

京都大学 学生員 ○藤本雄大
 京都大学 正会員 岡本隆明
 京都大学 フェロー 禰津家久

1. はじめに

粗面流れの抵抗特性に関する実験的研究は数多く行われている¹⁾。粗面流れは粗度風洞場と開水路粗度流れに分けられ、粗度風洞場は自動車・船・飛行機に使われるタービンの熱交換に応用するため、機械工学の分野で発展してきた。開水路粗度流れでは自由水面が存在するため粗度風洞場と異なった乱流構造であると考えられる。

既往研究では粗度間領域で空間平均操作が行われることが多く、粗度間領域における局所変化についての研究は少ないように思われる。よって本研究では相対粗度間隔を系統的に変化させ、乱流構造の局所変化について考察する。

2. 実験手法および水理条件

本研究の実験装置図、座標系それぞれを図-1 に示す。実験水路として、全長 10m, 幅 40cm, 高さ 50cm の可変勾配型水路を用いた。水路底面には約 7m にわたって棧粗度模型を貼り付けた。棧粗度には横断面が 1.5cm×1.5cm の正方形で、幅が 40cm の木材を使用し、粗度間隔 λ を系統変化させて実験を行った。計測は最上流の粗度模型から下流方向で約 5m の地点で行ない、そこでは十分に流れが発達していると考えられる。水理条件は表-1 に示す。粗度高さを k , 断面平均流速を U_m で表す。水深 H は 12cm と一定とし、かぶり水深比が十分に大きいため、水面変動は発生しなかった。

本研究では、乱流計測法として PIV (Particle Image Velocimetry) 画像計測法を用いた。水路中に混入した微細粒子を照射するために本研究では水冷 2 成分アルゴンイオンレーザー (Coherent 社製) を用いた。出力を 3W にしたアルゴンイオンレーザーを厚さ 2mm の LLS (Laser Light Sheet) にした。図-1 のように LLS を流れ方向に平行にして水面上部から鉛直面 (x - y 平面) に照射した。

3. 実験結果と考察

3.1 流れ場特性

図-2 に全てのケースにおける平均主流速 U のコンター図を示す。粗度間隔の大きなケース ($\lambda/k = 8, 16$) では、粗度の上部付近で流れが剥離しており、粗度の背後でははっきりとした再循環流がみられる。再循環流の中心は約 $x/k = 2.0$ の位置に存在した。剥離した流れの再付着点は $\lambda/k = 8, 16$ それぞれ約 $x/k = 4.5, 5.0$ の位置であった。これは Antonia(2008)²⁾

表-1 水理条件

	k (cm)	λ/k	H (cm)	H/k	U_m (cm/s)	Re	Fr
Case1	1.5	3.0	12.0	8.0	20.0	24000	0.18
Case2		5.0					
Case3		8.0					
Case4		16.0					

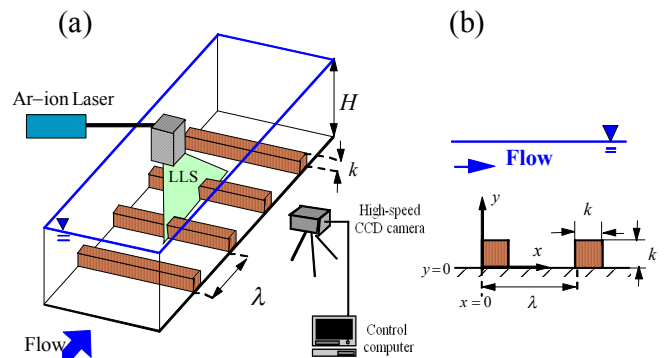


図-1 実験装置図(a)・座標系(b)

