

相対粗度の違いによる粗面流れの乱流構造

熊本大学工学部 学生員 美里 洋秋  
 熊本大学大学院 正員 大本 照憲  
 熊本大学工学部 正員 矢北 孝一  
 熊本大学大学院 学生員 柿原 ゆり

1. はじめに

河川本来の瀬では、付着藻類等に好都合な生息空間を提供している。それに対してダムの直下流の礫河床では、人為的に管理された流況のため、各種弊害が生じ河川環境の悪化が進行している。この状態を改善するため、流れ場に攪乱を与える目的で、定期的にダムから放流するフラッシュ放流が注目されている。しかし、実河川でのフラッシュ放流による付着藻類等の動態を考える場合、各種条件について、実河川における河床礫での生物的側面と流れの基礎的な研究・調査が必要と考えられる。そこで、本研究では、PIV法を用いて相対粗度の相違による礫床河川での乱流構造の検討を実施し、その実験結果を基に現地での付着藻類の育成実験を行った。

2. 室内実験方法と考察

実験に用いた水路は、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。図-1に概略図を示し、表-1に実験条件を示す。実験には礫を模擬したガラス球( $d=1.5\text{cm}$ )を使用し、相対粗度を $d/h$ とした。測定断面の座標系は、水路中央のガラス球の頂部を原点に取り、流下方向を $x$ 軸、縦断方向を $y$ 軸、鉛直方向を $z$ 軸とし、それぞれに対応した流速成分を $u$ 、 $v$ 、 $w$ とする。ガラス球は、水路上流端の2m位置から流下方向に長さ3mで2層敷き詰めた。測定位置は、下流端の堰を調整することによって等流水深となったガラス球の先端より約2.5m位置で行った。PIV法は、光源にはYAGレーザーを用い、シート光の厚さを1mm、流速のサンプリング周波数は15Hz、1計測断面での画像データは1000枚、計測時間は、33.3secであった。なお、トレーサーとして粒径 $30\mu\text{m}$ 、密度1.02のナイロン粒子を使用した。また、相対粗度は各ケースの水深で除した $d/h$ とした。図-2に各ケースにおける主流速の等値線を示す。図より各ケースとも河床付近に流速の波状性が顕著に表れ、特に $d/h=0.8$ のCase3においては、水面付近までその影響が波及していることが分かる。また、図-3に、ガラス球頂部付近での主流速の鉛直分布を示す。図よりCase1と比較して、Case2およびCase3が水面付近で低速側にシフトしていることがわかる。この影響を詳細にみるために、 $z=0.1\text{cm}$ での主流速の流下方向変化を図-4に示す。図には、ガラス球頂部を矢印で示している。これより、各ケースにおい

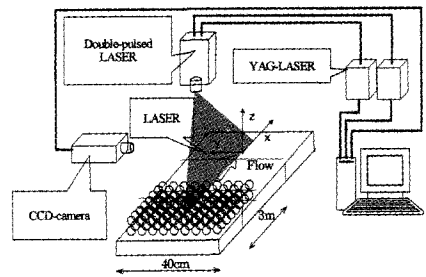


図-1 計測システムの概略

表-1 実験条件

Case	$Q(\ell/s)$	$h(\text{cm})$	$i_0$	$d/h$
1	7.0	5.0	1/500	0.3
2	3.2	3.0	1/500	0.5
3	2.6	1.87	1/178	0.8

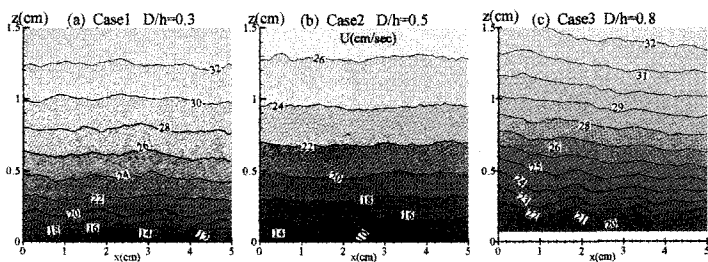


図-2 Uの等値線

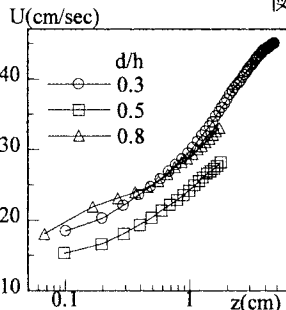


図-3 粗度頂部でのUの鉛直分布

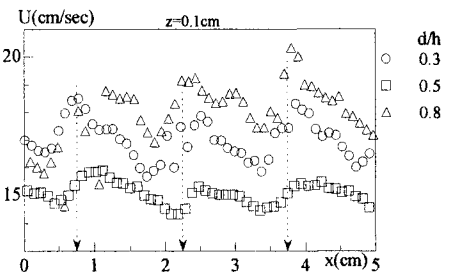


図-4 Uの流下方向変化

て、流下方向の変化に伴い、加速・減速されるような現象が生じ、その振幅は約 1.5cm となり、ガラス球径と対応している。図には、ガラス球頂部を矢印で示しており、それぞれの振幅は相対粗度 0.3 は最大値と最小値との間で約 3.0cm/s、同じように 0.5 では約 1.7cm/s となり、0.8 では約 2.0cm/s であった。その波長はガラス球径である 15mm とそれぞれ等しく、極大値は粗度頂部から下流に 0.2cm 付近、極小値は粗度頂部から上流に 0.5cm 付近にそれぞれ分布していた。

