

No.2 壁面吸い込みによる境界層遷移の制御

吉岡修哉 (KTH) J. H. M. Fransson (KTH) P. H. Alfredsson (KTH)

Control of boundary layer transition by wall suction

S. Yoshioka, J. H. M. Fransson and P. H. Alfredsson

Department of Mechanics, Royal Institute of Technology (KTH)

ABSTRACT

Effect of wall suction on the delay of free stream turbulence induced boundary layer transition is experimentally investigated. Variation of shape factor and downstream evolution of turbulence intensity in boundary layer show the suction stabilizes the laminar boundary layer and delays the transition. This trend is remarkably observed when higher velocity suction is applied.

Key Words: Boundary layer transition, Wall suction, Laminar flow control, Free stream turbulence

1 緒論

強い主流乱れが作用する状態においても、境界層の状態を層流に保つことは、工学的に重要である。著者らはこれまでに、主流乱れは境界層内に高速領域と低速領域を新たに導入し（ストリーク構造）、この乱れが増幅して乱流塊に崩壊することを明らかにした⁽¹⁾。本研究では、この主流乱れが作用する境界層に対し壁面から一様な吸い込みを与え、乱流化を遅延、あるいは防止することを試みる。

壁面からの一様な吸い込みは、層流境界層を安定化させることはよく知られている。Fransson⁽²⁾は、主流乱れ作用下における境界層に対しても、この手法が有効であることを示した。本報告では、これを他のレイノルズ数、他の主流乱れ強さの場合にも拡張し、境界層への主流乱れの受容性や、下流への乱れの発達について検討する。

2 実験装置

実験は、KTHのMTL風洞にて、Fransson⁽²⁾と同じ装置を用いて行った。テストセクションの概要を図1に示す。一様な壁面吸い込みは、平板の表面を覆った多孔質板を通して行った。主流乱れは、平板の上流部に設置した格子により生成した。下流には、前縁への流入角度を調整するためのフラップとスクリーンを設置した。速度計測は、トラバース装置に搭載したI型熱線風速計により行った。主流速度はすべての実験を通して $U_\infty=5\text{m/s}$ とした。壁面からの吸い込

み速度 V_0 は、主流速度の最大0.4%までの間で変化させた。与えた主流乱れは3種類で、それぞれの前縁部における乱れ強さは $Tu=U_{rms}/U_\infty=1.6\%$ 、 2.0% 、 2.3% である（以後それぞれG1、G2、G3と表す）。

2 結果及び考察

層流境界層に壁面吸い込みが一様に作用すると、境界層内の平均速度分布 $U(y)$ は、

$$U(y) = U_\infty \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-V_0}{\nu} y\right) \right\} \quad (1)$$

と表される⁽³⁾。ここで V_0 は吸い込み速度である。これより、境界層厚さは流れ方向によらないことがわかる。これから、排除厚さ δ_1 に基づくレイノルズ数は $Re_{\delta_1} = U_\infty/V_0$ 、形状係数は $H_{12}=2.0$ と計算される。図2に、吸い込み無しの場合と、主流速度の0.2%の吸い込みを与えた場合の平均速度分布を示す。ともにブラジウス分布、式(1)の分布とよく一致している。

図3に、主流乱れG3を与えた場合の、形状係数の下流方向への変化を示す。吸い込み無しの場合、最上流の計測点において形状係数は $H_{12}=2.6$ を下回っており、すでに間欠状態となっている。さらに下流では徐々に減少し、最下流部ではほぼ $H_{12}=1.4$ 、すなわち乱流となっていることがわかる。次に、壁面吸い込みを与えた場合を検討する。吸い込み速度が主流速度の0.1%の場合は、最上流部では層流値の $H_{12}=2.0$ を保っているが、下流方向に減少し、最下流部では

