

棧型粗面開水路流れの乱流特性

徳山高専 学生会員 ○永田能啓
 徳山高専 正会員 渡辺勝利
 徳山高専 正会員 佐賀孝徳

1. はじめに

河川や大気の流れなど自然界に存在する流れの大部分は砂礫あるいは山地、建物等といった粗度上を流れる粗面流と考えられる。粗面流は滑面と異なり、粗度要素の形状や大きさによって流れが影響を受けるため、乱流構造は一般的に滑面乱流よりも複雑となる。その乱流構造の特性を解明することは、河川防災や大気流動の予測に有益な知見を与えられ

えられる。そこで本研究では正方形断面を有する棧粗度を底壁面に設置した開水路流れを対象に、その乱流構造の特性を流れ場に形成された組織構造の特徴を踏まえて検討した。

2. 実験装置および方法

本実験には、水路床勾配を1/1000に設定した、長さ10cm、幅60cm、高さ15cmの総アクリル樹脂板製の滑面開水路を用いた。

実験に使用した棧粗度の断面は1辺(k)が1cmの正方形断面で、長さ60cmの塩化ビニルの棒材を用いた。この粗度を底壁面上に流れと直角方向に、上流から8mの区間にわたって等間隔で設置した。設置間隔(L)は粗度中心を基点に4, 8, 16cmに設定した。図-1には棧粗度断面形状及び配置概要を示している。実験条件の詳細は表-1に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

(1) 流速分布特性

図-2にはCase Lk8(以下、Lk8)における主流速分布の流れ方向の変化を示している。これより、棧粗度上の流れは、通常の開水路流れの流速分布と棧粗度間の溝部(以下、cavity)の低速流れが合成され、変曲点有する形状を呈している。cavity内では著しく低流速となっており、Lk8では $x/B < 0.5$ 領域に逆流の存在が認められる。

図-6はLk8におけるcavity内部の流速ベクトルを示したものである。実線矢印で示すように3つの旋回流が形成されている。本図の $2.7 < x/B < 7$ のcavity上部の流速ベクトルに注目すると、外部流体がcavity内に下降した後、底壁に再付着した後、外部へ向かって上昇していることがより明瞭である。

図-3はLk8におけるレイノルズ応力の分布を示している。最大値は $x/B = 0.8$ 付近で生じている。この傾

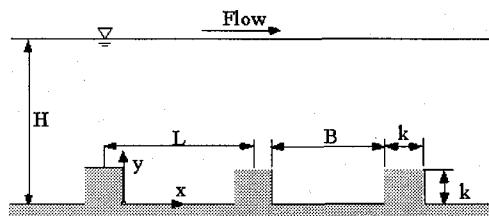


図-1 棧粗度断面形状および配置概要

表-1 実験条件

Case	L (cm)	K (cm)	B (cm)	H (cm)	U_B (cm/s)	U_{mc} (cm/s)	F ($U_{mc}/(gh)^{1/2}$)	Re ($U_{mc}H/\nu$)
Lk4	4	3	1	7.0	2.72	2.53	0.14	2172
Lk8	8	7	1	7.0	2.64	2.39	0.08	2039
Lk16	16	15	1	7.0	2.83	2.84	0.08	2163

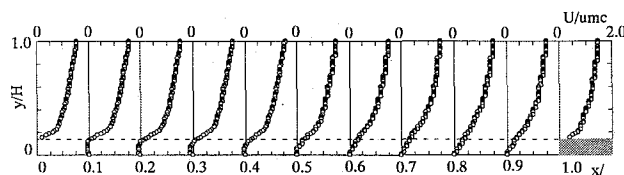


図-2 平均流速分布 (Case Lk8)

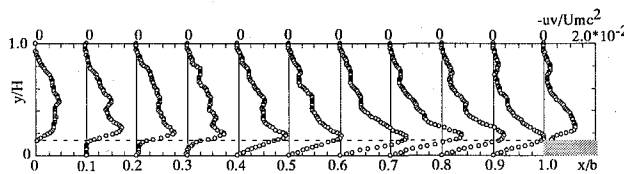


図-3 レイノルズ応力 (Case Lk8)

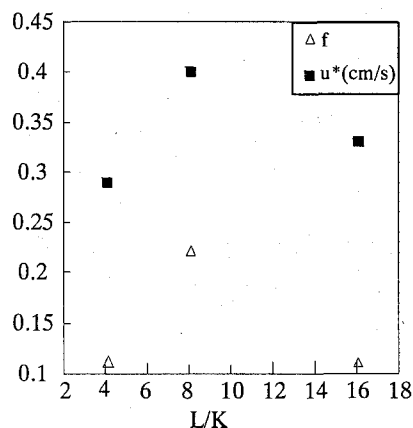


図-4 各条件における摩擦速度と摩擦損失係数

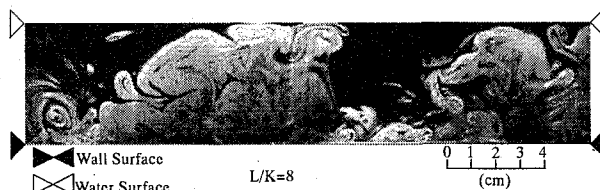


図-5 横断面視 (Case Lk8)

