

## No. 8

## 乱流環境におかれた乱流スポットのふるまい

福西 祐\*, 島田 勝\*

## Behavior of Turbulent Spots in a Turbulent Environment

Yu FUKUNISHI and Masaru SHIMADA

Faculty of Engineering, Tohoku University

The results of an experimental study to investigate the behavior of turbulent spots in a turbulent boundary layer are reported. A turbulent boundary layer is created by a trip wire or distributed roughness elements on the plate surface. The turbulent spot, introduced by a short duration ejection of a jet from a small hole on the flat plate, grows downstream and moves into the turbulent environment. Measurements show that its growth in the turbulent boundary layer is different from that in a laminar boundary layer.

## 1. 緒言

境界層が層流から乱流に遷移する際、多くの場合その最終段階で乱流斑点が発生する。この乱流斑点が成長し、やがて境界層を埋め尽くす形で乱流境界層が形成されていくと考えられている。したがって、境界層の乱流遷移過程を理解する上で、その最終段階でみられる乱流斑点の特徴を理解することは必要不可欠であり、古くから乱流斑点に関する研究は盛んに行われてきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。一方、十分に発達した乱流境界層中には秩序運動あるいは組織的構造と呼ばれる渦構造が見つけれられており、それは乱流斑点の流れの構造と似ていなくもない。乱流中に壁面から瞬間的にジェットを噴くことで組織的構造の再生を試みたMakita and Sassa<sup>(4)</sup>の興味深い実験があるが、回りが乱流であるため、ジェットが作った構造と回りの乱流とを区別することに困難がある。

本研究は、平板に沿う圧力勾配の無い2次元層流境界層中に人工的に乱流斑点を作り、その下流でトリップワイヤあるいは粗度により回りの境界層を乱流化し、層流境界層中と乱流斑点の振る舞いに差が生じるか否かを観察しようとするものである。

## 2. 実験装置および測定方法

実験には東北大学流体科学研究所の検定風洞を測定部を密閉型の状態で使用した。圧力勾配の無い2次元層流境界層は測定部に垂直に置かれた平板上に作られる。図1にその概略図を示す。

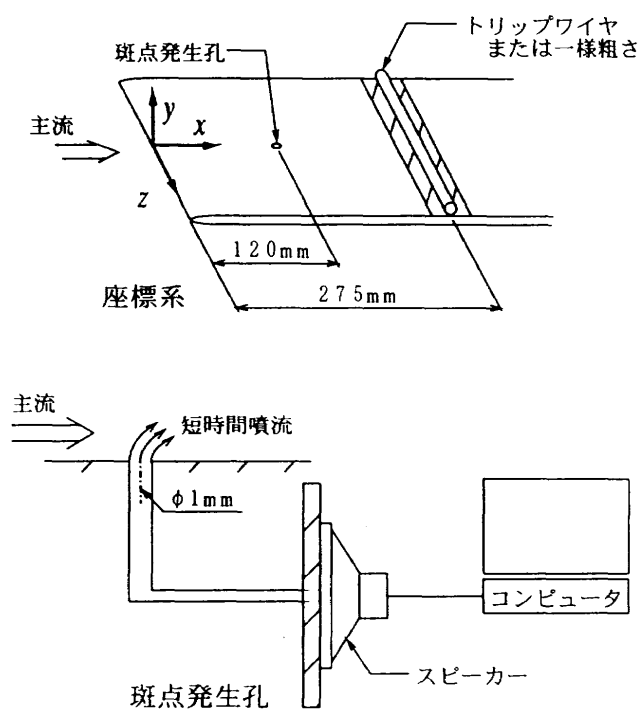


図1 実験装置

実験は主流速度  $U_\infty = 10\text{m/s}$  で行われ、測定には I 型の定温度型熱線流速計を用いた。ここで得られた波形を、1地点につき950回分アンサンブル平均することにより乱流斑点を観察している。乱流斑点は、平板前縁からの距離  $x = 120\text{mm}$  の位置に直径  $1\text{mm}$  の小孔(斑点発生孔)を設け、そこから微小噴流を噴出させることにより人工的に作った。その微小噴流は、直径  $8\text{cm}$  のスピーカーをコンピュータで制御することにより発生させた。また、境界層は2通りの方法で強制的に乱流に遷移

