

## 三角リブレット粗面乱流境界層の流れ構造

徳山高専 正員 大 成 博 文

" " 渡 辺 勝 利

中電技術コンサルタント " ○ 前 田 邦 男

山口大学 " 斎 藤 隆

### 1. はじめに

1980年代の後半より、リブレットによる摩擦抵抗軽減に関する研究が国際的に進展しつつあり<sup>1)</sup>、近年、わが国においてもこの種の研究が徐々に盛んになりつつある。しかし、リブレットを有する粗壁面における組織運動 (organized motion) の構造的性については、以下のような基本的未解明点が存在する。

①リブレット粗壁面上の組織構造が不明である。とくに、レイノルズ数との関係、リブレットによって形成される組織構造と壁乱流中の組織構造の相互関係が不明である。

②層流から乱流への遷移において、リブレット粗壁面の遷移制御に果たす役割が不明である。

③リブレット粗壁面による摩擦抵抗軽減の機構が不明である。

以上を踏まえながら、前報<sup>2)</sup>においては、開水路底壁面にリブレット粗壁面を敷設して、その上に形成された組織構造に関する研究が行われた。そこで、本研究においては、新たにリブレット粗壁面を有する乱流境界層が製作され、そこに形成された流れ場の構造を解明するために、その平均流速分布特性および組織構造の特徴が考察された。

### 2. 実験装置および実験方法

本実験は、長さ 15m、幅 60cm、深さ 15cm、勾配零の開水路内に設置されたリブレット粗壁面乱流境界層 (長さ8m、幅60cm、深さ11cm) で行われた。図1に、そのリブレット粗面の断面の一部を示す。リブレットの峰間隔は4.25mm、峰幅は0.5 mmである。本リブレットは、塩化ビニール板を精密加工することによって製作され、それに4本の足部を設置して、水路内に組み込まれた。また、リブレット粗壁面は、境界層先端から15cmの平壁面の下流に設置された。水深は、下流の堰によって調節され、いずれも8cmとされた。実験は、レイノルズ数を約4000~9000の範囲で5種類かえて行われた。流速計測には、アルゴンレーザー流速計が用いられた。境界層前縁の直上流には、剥離防止のためにハニカム格子 (径 4mm、長さ 32mm、幅 60cm) が設置された。表1に本実験条件を示す。

### 3. 平均流速分布特性

図2には、 $X=480\text{cm}$ の地点における平均流速分布がそれぞれのレイノルズ数において示されている。この分布の第1の特徴は、ケースAにおいて、壁から離れたところで一様流が存在するが、それがレイノルズ数の増加によって徐々になくなることにある。第2の特徴は、壁近くで直線速度分布則がかなり広範囲に成立することである。この領域を「リブレット粘性底層」と呼ぶが、この底層厚さは、ケースBでAよりも若干増加し、さらにレイノルズ数が増加したC、D、Eでは徐々に減少している。しかし、Eのレイノルズ数が8000を越える場合においても、本底層厚さは、約 5mm とかなりの大きさを示している。この直線分布則から、それぞれのケースの摩擦速度  $u_\tau$  が求められた。

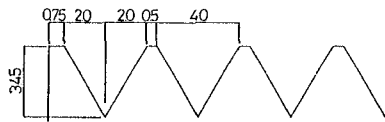


図1 リブレット粗面の横断面

表1 実験条件

|        | $U_{max} \text{ (cm/s)}$ | $u_\tau \text{ (cm/s)}$ | $H \text{ (cm)}$ | $Re \text{ (} U_{max} H / \nu \text{)}$ |
|--------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| CASE A | 6.38                     | 0.195                   | 8                | 4240                                    |
| CASE B | 9.36                     | 0.227                   | 8                | 6050                                    |
| CASE C | 9.86                     | 0.249                   | 8                | 6550                                    |
| CASE D | 11.0                     | 0.315                   | 8                | 7310                                    |
| CASE E | 13.4                     | 0.385                   | 8                | 8640                                    |

なお、これらの平均流速値は、リブレットの峰上で、その表面を $y=0$ として計測された。また、谷部でも同一の計測がなされ、その流速分布が峰上のそれとほとんど変わらないことが明らかとなった。その理由は、本計測に用いられたレーザー流速計の受感部の横幅厚が約5mmであることにありとされる。