### 3. 現地実験方法と考察

調査地点である白川において滞留域と瀬を選定し、それぞれの場所の水深、流速、相対粗度を表-2に示す。藻類を付着させる基物としては自然石を用い、実験礫の大きさ、材質のほぼ似たものを使用し、その平均粒径は 17cm×13cm×厚さ 4.5cm であった。また、このときの平均水深白川での基礎実験では、その実験礫をそれぞれの調査地点の河床に置き、それぞれの経過日数において採取を午前 9 時半と午後 3 時半の 1 日 2 回を行い、クロロフィル-a の現存量を測定した。また採取方法としては、2cm×2cm においてコドラート法を用い、採取する前には蒸留水による噴流により堆積物を洗い流した。採取した藻類はろ過した後、ジメチルホルムアミド(DMF)により溶質し、1 時間暗室で放置した後で蛍光法を用いたクロロフィル-a 測定器でクロロフィル-a の濃度を測定し、その値から単位面積 1 m<sup>2</sup>あたりのクロロフィル-a 密度を求めた。白川において行った育成実験での礫中に含まれるクロロフィル-a (chl-a) の現存量を示す。ここで、それぞれのデータの比較を行うために、ロジスティックモデルを適合した。なお、ロジスティックモデルは式-1の微分方程式を積分した式-2により表される(巖佐、1998; Case, 2000)。

$$\frac{dB}{BdB} = r \left( 1 - \frac{B}{K} \right) \dots\dots(1)$$

$$B(t) = \frac{K}{1 + (K/B_0 - 1) \exp(-rt)} \dots\dots(2)$$

ここで、 $B$  は現存量、 $t$  は時間、 $r$  は内的自然増加率、 $K$  は環境収容力および  $B_0$  は  $t=0$  の現存量を表す。また、図-5、6 に表したロジスティックモデルにおける  $r, K$  の値を表-3に示す。滞留域と瀬においては、極大値に達するまでの経過日数はほぼ同じだが、極の差では瀬の方が滞留域に比べて平均して約 85mg/m<sup>2</sup> 高い値になっている。また、滞留域と瀬において共通に午前値が午後値よりも低くなるという傾向が見られ、さらに 20 日前後の極大値を過ぎた後の 1 週間ほどの間に減少、増加という傾向が見られた。これは一定の現存量に収束した後、下層から藻類細胞が剥離し現存量の大きな減少が観察されている(Tuchman, 1996) ことからわかるように、一度剥離した後、増殖してきたものと見ることが出来る。この結果より、ロジスティックモデルは 20 日前後までは付着藻類群落の動態をよく表していると言えるが、それ以降の現象には適応性がないことがわかる。

### 4. おわりに

室内実験では相対粗度の違いによらず、波状性が見られた。現地での藻類の生育過程ではロジスティックモデルを適応した結果、 $r$  は滞留域では同じような値であったが、瀬においては午後の方がやや少なく、 $K$  においては瀬の値が滞留域の 2 倍ほどになった。今後の課題としては現地での相対粗度 0.5、0.8 の場合の検討が考えられる。

- 参考文献 1) 皆川朋子他：出水が河床石面付着物に及ぼす影響に関する実験的検討、河川技術論文集、第 9 巻、2000.6  
 2) 辻本哲郎他：河床付着性藻類群の繁茂動態のモデル化とその実河道への適用、河川技術論文集、第 9 巻、2000.6  
 3) 阿部信一郎他：ロジスティックモデルによる河川付着藻類群落の量的動態の解析、陸水学雑誌、2002

表-2 現地条件

	滞留域	瀬
水深 h(cm)	20	15
流速 u(cm/s)	17.4	65.1
相対粗度 d/h	0.23	0.30

chl-a (mg/m<sup>2</sup>)

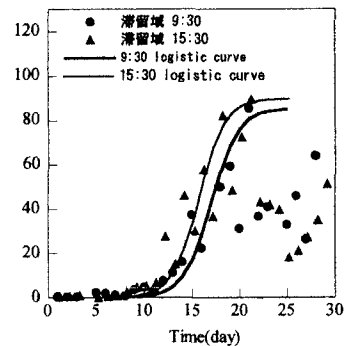


図-5 滞留域での現存量変化

chl-a (mg/m<sup>2</sup>)

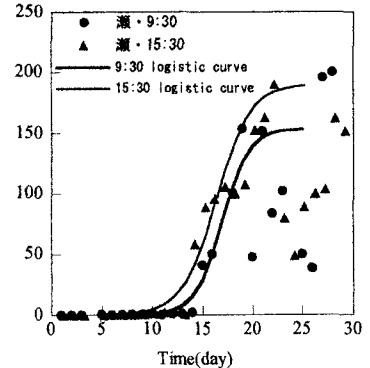


図-6 瀬での現存量変化

表-3 r, Kの値

	$r(1/day)$	$K(mg/m^2)$
滞留域(9:30)	0.70	85.0
滞留域(15:30)	0.73	89.7
瀬(9:30)	0.74	153.7
瀬(15:30)	0.59	190.0