\* 東北大学工学部

させた。一方は、 $x=275\text{mm}$  の位置に直径 $1.5\text{mm}$  の円形断面をもつトリップワイヤを流れと直角に設置することにより遷移させ、他方は $x=250\sim 300\text{mm}$  に平均粒径 $1.7\text{mm}$  のスチールボールを一様に分布させることにより遷移させた。

なお座標系は平板前縁中央部を原点とし、主流方向に  $x$  軸 (速度  $u$ )、壁から垂直方向に  $y$  軸、スパン方向に  $z$  軸をとる。また、 $u$  の時間変動成分は  $u'$  とする。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 トリップワイヤを用いた場合

まず、トリップワイヤを用いて境界層を乱流に遷移させる実験を行った。このとき境界層は  $x=350\text{mm}$  ではほぼ乱流となっている。図2にその  $x=350\text{mm}$  における速度変動のコンター図を境界層が層流の場合と遷移させた場合について示す。コンター図において、実線は正の速度変動を、破線は負の速度変動を表している。これによると、遷移させた場合には層流のときと比べて形状が少し変化し、さらに壁面から離れたところで負の速度変動が大きくスパン方向に広がっているのがわかる。 $\partial u' / \partial z$  のコンター図 (図3) より、 $x=500, 700\text{mm}$  の間においてその形状はあまり変化していない。このこ