図3には、各ケースごとの摩擦速度 $u_\tau$ が示されている。これより、摩擦速度は、レイノルズ数の増加に伴って、徐々に増加の傾向を示すことが明らかである。ところが、図4に示されたリブレット粘性底層厚さの変化では、ケースBで最大値を示し、レイノルズ数の増加に伴って摩擦速度が低減傾向にあるにもかかわらず、リブレット粘性底層厚さのピークがこのケース付近で存在していることが注目される。

以上の結果を平滑壁面の乱流境界層と比較すると、たとえばケースD ( $X=480\text{cm}$ )において、摩擦速度で0.6倍、粘性底層厚さで3.6倍の変化を示している。

#### 4. リブレット粗面上の組織構造

図5には、ケースAにおけるリブレット粘性底層に形成された低速縞 (low speed streaks) が可視化されている。可視化法は蛍光染料注入法であり、白く筋状の形象が低速縞である。この低速縞は、上流から下流へ長い筋状を呈することを特徴とするが、その筋模様は、上流であり明確でなく、下流にいくにしたがってその筋の輪郭線が明確になっている。また、この筋は、比較的長い周期で横方向に揺動する。さらに、本筋の $x=480\text{cm}$ 付近の横幅間隔はおよそ $100\nu/u_\tau$ であった。図6には、リブレット粗面近くに形成されたヘアピン型渦構造 (壁縦渦) の横断面可視化の一例が示されている。このテレビ画像を観察することによって、以下の特徴が得られた。

- ①リブレットの峰近くに峰間隔サイズの縦渦対が形成される。
- ②その小規模縦渦対の上部に、 $s^+$ のスケールの約1～2倍程度の染料滞留領域が形成される。
- ③②の領域の上部にヘアピン型渦対構造 (壁縦渦) が形成されるが、その形象スケールは滑面のそれと比較して実寸でかなり大スケール化しているように思われる。

参考文献 1)Savil, A. M.: Structure of Turbulence and Drag Reduction, pp.429-465, 1989. 2)大成他: 第23回乱流シンポジウム講演論文集, pp.94-98, 1991.

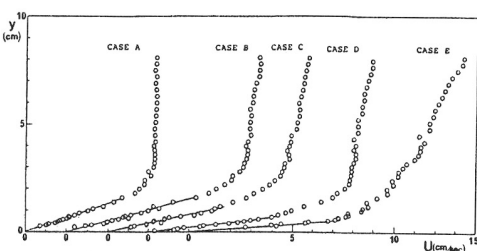


図2 平均流速分布 ( $x=480\text{cm}$ )

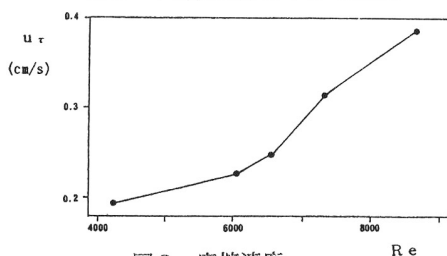


図3 摩擦速度

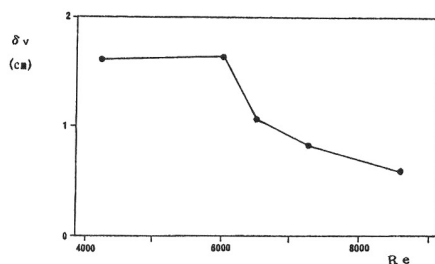


図4 リブレット粘性底層厚さ

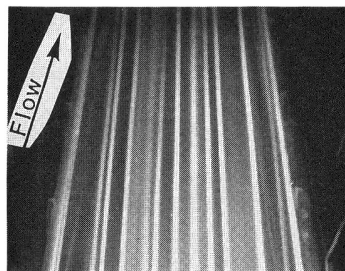


図5 低速縞の可視化写真

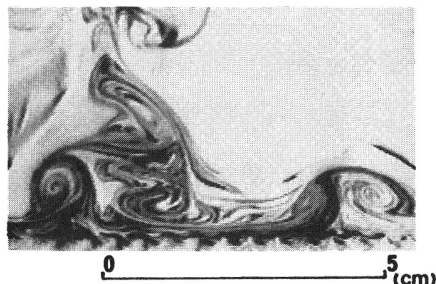


図6 リブレット粗面付近の横断面視