

境界層外の乱れが境界層に取り込まれる過程に関する実験的研究

福西 祐, 大野 拓郎, 茂田 正哉, 伊澤 精一郎 (東北大工)

Experimental Study of the Process Which an Outer Disturbance is Taken into a Boundary Layer

Y. Fukunishi, T. Ohno, M. Kurihara and S. Izawa

Dept. of Mech. Eng., Tohoku University

ABSTRACT

The effect of outer disturbances on the boundary layer transition is investigated experimentally. The outer disturbances are introduced above a boundary layer by small jets that are ejected in the downstream direction through small holes opened in the circular pipe located outside the boundary layer. It is observed that the low-frequency component fluctuations of outer disturbances jump obliquely into the boundary layer in the spanwise and downward directions.

Key Words : outer disturbance, receptivity, boundary layer

1. はじめに

境界層の遷移は、一般に、境界層内に取り込まれた乱れが成長することから始まる。乱れの種としては、いわゆる一様流中の乱れに加え、一様中にある音があげられる。たとえ物体表面が限りなく滑らかであっても境界層は遅かれ早かれ乱流へと遷移する。このことは、一様中の乱れなどの外乱が境界層内へ取り込まれるルートが存在することを意味する。通常外乱の受容は境界層の始まる前縁部で起こることが多いが、境界層へ直接取り込まれる可能性も否定することはできない。そこで本研究では、平板境界層を対象として、境界層上空の主流中に人工的に乱れを導入し、境界層外の乱れが境界層に取り込まれる過程について風洞実験により詳しく調べた⁽¹⁾。なお、実験は、導入した外乱が平板前縁部で受容されることのないように工夫して行った。

2. 実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験は吹き出し型の低乱風洞を用いて測定部を密閉型の状態で行った。本実験で用いた風速 $U = 5.0\text{m/s}$ における一様流の乱れ強さ u'_{rms}/U は 0.25% 以下である。平板は全長 1,800mm、幅 490mm、厚さ 10mm のアルミニウム合金製で、前縁部は長短軸比が 24:1 の楕円状に加工されており、前縁部と平板部の継ぎ目において一様中の乱れを受容しないように曲率変化が滑らかになるような工夫がなされている。また、流れが前縁近傍ではく離しないよう平板後縁に取り付けたフラップを操作しながら、平板上の圧力勾配がゼロになるように可動式の測定部上部壁面の高さを調

整した。座標系の原点は前縁部中央とし、流れ方向に x 軸、壁面垂直方向に y 軸、スパン方向に z 軸をとった。

平板前縁から 500mm の位置には、乱れを導入するための $y = 25\text{mm}$ の高さに直径 5mm のバーを設置し、一定間隔 M で開けた直径 1mm の小孔からジェットを下流側へ向かって噴出させた。このとき、噴流の速度 \bar{u}_j は、 $M = 40\text{mm}$ では 9.8m/s、 $M = 60\text{mm}$ では 11.8m/s であった。流速の測定には単線の熱線風速計を用いた。サンプリング周波数は 5kHz である。

3. 結果と考察

はじめに導入した外乱が平板前縁で受容されていないか確かめるため、バーを $x = 500\text{mm}$ と 1,000mm の位置に設置し、噴流を吹き出させた状態でバー上流の速度分布を測定した。その結果、バーよりも上流域においては境界層内の速度変動 u'_{rms} の分布に変化はなく、平板前縁における乱れの影響はないものと判断した。

Fig. 2 は、 xy 断面における u'_{rms} の分布である。外乱が広がり境界層へ到達するのは、噴流吹き出し口 ($z = 20\text{mm}$) の直下ではバーの下流 250mm 付近、吹き出し口と吹き出し口の中心位置 ($z = 0\text{mm}$) ではおよそ 170mm 付近であった。しかし、境界層内ではいずれも外乱到達前の $x = 600\sim 650\text{mm}$ から速度変動の成長が見られ、境界層外部の速度変動が境界層内に飛び火している現象が観測された。周波数解析の結果から、このとき一番初めに成長しはじめたのは 50~100Hz 以下の低周波数成分の変動であり、高周波数成分は外乱が境界層に到達してから成長することがわかった。 $z = 0\text{mm}$ の位置では、境界層内の速度変動のスペクトルにバーによ

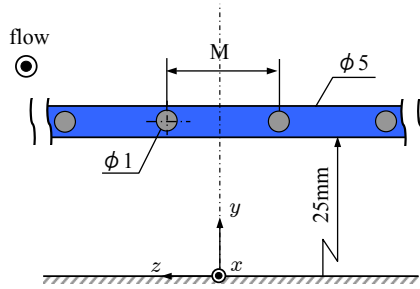
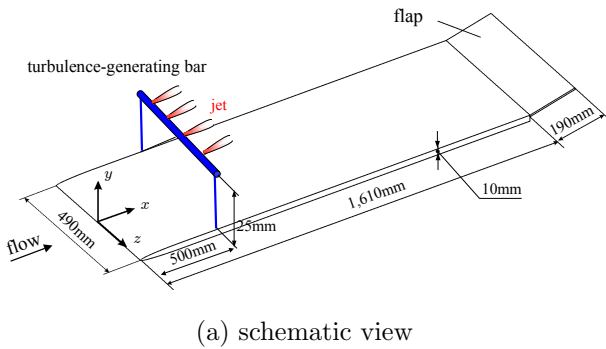


