A112 後向きステップ下流の温度場の可視化・伝熱特性

Thermo Image and Heat Transfer behind Backward-Facing Step

○宮藤 義孝(琉球大院), 屋我 実(琉球大工)

照屋 功, 瀬名波 出, 親川 兼勇

Yoshitaka MIYAFUJI¹, Minoru YAGA¹Isao TERUYA¹, Izuru SENAHA¹, Kenyu OYAKAWA¹¹ University of the Ryukyus, Senbaru-1, Nishihara Okinawa, 903-0213

Thermo images and heat transfer characteristics downstream of a backward-facing step were measured varying separation distances between pairs vortex generators which were set upstream of an entrance of step in order to control the heat transfer. The pair of vortex generators is made of two rectangular blades widening downstream. Addition of the longitudinal vortex which is produced by the vortex generators to the main shear layer flow separated from step entrance caused the reattachment point of main flow to move upstream, suppressed the fluctuation of reattachment flow, and the heat transfer consequently was improved in the recirculation region.

Keywords: Reattachment flow, Thermo images, Heat transfer characteristics, Longitudinal vortex

1. 緒言

はく離、再付着現象を伴う基本的な流れの1つである後向きステップ流れは、工学的な装置として多く見られ、これまで数多くの研究がなされてきた。本研究では、ステップ上流の流れに縦渦を付加することにより、はく離せん断層により大きな誘引を引き起こさせることで、再付着位置を上流側へ移動させることを考えた。ステップ上流の流れに対して傾けた複数の翼対(ボルテックス・ジェネレータ、以下 V.G.)を設置し、縦渦を発生させる。赤外線映像装置により、ステップ下流の再付着点近傍の全面的瞬間的な温度分布を測定し、V.G.設置による時間的・空間的な熱移動現象を観察した。温度分布の可視化との比較のために、熱電対を用いてステップ下流の局所熱伝達率を測定した。可視化された温度場と局所熱伝達率を対比することにより伝熱特性を解明する。なお、V.G.下流の基本的な温度場を知る目的から、平行平板流路内にV.G.を設置し、近傍の瞬間的な温度分布も測定した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、流路高さ $H_0=60\text{mm}$ 、スパン幅 300mm の断面をもつ、片面断熱流路である。ノズルを介して作動流体として空気が流入される。ステップ側の伝熱板は、ベークライト板に厚さ $30\mu\text{m}$ のステンレス箔を接着し、通電加熱することにより、熱流束を一定にした。ステップ高さ $H=40\text{mm}$ で一定とし、ステップ上端部に V.G.を設置した。なお、拡大比 $ER=(H_0+H)/H_0=1.67$ である。装置の概略および観測窓等を Fig.1 に示す。赤外線映像装置は赤外線センサに水平 160 と垂直 120 素子のインジウム・アンチモン (InSb) が搭載され、掃引時間は約 1/100 秒で、2次元温度分布を熱画素として取り込み、映し出すものである。温度分解能は約 0.025°C である。本実験では赤外線映像の他にステンレス箔裏面に流れ方向にハンダ付けされた $70\mu\text{m}$ の銅-コンスタンタン熱電対 53 本により壁面温度を測定し、熱伝達率も求めた。スパン方向の局所分布は V.G.位置を移動させて測定した。実験に使用した V.G.の配置図と寸法を Fig.2 に示す。V.G.幅 $W=30.0\text{mm}$ 、 50.0mm の2種類について実験を行った。

Fig.1 Experimental apparatus and Infrared camera

Fig.2 Arrangement of pairs of winglets as vortex generators

3. 実験結果および考察

3.1 赤外線映像による温度分布

V.G. 近傍および下流域の赤外線映像装置のデータを基に描いた温度分布を Fig.3 に示す。各等温線図の間隔は 0.5°C で、横軸および縦軸は流路高さ H_0 で無次元化している。 $W=30.0\text{mm}$ の場合、V.G.の前縁付近で大きな周期的温度分布を示す。V.G.による主巻き込み渦の吹き下ろしによって、1つのV.G.の背面は局部的に冷えていることがわかる。 $X/H_0=0.5$ 付近から縦渦と隣接の縦渦の相互助長作用により、周期的温度分布は小刻みとなる。 $W=50.0\text{mm}$ の

Fig.3 Isotherm contours near vortex generators being set in a parallel plate duct

場合, V.G. と V.G. の間では, 間隔が広いので, 温度の急激な変化は見られない。しかし, 1 対の V.G. の背面では, $W=30.0\text{mm}$ の場合と同様に, 局部的に冷え, 40°C の等温度線に注目すると, 縦渦による伝熱促進の効果が $W=30.0\text{mm}$ に比べ, 下流域にまで及んでいることがわかる。ただし, V.G. ごとに独立した温度分布であり, 縦渦と縦渦による相互助長作用は弱いことがわかる。

