4 1 2 Sink-flow 乱流境界層における再層流化現象(組織構造の変化)

Relaminarization Phenomenon in the Sink-Flow Turbulent Boundary Layer (Variation of Coherent Structure)

○学 中田 昌樹 (徳島大院) 正 一宮 昌司 (徳島大)

Masaki NAKATA and Masashi ICHIMIYA, University of Tokushima, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima 770-8506

Key Words : Turbulence, Boundary Layer, Sink-Flow, Relaminarization, U-Level Method

1. 緒言

乱流を順圧力勾配のもとで加速すると、次第に層流に近い特性を示すようになることはよく知られており「再層流化」、「逆遷移」と呼ばれている。流れが再層流化されると、熱伝達率が減少して冷却性能が劣化する等の不都合が生じるが、逆に流れを乱流から再層流化させることにより、空気抵抗、騒音の低減等が見込め、工学的価値が高い。本研究は流路縮小によって加速された乱流境界層の再層流化に注目し、実験を行った。縮小形状は、流路を直線的に絞ることにより主流の加速度合いが一定となる sink flow を採用した。本報告は sink flow 区間の壁面近傍における渦塊のスケールの変化を横速度相関係数の変化から考察し、また sink flow が組織構造に及ぼす影響についても考察する。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置は全長約 10m の吹出型風洞で、測定部は図 1 に示すように入口断面 570mm×620mm、全長 4m で測定用平板とそれに向かい合う下側の圧力調整板からなる。圧力調整板を途中から直線的に測定用平板に近づけ sink flow を実現する。流路縮小開始位置である、平板前縁から 2500mm 下流での平板上の中心を座標原点とし、x 軸を流れ方向、y 軸を平板に垂直、それらに垂直に z 軸をとった。流れ方向座標 x は流路縮小開始位置における境界層厚さ δ_0 (≈ 33 mm) で無次元化して示す。測定は 2 本の I 型熱線を用い、原点における主流速度と δ_0 に基づく $Re=11198$ として行った。熱線出力はサンプリング周波数 10kHz、サンプリング時間 26 秒で A/D 変換され、パーソナルコンピュータで処理された。

3. 実験結果及び考察

図 2 に加速パラメータ $K(=v/U_\infty^2 \cdot (dU_\infty/dx))$ の流れ方向への分布を示す。図 2 中の 2 本の縦線は流路縮小開始位置と終了位置を示す。加速パラメータは上流平行区間後半から縮小の

Fig. 1 Configuration of flow field and coordinate system

影響が出始めて増加してゆき、再層流化の開始基準とされる $K=3.5 \times 10^{-6}$ ⁽¹⁾ を超える。縮小区間に入ると、 $x/\delta_0=1.5 \sim 9.1$ の範囲(実寸 250mm)において、加速パラメータ K が一定値 (5.6×10^{-6}) となる sink flow が実現できていることが分かる。

図 3 に上流平行区間の 1 断面($x/\delta_0=-27.2$)及び sink flow 最上流・最下流断面($x/\delta_0=1.5, 9.1$)の計 3 断面における横速度相関係数 $g(r)$ の境界層厚さ方向への変化を示す。どの断面でも受感部中心間隔 $r=1.6$ mm が他の r の場合より相関係数の値が大きい。これは 2 本のプローブ間隔が組織渦のスケールよりも小さいために同一の組織渦を検出する頻度が多くなったものと考えられる。また、相関係数の値は r の値が大きくなるにつれて境界層全域で減少する。さらに、同じ r における相関係数の値は、特に壁近くで下流に行くほど減少する。すなわち境界層内に発生する組織渦のスケールが sink flow の下流進行により減少すると考えられる。

次に sink flow が乱流境界層中の組織構造に及ぼす影響を調べるために 2 本のプローブのイジェクション・スイープを u レベル法を用いて検出し、一方のプローブがイジェクションまたはスイープを検出したときにもう片方のプローブもイジェクションまたはスイープを検出する割合を求めた。 $x/\delta_0=-27.2, 1.5, 9.1$ の各断面に対する結果を図 4 に示す。なお u レベル法とは流れ方向変動速度 u がその分散 u' の k_e 倍より小さいときにイジェクション、もしくは u' の k_s 倍より大きいときにスイープとして組織構造を検出する方法であり、本研究では $k_e=k_s=1$ とした。3 断面ともに 2 本の熱線の受感部間隔 r が増加するに従って境界層全域で検出比の値が減少するものの、壁近くにおいて $r \geq 3$ mm では r の値に関わらずほぼ一定の値をとる。これは上述したように、2 本のプローブ間隔 r が組織渦のスケールよりも小さければ同一の組織渦を検出するために検出比が増え、 r が組織渦のスケールよりも大きければ、スパン方向にはイジェクション・スイープの発生頻度が時間平均するとほぼ一定であるために検出比が一定になったと考えられる。さらに $x/\delta_0=9.1$ では $y/\delta \approx 0.1$ 付近で検出比が極小値をとる傾向が見られた。これは sink flow の下流進行により $y/\delta \approx 0.1$ 付近で組織渦の横方向間隔が広がることを示唆すると思われる。

4. 結言

sink flow の下流に進むに従って境界層内に発生する組織渦のスケールが小さくなる。

sink flow 区間内における再層流化によって組織渦の横方向間隔が広がることが示唆される。

参考文献

- 1) Moretti, P. M. and Kays, W. M., *Int. J. Heat Mass Transf.*, 8-9 (1965), 118.
- 2) Lu, S. S., and Willmarth, W. W., *J. Fluid Mech.* 60-3(1973), 481.
- 3) 一宮・他5名, 機論, 62-594 B(1996), 483.

Fig. 2 Acceleration parameter

Fig. 3 Lateral velocity correlation coefficient ($x/\delta_0 = -27.2, 1.5, 9.1$)

Fig. 4 Detection ratio ($x/\delta_0 = -27.2, 1.5, 9.1$)