

粗度近傍における乱流構造について

熊本大学大学院 学生会員 ○柿原 ゆり
 熊本大学大学院 正会員 大本 照憲
 熊本大学工学部 正会員 矢北 孝一
 熊本大学工学部 学生会員 美里 洋秋

1. はじめに

瀬を形成している石礫河床では、付着藻類の枯死状態や微細土砂の剥離などがみられるが、その原因の解明に至るような礫河床における流れ場の詳細は十分に調査されていない。本研究では、室内実験において粒径の大きな粗度上の流れを開水路で再現し、相対水深が小さい流れと粗度配置の違いについての粗度近傍に着目した乱流構造について検討した。

2. 実験装置

本実験で用いた実験装置の概要を図-1 に示す。実験に使用した水路は、全長 10m、幅 40cm、高さ 20cm の可変勾配型循環式直線水路である。座標系は水路中央を原点に取り、流下方向、横断方向、鉛直方向をそれぞれ x, y, z とし、それに対応する主流速成分を U, V, W とした。水路勾配はジャッキにより $i=1/500$ に設定し、等流場を形成した。水路最下流端にはゲートを設けて水深の調整を行った。粗面は、礫に模擬した直径 1.5cm のビー玉（粗度）で再現した。水路上流端の 2m 位置から流下方向に 3m で 2 層に敷き詰めた。計測は流れが十分に発達しているビー玉の先端より 2.5m 位置で行った。計測点近傍のビー玉はレーザーの反射を避けるために、着色した。

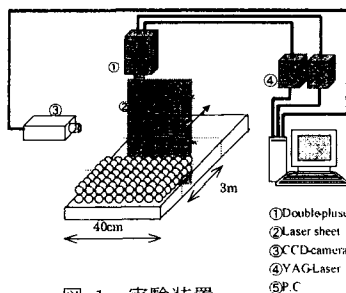


図-1 実験装置

3. 粗面流れの PIV 計測

開水路実験では、一様粗面（粗度高さ $ks=1.5\text{cm}$ とする）上の等流水深を対象としており、流量 $Q=7.0\text{l/s}$ に設定し、下流端のゲートを調整することによって、等流水深 $h=5.0\text{cm}$ とした。相対水深 $ks/h=0.3$ における粗面流れを、PIV(Particle Image Velocimetry)法を用い流れの鉛直断面内の瞬間画像を撮影した。光源には YAG レーザーを用い、シート光の厚さを 1mm、パルス間隔を $500\mu\text{s}$ に設定した。粗度の配置は、図-2 の礫頂部を結んだ峰部が流下方向と直交している case1 と、峰部が流下方向と平行に位置している case2 の最密充填形式である。case1 は図に示した I-I 断面、case2 の場合は x 軸を礫の頂部に沿った Ridge(II-II 断面)と谷部に沿った Trough(III-III 断面)の 2 断面を $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ の範囲で撮影し、また、200mm の ccd-camera のレンズを用いて礫一個分を $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ の撮影断面に拡大して礫周辺部の計測を行った。

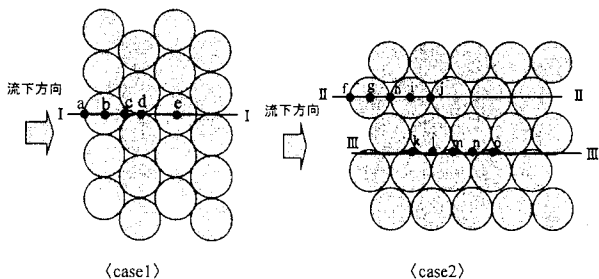


図-2 礫の平面配置

表-1 計測地点と無次元化係数

[case1]	x(cm)	U^*	z_0	[case2]	x(cm)	U^*	z_0
a	0	3.73	1.22	f	0.01	4.41	2.22
b	0.79	3.82	1.26	g	0.78	4.59	2.56
c	1.47	3.71	1.11	h	1.55	4.37	2.19
d	2.26	3.89	1.35	i	2.24	4.27	2.02
e	3.34	3.55	0.89	j	2.99	4.38	2.27

