面に吹き降ろし、この壁面に沿って隔壁側に戻るといった1対の渦を形成している様子が見られる。 $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=-4^\circ$ では、隔壁側にははく離泡に対応する低速度領域が見られるが、 $\alpha=+4^\circ$ では、隔壁側の低速度領域はごく小さく、隔壁から端面まで広がる大規模な渦構造を示す。

ターン出口部では、ターン中間部と同様に、いずれの流路でも外壁側に1対の渦を形成し、その渦は $\alpha=-4^\circ, 0^\circ, +4^\circ$ の順に強くなることわかる。 $\alpha=-4^\circ$ では、最大で U_b の約0.75倍の流れが生じているが、他の流路に比べて2次流れは弱く、全体的に外壁側に向かう流れが生じている。一方、 $\alpha=+4^\circ$ の流路においては、流路縮小の効果により2次流れの大きさは最大で U_b の3.26倍に達し、外壁側に向かう強い流れが形成される。

ターン下流部において、 $\alpha=-4^\circ$ では、ターン出口部と同様に、外壁側にわずかに渦構造が見られるが、全体的に2次流れはさらに弱まる傾向を示す。 $\alpha=+4^\circ$ では、外壁側の渦のスケールがターン出口よりも大きくなり、上下壁に沿って隔壁側に向かう流れが支配的になることがわかる。

参考文献

- (1) Metzger et al., J Heat Transfer, 108 (1986), 500.
- (2) 廣田・他5名, 機論, 64-625, B(1998), 2977.
- (3) 廣田・他4名, 機論, 67-656, B(2001), 1012.

Fig.3 Mean velocity vector maps and distribution maps

Fig.4 Secondary flow vector maps