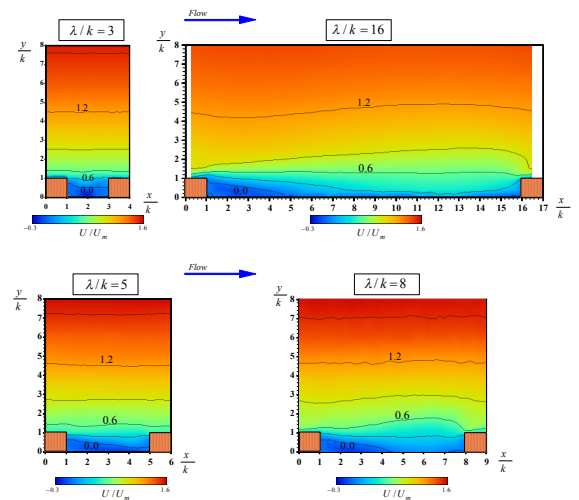


図-2 平均主流速 U コンター

の結果と一致する。一方、 $\lambda/k = 3, 5$ のケースでは $\lambda/k = 8, 16$ と同様に粗度の上部付近で流れが剥離しているが、粗度間内部領域が完全に再循環流で満たされている。再循環流の中心は $\lambda/k = 3$ の時は約 $x/k = 2.0$ で、 $\lambda/k = 5$ のケースは $\lambda/k = 3$ のケースより少し下流側にでき約 $x/k = 4.0$ の位置であった。

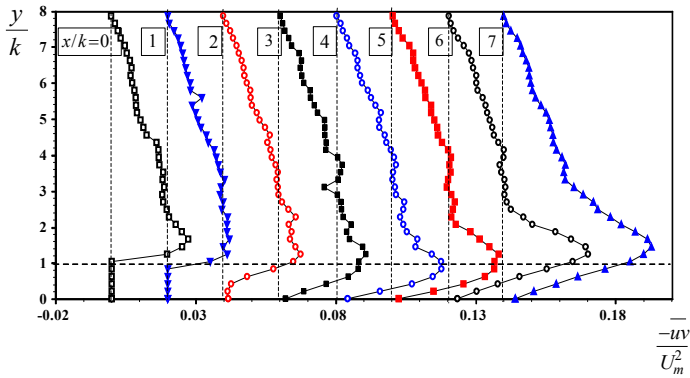


図-3 レイノルズ応力分布の流下方向変化($\lambda/k=8$)

3.2 乱れ特性

図-3 に $\lambda/k=8$ のケースでのレイノルズ応力分布の流下方向変化を示す。 $x/k=0\sim 5.0$ 付近まではピークの位置が粗度高さ($y/k=1$)である。 $x/k=6\sim 7$ にかけてはピークの位置が $y/k=1.5$ と少し高くなっている。これは次の粗度要素に近づくにつれて上昇流が発生し、 $y/k=1.5$ 付近で上昇流の乱れが大きくなっているためであると考えられる。

図-4 にレイノルズ応力のピーク値の流下方向変化を示す。各ケースを比較してレイノルズ応力のピーク値が最大となるのは $\lambda/k=8$ のケースで、最小となるのは $\lambda/k=3$ のケースである。 $\lambda/k=5, 16$ のレイノルズ応力の最大値はほぼ同じくらいの値であった。 $\lambda/k=3, 5, 8, 16$ のケースで最大値をとる流下方向の位置は、それぞれ $x/k=2.0, 4.2, 6.2, 5.1$ であった。粗度要素から下流に行くにしたがってレイノルズ応力の値が増加しており、乱流が発達していることが分かる。 $\lambda/k=3, 5$ のケースでは粗度間領域が狭いため、レイノルズ応力が完全に発達しないと考えられる。また、 $\lambda/k=16$ のような粗度間領域が広い場合でも、流下方向に進むにつれてレイノルズ応力は発達するが、ある程度発達するとその後は減衰していくことがわかる。