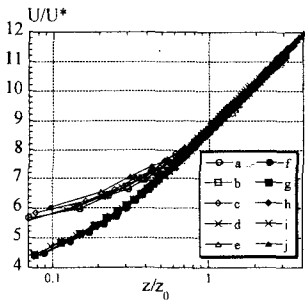


図-3 無次元主流速の鉛直分布

4. 試験結果とその考察

図-3 は case1, case2 における主流速の鉛直分布を示す。完全粗面上の流れで成立する対数則に、 U と Z の値を $\frac{U}{U_*} = 8.5 + 5.75 \log \frac{Z}{z_0}$ の式に代入して摩擦速度を算定し、無次元化表示を行った。相対高さ z/z_0 が 1 以上では、case1 と case2 において速度の勾配に違いは見られないが、 z/z_0 が 1 以下では、case2 に比べて case1 が大きくなり、 $z/z_0=0.07$ でのその差は断面平均流速の 16% に相当する。図中の破線は case1 の頂部を、一点鎖線で case2 の頂部を示している。

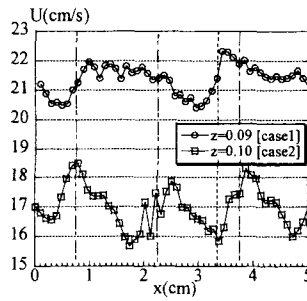


図-4 主流速 U の流下方向変化

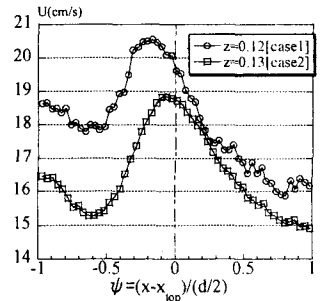


図-5 礫周辺部の U 成分

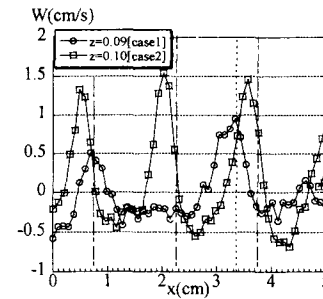


図-6 主流速 W の流下方向変化

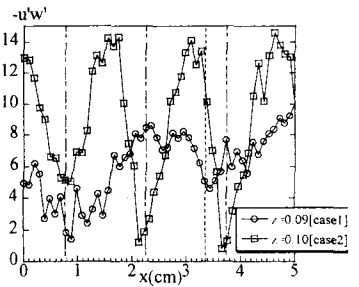


図-7 レイノルズ応力の流下方向変化

図-6, 7 は、それぞれ鉛直流速成分 W およびレイノルズ応力 $-u'w'$ の流下方向変化を示す。図-6 より、case1 および case2 とともに周期的な変動がみとめられた。case1 では、極小値は振れが生じているが、極大値は礫頂部で発生している。case2 では、流下方向の順に、 $\psi = -0.34, -0.30, -0.24$ の礫上流位置で極大値をとる。また、最大値は 1.54 cm/s をとり、平均流速 35 cm/s の 4% 程度となった。上昇流の平均発生周期は $\psi/2 = 0.85$ となり礫一個 $d = 1.5$ cm に近い周期性を示している。図-7 のレイノルズ応力分布から case2 は case1 にくらべ、周期性が顕著である。U 成分、W 成分、レイノルズ応力の関係を見ると、U 成分が極大値をとるとき、W 成分は極小値をとる、レイノルズ応力は極大値となる。W 成分とレイノルズ応力は逆位相の関係をとった。図-4 で示された、主流速が case1 に比べて case2 で小さい値を示した理由としては、上昇流の影響とレイノルズ応力の影響が考えられる。

4. おわりに

以上、礫の配置による縦断方向の主流速の鉛直成分、底面から一定距離の流下方向変化から、礫周辺の乱流構造に注目した。主流速 U 成分は、礫頂部から礫直径 $d = 1.5$ cm の範囲内で粗面による影響が見られた。また、 $z = 0.1$ cm 程度において、礫の配置による違いによる上昇流と下降流発生が明らかとなった。礫周辺における今回の実験では、実験時の PIV 計測の問題点として、レーザーの反射光による誤ベクトルの発生があげられる。これらの改善策を検討した上で、さらに乱流構造の特性を解明していきたい。

参考文献：1) 福津家久, 中山忠暢, 藤田正樹：粒径の大きな粗土上の開水路流れの乱れと水面変動, 応用力学論文集, 第 1 巻, pp.709-718, 1998.