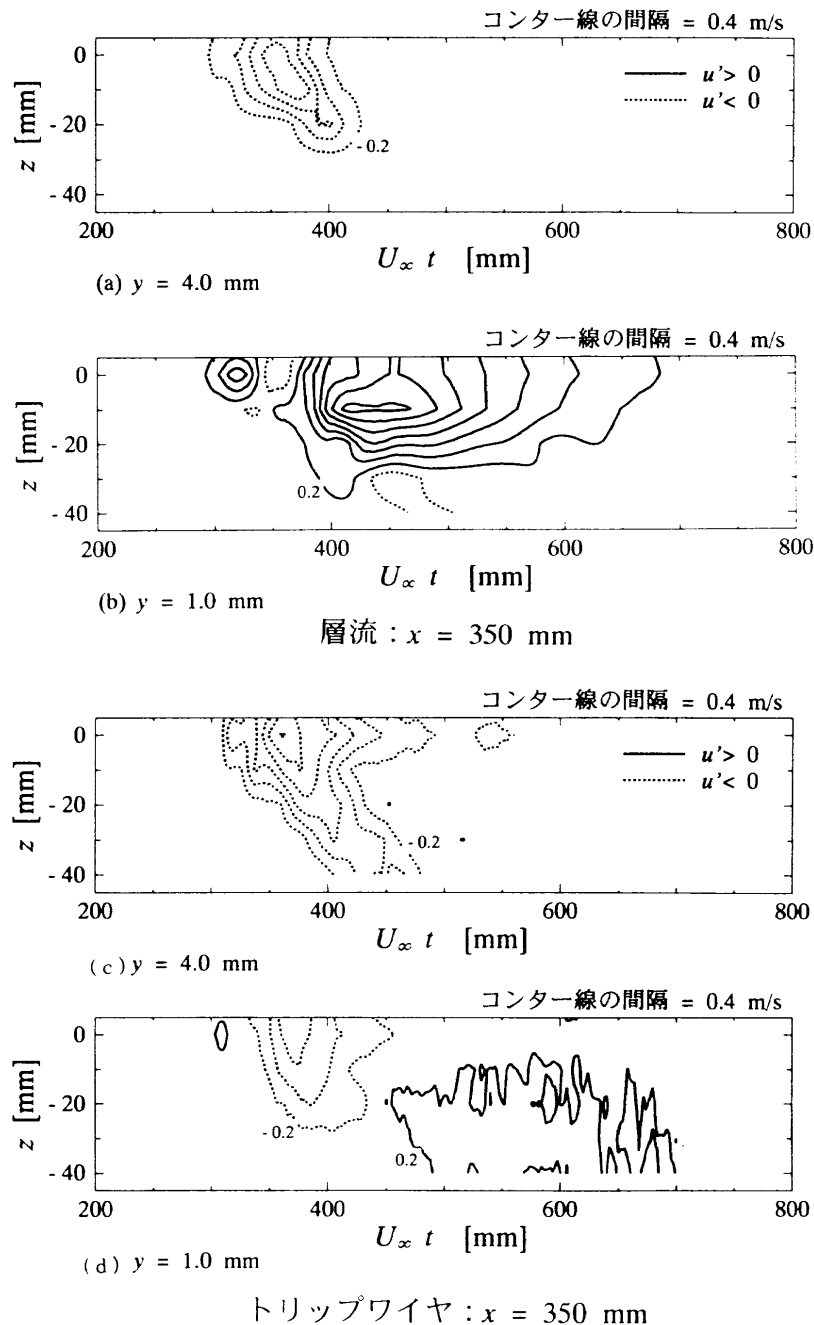
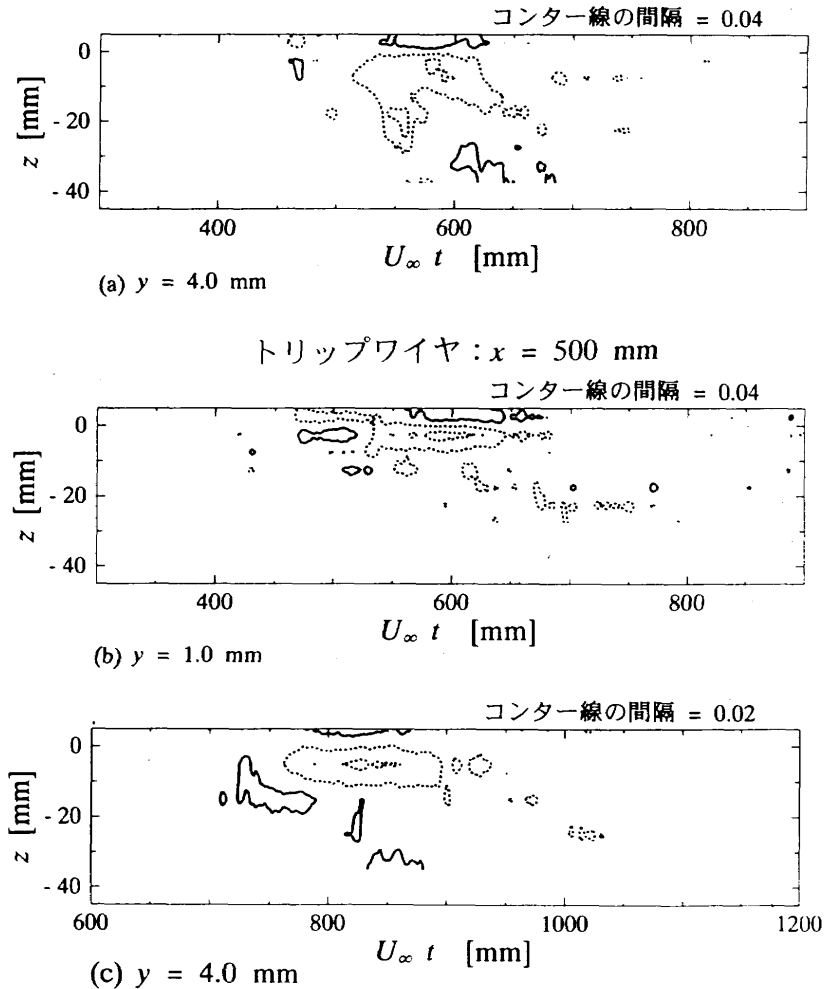


