# 円柱粗度に伴う開水路流れの抵抗特性と乱流構造

熊本大学	学生会員	栗嶋優希
熊本大学	学生会員	安田信洋
熊本大学	正会員	大本照憲

## 1. はじめに

礫末河川に見られる頼ま淡水魚や底生生物に良好な生活の場 を提供することが知られている、瀬の生物環境においては、河床 礫に付着する藻類は一次生産物として魚類や昆虫類の餌となる ことによって食物連鎖を支えている.それ故、付着藻類の一次生 産活動や現存量の特性を明らかにすることは河川の生態系をそ の根底から解明していくための重要な課題となっている. 瀬を 形成する巨礫可床では、枯死状態の付着藻類や微細十砂の堆積 がよく観察されるが、その原因の解明に至る流れ場の詳細は、 +分に検討されていない、 礫近傍の流れは村着藻類を含めた底 生生物の生息・生育環境にとって極めて重要な場となる.しか し、既往の研究では熱線流転やレーザードップラー流転+等 を用いた実験的研究事例が多く、流れの空間変動特性について は十分に検討されていない、そこで円柱粗度上の流れを面計測 が可能な粒子画像流速測定法PIV)を用いて測定した. 既往の 研究でよく用いられている球状相度では流れが3次元的である のに対し、本研究では横断方向に一様な形状で流れを2次元的に 捉えることができる円柱粗度で実験を行った. 水深に対して相 対的に大きな相度上の流れにおいては相度近傍に安定した規 則性の高い上商流及び下降流を見出している. その結 果Raupach等<sup>1)</sup>によって定義された粗度の影響が強いRoughnes sublayer 内の流れにおいては平均流および乱れの水平面内の一 様性が大きく崩れ、粗度要素の影響が極めて強いことが明らか にされた.

本研究では円柱相度における相面乱流の抵抗則について考 察すると共に平均流および乱れ特性に与える相対粗度の影響 を詳細に検討した

#### 2. 実験装置及び方法

実験に使用した水路は、長さ10m,幅40cm,高さ20cmの可変 勾配型の循環式直線水路である. 抵抗係数の実験条件は表-1,



(4)YAG-Laser Main unit

P. C. with Visiflow-software(Timing control &  $(\overline{5})$ Analyze)

図-1 流れの計測システム

<b>表一1</b> 実験条件(抵抗則)				
ケース	粗度径	勾配 (1)	流量 (ks)	
A-1		1/1000		
A-2	30	1/500		
A-3		1/300	1~10	
B-1		1/1000		
B-2	15	1/500		
B-3		1/300		

流れ構造の実験条件を表-2 に示す. 計測対象領域の座標系お よび計測システムは図ー1 に示す. 右手座標系を用い,流下方 向をx軸 水路横断方向をy軸 鉛直上向きをz軸とし、それぞれ に対応した平均流速成分をU, V, W変動成分をu', v', w'とする. 水路末は、直径15mm、及び直径30mmの2種類の円柱を水路上 流端より2mの位置から流下方向に長さ6mに亘り敷き詰めた. 表-1 からも明らかな様に、何れのケースも粗度レイノルス数 は70を超え、完全粗面であることが分かる.水深の計測には、 ポイントゲージを用い、流速の計測には、非分型の代表的な 画像処理法である PIV 法を用いた、 光源に空冷式ダブルレッシレス YAG レーザー(出力15mJ)を用いシート光の厚さを1mm、パレス 間隔を500µsに設定し、水路上方から底面に垂直下向きに照射し た. レーザー光と CCD カメラを同期させて読み込まれた可視 化画像は、15fps(frame per second)、960×1018(pixel)のモノクロビデ オ画像としてパーソナルコンピューターのハードディスクに記 録され.PIV 法によって処理された. レンズには照点距離が 50 mmのものを用いた。ここに 1pixel の最小サイズは 0.06mmで ある. 流束のサンプリング周波数は15Hz.1 計測面での画像デ ータは1000枚計測時間は66.7sec であった.なおトレーサーと して粒径5µm,比重1.02のナイロン粒子をアルコール液で十分 に撹拌して水中に-様に混入した.

#### 3. 粗面乱流の抵抗特性

図-2 は抵抗係数とレイノルス数との関係を示したものであ る. 滑面開水路乱流こおいて適合性の高いBlasiusの式と比較す るとレイノルス数が10000あたりまでは減少傾向が大きいがそ の値を超えたあたりからはおお同様の減少傾向を示している。 このことからレイノルス数が大きな領域で抵抗系数はレイノル ス数に依存しないことがわかる。

<b>衣ー2</b> 美駛余件(流れり
---------------------

	Casel	Case2
平均流速 U <sub>m</sub> (cm/s)	21.4	25.86
水深 H(cm)	1.90	290
水路配 1。	1/300	1/300
アスペクト比 B/H	21.0	13.8
フルード数 U <sub>m</sub> (gH) <sup>12</sup>	0.49	0.48
い/w数 UmHv	4066	7499
粗寒////xi数 u·D/v	282	983
相対粗度 DH	0.79	1.03
粗度径 D(mm)	15	30
摩察速度 u*(cm/s)	1.88	339
流量 Q(ls)	1.63	3.00







流下方向変化(Case2)

## <u>4. 平均流特性</u>

PIV 法により得られた鉛直方向流速式分Wの空間分布特性を 図-3, 図-4 に示す. なお、鉛直座標系 z の原点は中川等と同 様に円柱の頂部に設定した. 表-1 に示す通り、相対粗度は 15mm で0.78, 30mmで1.03 となっている.

図ー3.および図ー4は、各々、粗度径15mm(相対粗度0.78)および粗度径30mm(相対粗度1.03)における鉛直方向流速成分Wの流下方向変化を示す。何れの場合も、極めて規則的に円柱頂部の若干上流則において上昇流、若干下流則で下降流が生じ、流下方向の分布系は鉛直方向に相び形を保っていることが認められる。また、上昇流および下降流の極大値よ、粗度径15mm



図-6 レイノルズ応力の鉛直方向変化(Case2)

では地面平均流速の2%および1%, 粗度径30mm では3%および3%である.また、上昇流は狭い領域で強い流れであるのに対して、下降流は肢的に広い領域で弱い流れである.

#### 5. 乱流特性

図ー5 および図ー6 は、各々粗度径 15mm および 30mm にお けるレイノルス応力- $\overline{u'w'}/u_*^2$  の鉛直方向変化を示す. レイ ノルス応力- $\overline{u'w'}/u_*^2$  は、粗度頂部近傍では粗度接触部の下降 流域こ比べて小さく、乱れによる運動量輸送は小さいことがわ かる. 粗度径 15mm では、図中に示されたせん断応力  $\tau$ の直線 分布からの欠損量は、粗度頂部において大きく現れ、上層に近 づくにつれて小さくなっている.

## <u>6. おわりに</u>

本研究では、相対相度が大きい円柱相度上の流れを、面計測 が可能な PIV 法を用いて測定した。Raupach 等 <sup>1)</sup>によって定義 された相度の影響が強い Roughnes sublayer 内の流れにおいては、 平均流および乱れの一様性が大きく崩れ、相度要素の影響が強 いことが明らかにされた

### 参考文献

1) Raupach,M.R.:Conditional satatises of Reynolds stress in rough-wall and smooth-wall rurbulent boundary layers,J.Fluid Mech.,Vol.450,pp317-341,1981.