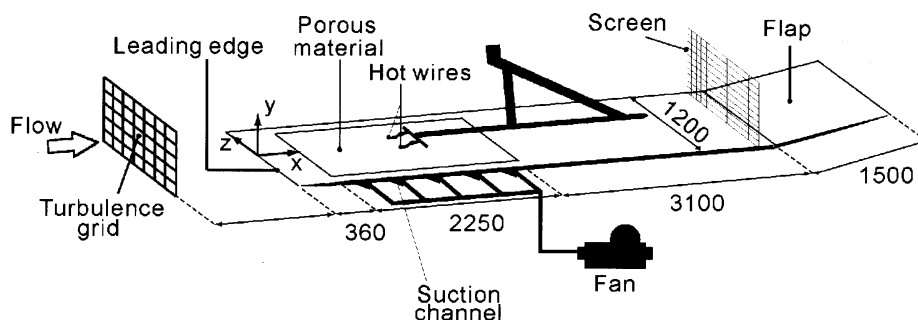


図1 テストセクション

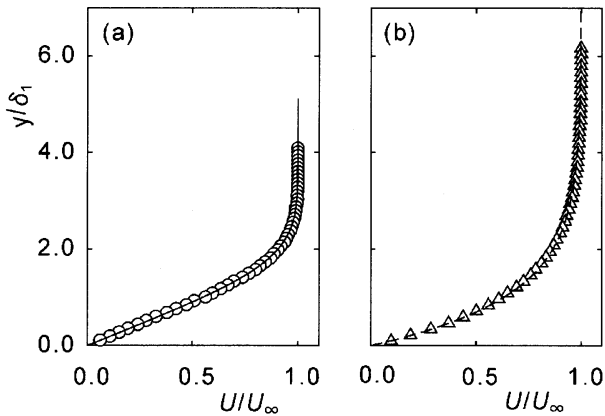


図2 時間平均速度分布 (a) 吸い込み無し (b) 吸い込み有り. 実線:ブラジウス分布, 破線:式(1)

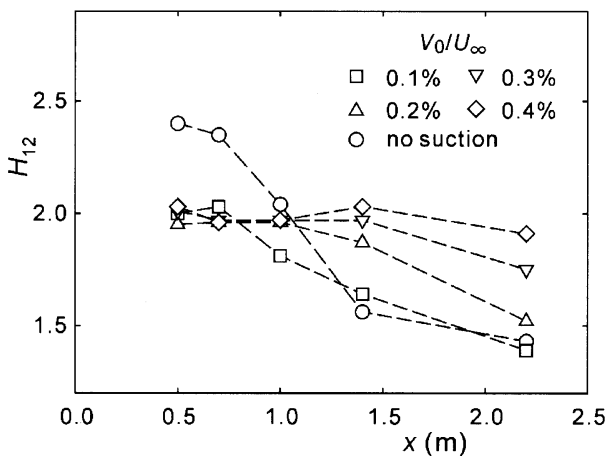


図3 形状係数の下流方向への変化 (G3 の場合)

吸い込み無しの場合と同様に乱流となる. それに対し 0.2% 以上の吸い込みを与えると, 形状係数の下流方向への減少は抑えられることが見て取れる. その傾向は吸い込み速度が大きいほど顕著で, 最大の吸い込み速度 0.4% の場合, 形状係数はほぼ層流状態の $H_{12}=2.0$ を保ち, 乱流化が起こらなくなる.

次に, 境界層内に導入された乱れの発達について検討する. 図4に, 流れ方向各点における, 境界層内の乱れ強さの最大値を示す. (a)に示すG1の場合, 吸い込み無しから 0.3% の吸い込みまでの場合は, 下流方向へ乱れは増加する. 一方で吸い込みが 0.4% の場合, 乱れは増加しない. (b)に示すG2の場合は, 吸い込み無しの場合, 乱れはまず増大し, $x=1.4\text{m}$ で最大値を取り, さらに下流では減少する. これは, 流れが間欠状態を経て乱流に移移していることを表す. 壁面吸い込みを与えると, G1の場合と同様に乱れの増加は抑えられる. (c)に示すG3の場合は, 吸い込み無しの場合と, 吸い込み速度 0.1% の場合に, それぞれ $x=1.0\text{m}$, 1.4m で乱れ強さが極大値を取り, 間欠状態を経て乱流化している. 一方で, 最大の吸い込み速度である 0.4% の吸い込みを与えた場合, 乱れ強さは下流方向に直線的に減衰している. これは, 0.4% の吸い込み速度を与えると乱流化が起こらなくなるという, 図3の結果と整合する.