Fig.1 Experimental setup

るカルマン渦列の周波数 200Hz に対応するピークも観測されたが、成長する様子は見られなかった。

Fig. 3 は、 $x = 550\text{mm}$ における yz 断面から見た u'_{rms} の様子である。ここでは、50Hz のローパスフィルターを通して低周波成分のみに着目している。噴流吹き出し口 $z = \pm 20\text{mm}$ の下流では大きな速度変動が生じているが、壁面近傍の領域では、逆に、噴出孔のない円柱の後流領域の下方で強い速度変動が誘起されていることがわかる。このことは、低周波成分の速度変動が斜め下方に飛び火していることを示唆している。

Fig. 4 は、同じ断面の速度分布を示している。速度分布が緩やかに波打っており、 $z = 0\text{mm}$ 付近の速度変動が大きな領域は高速領域に位置することがわかる。外乱によって誘起されたこの低周波成分の速度変動はやがてスパン方向に広がり、 $x = 900\text{mm}$ では逆に $z = \pm 20\text{mm}$ の低速部の方が速度変動が強くなることがわかった。噴出孔間隔 M を 60mm にした場合は、 $x = 750\text{mm}$ 付近でピークバレー構造が形成され、 900mm ではさらにそれが崩壊して乱流へ遷移している様子が観測された。

4. まとめ

境界層外部から導入した外乱の低周波数成分が境界層内に速度変動を誘起し、やがて成長しストリーク構造を形成する過程が観察された。

参考文献

- 1) 大野, 三木, 茂田, 伊澤, 福西, 第 85 期日本機械学会流体工学部門講演会論文集, (2007), CD-ROM.

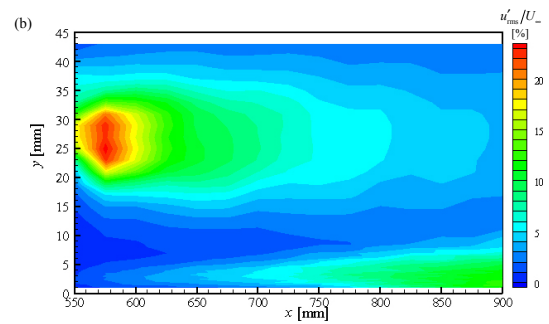
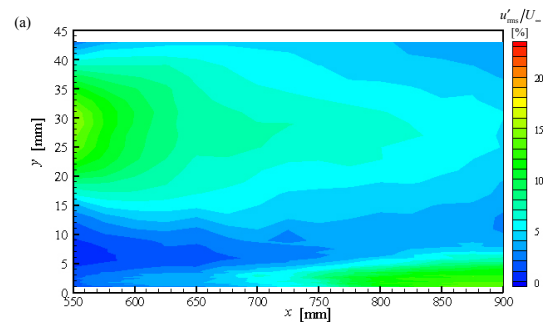


Fig.2 Contor map of u'_{rms} at $z = 0\text{mm}$ (a) and 20mm (b).

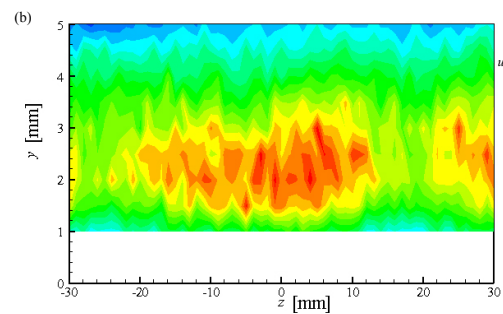
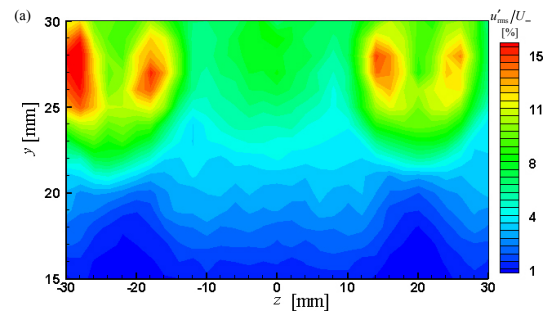


Fig.3 Contor map of u'_{rms} at $x = 550\text{mm}$ (lowpass filter, 50Hz).

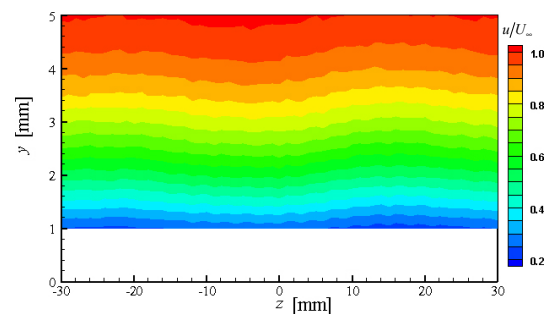


Fig.4 Contor map of u at $x = 550\text{mm}$.