流速 $U=15.0\text{m/s}$ ($Re_H=37000$) でステップ下流の再付着点近傍の温度分布の測定を行った。V.G. が無い場合 (以下 smooth), $W=30.0\text{mm}$, 50.0mm における等温度線の分布を Fig.4 に示す。各等温度線の間隔は 0.1°C で, 横軸および縦軸はステップ高さ H で無次元化した。smooth の場合, 低温度領域が $X/H=4.0 \sim 6.0$ の範囲で存在し, $Z/H=\pm 0.5 \sim \pm 1.125$ にあり, 40.1°C を示している。本実験で, 再付着領域は時間的・空間的に変動し, 低温度領域の合体・分離を繰り返し, 常に流れ方向およびスパン方向に揺動していることが確認された。 $W=30.0\text{mm}$ の場合, 低温度領域が $X/H=3.0 \sim 5.0$, $Z/H=-0.5 \sim -1.125$ の範囲で存在し, $X/H=4.0$ で 38.9°C を示している。V.G. によって形成された縦渦とはく離せん断層内の3次元の渦が相互作用し, 偏って伝熱板上に再付着していると考えられる。再付着領域の時間的・空間的な変動は, smooth に比べ低温度領域の僅かな拡大・縮小をとまうものの, 抑えられていることが確認された。 $W=50.0\text{mm}$ の場合, 低温度領域が $X/H=3.0 \sim 5.0$, $X/H=-0.5 \sim 0.5$ および $Z/H=\pm 1.0 \sim \pm 1.125$ の範囲で3個存在し, 真中の低温度領域では, $X/H=4.0$ に 38.5°C の温度域が存在する。3 個の低温度領域は V.G. の配列に依っており, $W=30.0\text{mm}$ の時と同様に smooth に比べ, 上流側に移動しており, かつ再付着領域の時間的・空間的な変動が抑えられていることが確認された。はく離せん断層内のランダムで3次元のかつ大規模な渦が, 縦渦の付加によって, 誘引流量が増加し, 主流はより大きく湾曲し, 上流側に再付着する。その際, 縦渦による誘引流量が, スパン方向の流れ場をある程度決め, 規則正しい小規模な渦に変えることにより, はく離せん断層はスパン方向にて局部的に再付着すると考えられる。

Fig.4 Isotherm contours near reattachment region

3.2 局所熱伝達率分布

流れ方向, 流路中央の局所熱伝達率分布を Fig.5 に示す。V.G. のある場合が, smooth に比べ, 最大熱伝達率は増加し, その位置は $X/H=6$ よりかなり上流側に移動している。Fig.4 の赤外線画像と対比させると, 多少のずれはあるも

の, 傾向は, ほとんど一致している。スパン方向の代表的な局所熱伝達率を Fig.6 に示す。図中に各プロットの平均値を点線で示してある。 $X/H=4$ において, $W=30.0\text{mm}$ では, 右下がりの分布となり, $W=50.0\text{mm}$ では, V.G. の影響をうかがわせる2つの下に膨らみを持った分布がみられる。 $X/H=6$ では, $X/H=4$ と相似な分布をとり, $W=50.0\text{mm}$ では, 2つの膨らみを持った分布が一段とはっきりしてくる。 $X/H=8$ では, $W=30.0\text{mm}$ は $X/H=4$ と相似な分布をとるものの, $W=50.0\text{mm}$ ではスパン方向に均一な分布に戻りつつある。各スパンの局所熱伝達率を平均し, その値の流れ方向の変化を Fig.7 に示す。 $W=30.0\text{mm}$ においては, $X/H=4$ の位置で, $W=50.0\text{mm}$ では, $X/H=5$ の位置で最大値をとる。 $X/H=7$ 以降で $W=30.0\text{mm}$ の方が平均の熱伝達率が高いことから, 下流域まで伝熱促進を図るには, Fig.5 Streamwise variation of local V.G. 幅が狭い方が有効であることがわかる。

Fig.6 Distribution of spanwise local heat transfer coefficients

4. 結言

- 1) V.G. 幅 $W=30.0\text{mm}$ では, 再付着点が上流側に大きく移動し, 最大熱伝達率および局所値が増大した。温度分布は, V.G. によって生成される縦渦およびはく離せん断層内の渦が複雑に干渉しあい, 低温度領域が中央ではなく偏った分布をとる。
- 2) V.G. 幅 $W=50.0\text{mm}$ でも, 熱伝達率が増加し, V.G. による縦渦の影響がスパン方向に明らかに顕れ, 温度分布, 局所熱伝達率分布の変化が明確になる。
- 3) 再付着領域は, V.G. を使用することにより, 上流側へ移動し, 揺動を減少させ局所的な低温度領域を形成する。 $W=30.0\text{mm}$ は再付着の領域, $W=50.0\text{mm}$ は再付着下流における熱伝達増大に大きく寄与する。

参考文献

- 1) 親川・他2名, 噴流による後向きステップ下流の再循環領域の熱伝達特性の制御に関する研究, 日本機械学会論文集, B, Vol.60, No.569(1994), pp.248-254