図-5 は各ケースでの Sweep/Ejection の寄与率の流下方向変化を示したものである。寄与率は粗度外部領域 ($1.0 < y/k < 8.0$) と内部領域 ($0 < y/k < 1.0$) で求め、それぞれの領域内で Sweep, Ejection の値を積分し、その Sweep の値を Ejection の値で割ることで求まる。すなわち、寄与率が 1 より大きい場合は Sweep が卓越し、1 より小さい場合は Ejection が卓越することを示す。本研究の結果より、全てのケースにおいて粗度外部領域 ($1.0 < y/k < 8.0$) では Ejection が粗度内部領域 ($0 < y/k < 1.0$) では Sweep が卓越していることが分かる。粗度外部領域での流下方向の寄与率の変化はなく、ほぼ一定になる。

4. 結論

- (1) 時間平均流速のコンター図を調べることで粗度頂部($y/k=1$)で流れが剥離し、はっきりとした

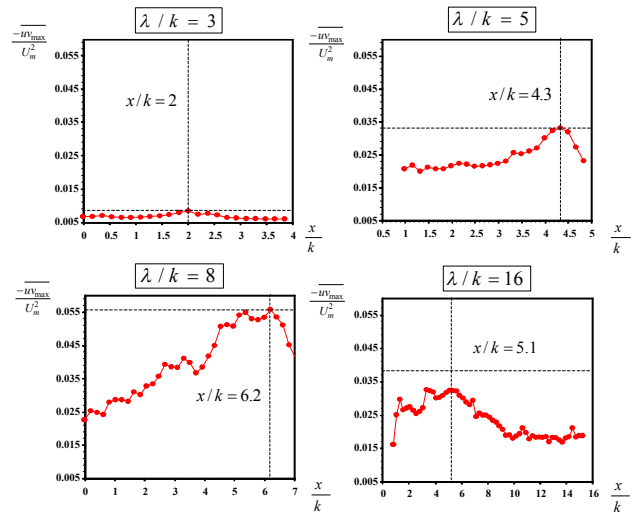


図-4 レイノルズ応力ピーク値の流下方向変化

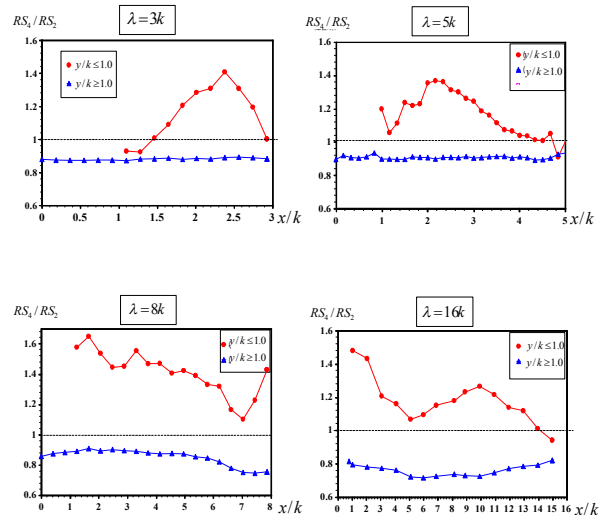


図-5 Sweep/Ejection 寄与率の流下方向変化

再循環流が発生していることが分かった。 $\lambda/k=3, 5$ のケースでは粗度間領域を再循環流が完全に満たしている。

- (2) 粗度間領域において、流下方向に行くにしたがいレイノルズ応力は発達していき、鉛直分布のピーク位置が上昇していくことが分かった。
- (3) レイノルズ応力の4象限区分解析より粗度外部領域で Ejection が卓越し、粗度内部領域では Sweep が卓越するという組織構造が存在することを示した。

参考文献

- (1) Dubravka Pokarajac, Ian McEwan, Vladimir Nikora(2008), Spatially averaged turbulent stress and its partitioning. *Exp Fluids* Vol.45: p.p.73-83.
- (2) Lyazid Djenidi, Robert A. Antonia.(2008), A turbulent boundary layer over a two-dimensional rough wall. *Exp Fluids* Vol.44: p.p.37-47