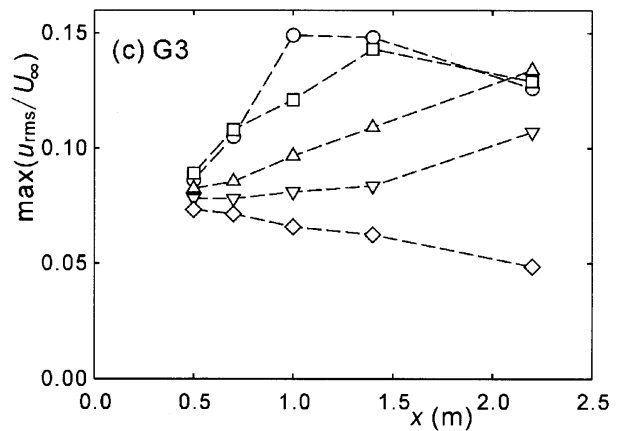
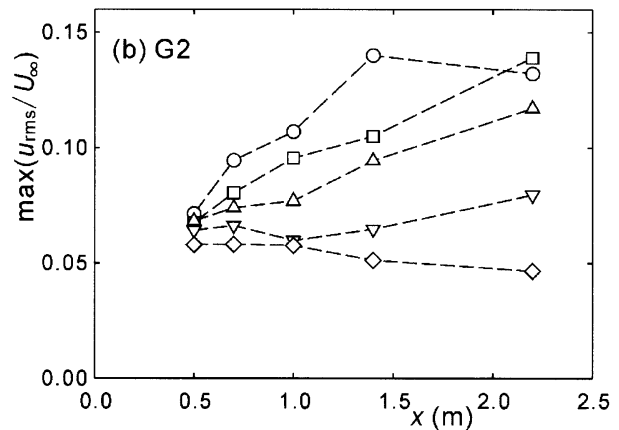
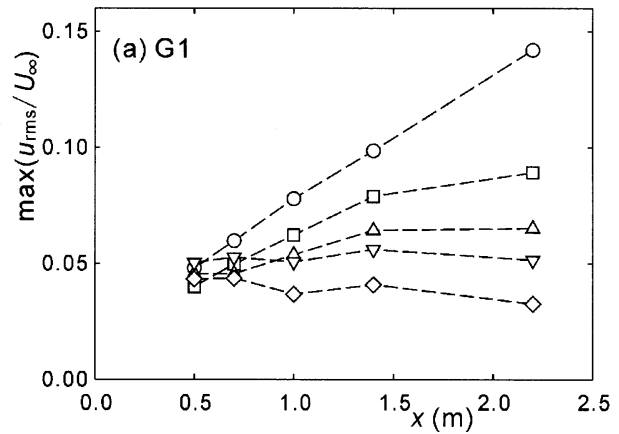


図4 乱れ強さの下流方向への発達 (a) G1, (b) G2, (c) G3 記号は図3と同様

本研究の一部は, スカンジナビア・ニッポン ササカワ財団の助成を得て行われた (助成番号01-14). ここに記し謝意を表す.

参考文献

- (1) M. Matsubara and P. H. Alfredsson, 2001, Disturbance growth in boundary layers subjected to free-stream turbulence, *Journal of Fluid Mechanics*, 430, pp. 149-168.
- (2) J. H. M. Fransson, 2001, Investigation of the asymptotic suction boundary layer, Licentiate Thesis, KTH, TRITA-MEK Tech. Rep. 2001:11, http://www2.mech.kth.se/~jensf/LicThesis_JHMF.pdf
- (3) H. Schlichting, 1979, *Boundary-Layer Theory*, 7th edition, McGraw-Hill.