図2 速度変動  $u'$  のコンター図

層流とトリップワイヤの場合の比較 ( $x=350\text{mm}$ , 実線が正)



トリップワイヤ:  $x = 700 \text{ mm}$

図3  $\partial u' / \partial z$ のコンター図  
(トリップワイヤ, 実線が正)

とから, 乱流斑点は平面形状だけでなくその大きさも変化が小さいことがわかる。これは, 乱流境界層中の秩序運動と性質が似ている。

次に乱流斑点の  $y$  方向への成長をみている。図4に示したものは  $z = 0 \text{ mm}$  における速度変動コンター図である。これをみると, 乱流斑点はほぼその形状を保ったまま  $y$  方向に成長し, それに伴い変動が最大となる位置も壁面から離れていくことがわかる。

### 3.2 一様粗さを用いた場合

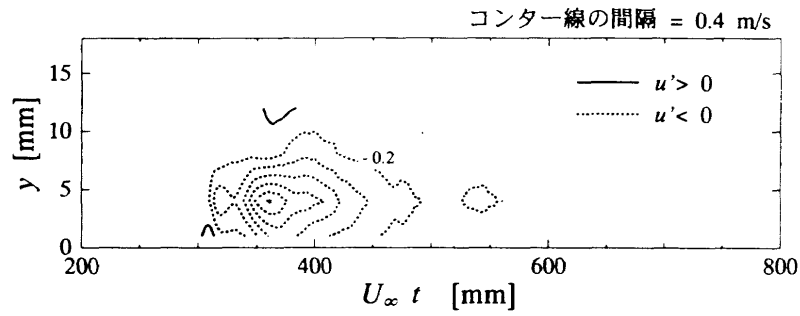
次に, 一様粗さを用いて境界層を乱流に遷移させる実験を行った。このときも境界層は  $x = 350 \text{ mm}$  でほぼ乱流となっている。図5に示した速度変動コンター図より,  $x = 350 \text{ mm}$  における形状はトリップワイヤを用いたときと異なっていることがわかる。しかし壁面から離れたところで負の速度変動がスパン方向に広がるという点はトリップワイヤを用いたときと似ている。

## 4. 結 言

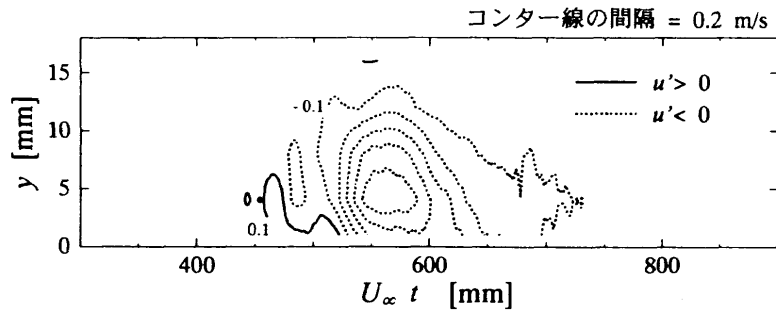
- (1) 乱流斑点は, 回りの境界層が層流から乱流へと遷移する際形状が変化する。正の速度変動はほとんどみられなくなり, 負の速度変動は壁面から離れたところでスパン方向に広がる。
- (2) 乱流境界層中の乱流斑点は, 下流に進むにつれてその速度変動は小さくなる。スパン方向への大きさの変化はあまりみられないが,  $y$  方向には規模が大きくなっていく。
- (3) 境界層が遷移した直後の乱流斑点の形状は遷移の方法によって少し異なるようである。