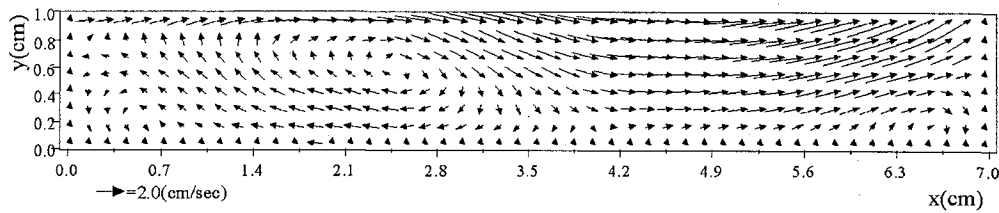
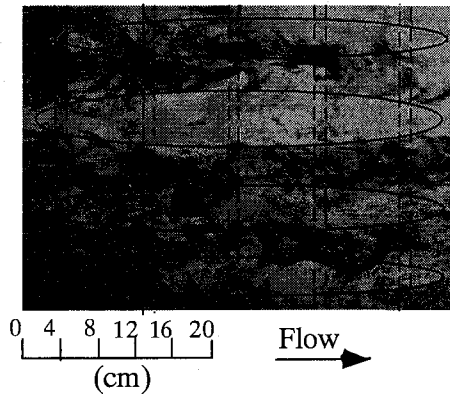
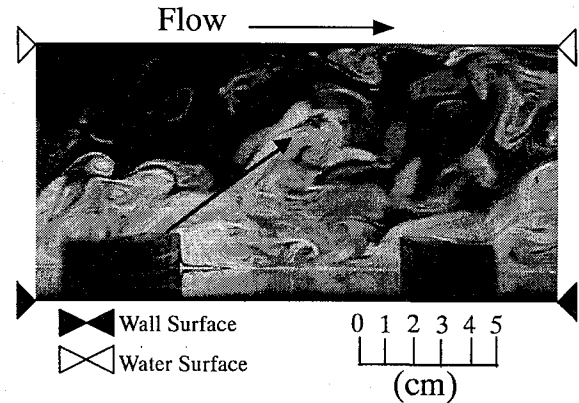


図-6 キャビティー内の流速ベクトル (Case Lk8)



(a) 横断面視



(b) 縦断面視

図-7 流れの可視化結果 (Case Lk8)

域は、外部からの下降流と cavity からの上昇流が入れ替わる領域と対応している。

図-4 は、各条件における抵抗特性について考察するために、摩擦速度(u_*)および摩擦損失係数(f)を求めそれらを比較したものである。摩擦速度は、富永らの研究を参考にして、外層におけるレイノルズ応力分布の勾配から算出した。摩擦速度の値は、Lk4, Lk16 は0.3cm/sec前後の値であるのに対しLk8は0.41cm/secという高い値を示している。この摩擦速度から、摩擦損失係数を $f=8(U^*/U_{mc})^2$ を用いて求めた。摩擦損失係数に注目すると、Lk4, Lk16では0.11程度の値であるのに対し、Lk8では0.22となっている。以上のことから、既往の研究において示された、Lk8で摩擦抵抗が最も大きくなることが、本実験においても確認された。

(2) 流れの可視化結果

図-7(a)はLk8における平面視の一例である。図中の白色の部分が蛍光塗料水溶液によって可視化された組織構造に相当する。本図は、滑面開水路流れに形成されるような縦渦構造が形成されている様子を示している。この渦構造は他の2つの条件においても観察されたがLk8ではとくにその安定した形成が認められた。図-5はLk8の横断面視である。平面視で観察されたように、横断面視においても、本図のような大規模な縦渦構造が流下する様子が観察された。その横方向スケールは水深程度であることが観察された。図-7(b)はLk8における縦断面視である。本図には大規模縦渦構造が通過している様子とともに cavity 上流側に横断方向に軸をもって

回転する渦構造の存在が示されている。このような、流れ方向に軸を持つ渦と横方向に軸を持つ渦が共存していることが本流れ場の特徴と考えられる。この縦渦構造が粗度上部を通り過ぎる際に、cavity 内部への下降流を誘起し、それに伴って cavity 内に顕著な横渦が発生する様子が頻りに観察された。また、同時に、図中の矢印で示すような、cavity からの顕著な上昇流の形成も観察された。以上のことから、縦渦構造の通過は cavity 内部と外部の流体交換に極めて重要な役割を果たしていると推察される。

4. おわりに

流れの可視化法を用いて棧型粗面上の開水路流れの乱流構造の特性について検討を行った。本研究において得られた主要な知見を以下に示す。

(1) 棧粗度壁面上の流速分布は、cavity 内の低速部分を伴うため、変曲点、高せん断層を有する。また、cavity 内部において循環流が形成される。

(2) レイノルズ応力分布については、いずれの条件においても cavity 上部の外部流れとの境界付近に大きな値が生ずる。とくにLk8の条件におけるその最大値は、他の条件よりも大きく、摩擦速度、抵抗係数も相対的に大きな値となる。

(3) 本流れ場には大規模な縦渦構造と cavity 内における水路横方向に軸を持つ渦構造が存在している。これらの相互関係が、流れ場の平均流、乱れの特性に寄与していると思われる。

参考文献

1) 富永晃宅, 田本典秀: 三角形棧粗度を有する開水路流れの乱流構造, 応用力学論文集, Vol.5, pp727-734, 2002