

## 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

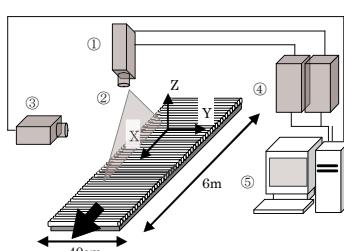
### 1. はじめに

礫末河川に見られる瀬は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。瀬を形成する巨礫河床では、枯死状態の付着藻類や微細土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十分に検討されていない。礫丘傍の流れは付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、既往の研究では撲線流速計やレーザードップラー流速計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積計測が可能な粒子画像流速計測定法(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粗度では流れが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粗度上の流れにおいては、粗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、Roughness 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。

本研究では円柱粗度における粗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。



- ① Double-pulsed LASER Illumination
- ② Laser sheet
- ③ CCD-Camera Kodak Mega plus ES1. 0
- ④ YAG -Laser Main unit
- ⑤ P. C. with Visiflow - software(Timing control & Analyze)

図-1 流れの計測システム

表-1 実験条件(抵抗則)

ケース	粗度径	勾配 (l)	流量 (ls)
A-1	30	1/1000	1~10
A-2		1/500	
A-3		1/300	
B-1	15	1/1000	
B-2		1/500	
B-3		1/300	

表-2 実験条件(流れ場)

	Case1	Case2
平均流速 $U_h(\text{cm/s})$	21.4	25.86
水深 $H(\text{cm})$	190	290
水路勾配 $l_b$	1/300	1/300
アベー外比 $BH$	21.0	13.8
フード数 $U_h(\text{cm/s})^2$	0.49	0.48
レイノルズ数 $U_h H / v$	4066	7499
粗度/層厚数 $uD/v$	282	983
相対粗度 $D/H$	0.79	1.03
粗度径 $D(\text{mm})$	15	30
摩擦速度 $u^*(\text{cm/s})$	1.88	3.39
流量 $Q(\text{l/s})$	1.63	3.00

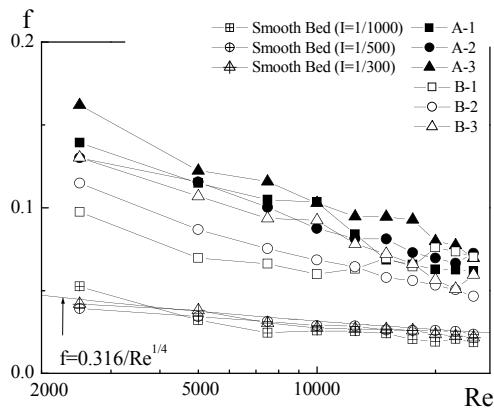
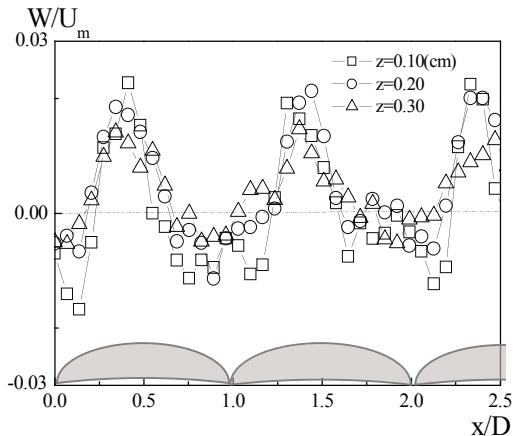
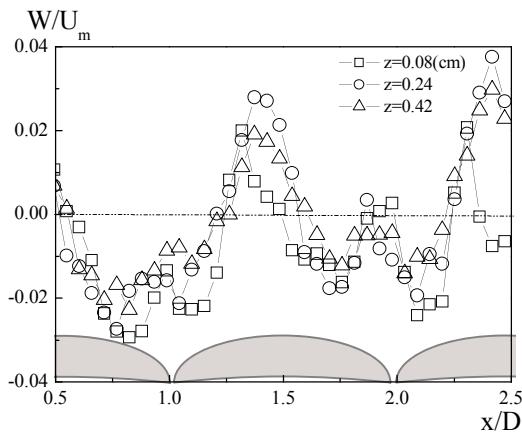


図-2 抵抗係数fとレイノルズ数の関係

図-3 鉛直方向流速成分Wの  
流下方向変化(Case1)図-4 鉛直方向流速成分Wの  
流下方向変化(Case2)

#### 4. 平均流特性

PIV法により得られた鉛直方向流速成分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-3および図-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側において上昇流、若干下流側で下降流が生じ、流下方向の分布系は鉛直方向に相似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は、粗度径15mm

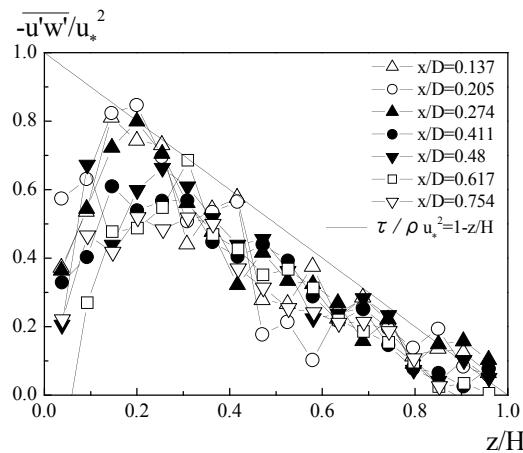


図-5 レイノルズ応力の鉛直方向変化(Case1)

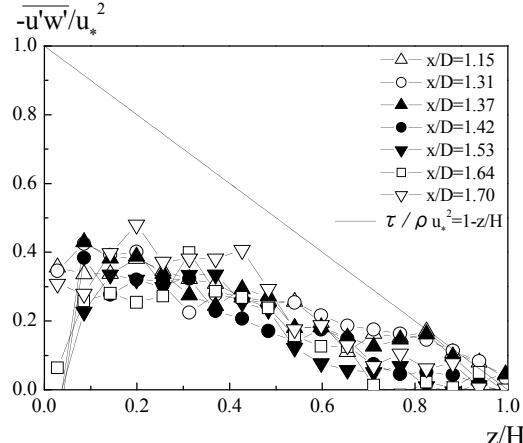


図-6 レイノルズ応力の鉛直方向変化(Case2)

では断面平均流速の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流れであるのに對して、下降流は相対的に広い領域で弱流れである。

#### 5. 乱流特性

図-5および図-6は、各々粗度径15mmおよび30mmにおけるレイノルズ応力 $-\bar{u}'w'/u_*^2$ の鉛直方向変化を示す。レイノルズ応力 $-\bar{u}'w'/u_*^2$ は、粗度頂部近傍では粗度拡張部の下降流域に比べて小さく、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、上層に近くにつれて小さくなっている。

#### 6. おわりに

本研究では、相対粗度が大きい円柱粗度上の流れを、面積測定が可能なPIV法を用いて測定した。Raupach等<sup>1)</sup>によって定義された粗度の影響が強いRoughness 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、粗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 satatistics of Reynolds stress in rough-wall and smooth-wall rurbulent boundary layers,J.Fluid Mech.,Vol.450,pp317-341,1981.