### 参考文献

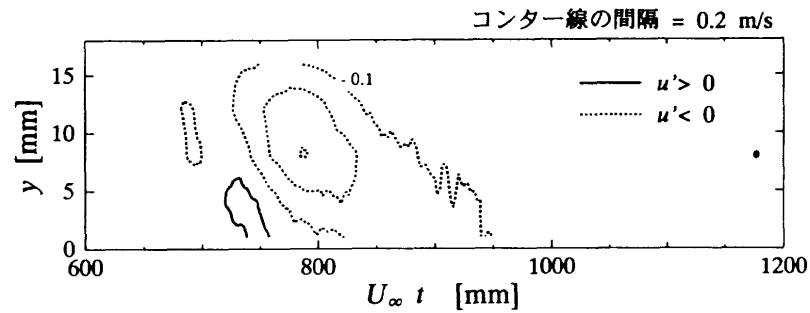
- (1) M. Jahanmiri, A. Prabhu, R. Narasimha, Turbulent spot in 3-D constant pressure flow, Proc. IUTAM Symp. on Laminar-Turbulent



(a)  $z = 0.0 \text{ mm}$       トリップワイヤ :  $x = 350 \text{ mm}$

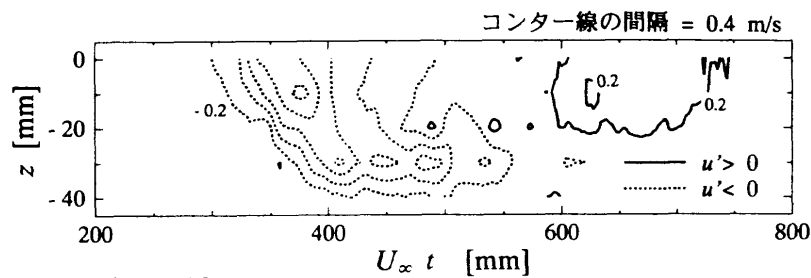


(b)  $z = 0.0 \text{ mm}$       トリップワイヤ :  $x = 500 \text{ mm}$

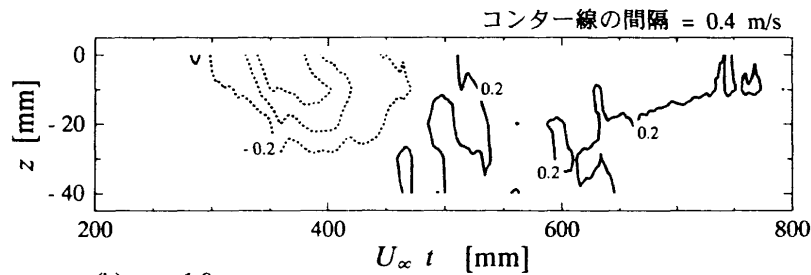


(c)  $z = 0.0 \text{ mm}$       トリップワイヤ :  $x = 700 \text{ mm}$

図4 速度変動  $u'$  のコンター図 (トリップワイヤ, 実線が正)



(a)  $y = 4.0 \text{ mm}$



(b)  $y = 1.0 \text{ mm}$       一様粗さ :  $x = 350 \text{ mm}$

図5 速度変動  $u'$  のコンター図 (一様粗さ, 実線が正)

- Transition, Sendai 1994.
- (2) B. F. A. van Hest, K. M. Passchier, J. L. van Ingen, Development of a turbulent spot in a boundary layer with adverse pressure gradient, Proc. IUTAM Symp. on Laminar-Turbulent Transition, Sendai 1994.
- (3) F. N. Shaikh, M. Gaster, The natural evolution of turbulent spots in a flat plate laminar boundary layer, Proc. IUTAM Symp. on Laminar-Turbulent Transition, Sendai 1994.
- (4) H. Makita, K. Sassa, Turbulence quantities around a large-scale coherent vortex in a turbulent boundary layer, Proc. 5th Asian Cong. of Fluid Mech., Taejon, Korea 1992.

