

縦横粗度を有する開水路乱流の組織構造

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○國弘栄司
 徳山工業高等専門学校 正会員 渡辺勝利

1. はじめに

開水路流れの底壁面に粗度を設置するとその乱流構造は大きく変化する。中でも縦筋や横粗度を設置した流れ場においては、その平均流速や乱れの分布形状が3次元化することが知られている^{1), 2)}。このような複雑乱流は、実河川における並列らせん流の形成や熱交換器の放熱効果等と関係することから、その構造の解明は工学的に重要である。近年、乱流構造の本質を理解するには、その組織構造の究明が不可欠とされているが、本流れ場についてはこれまで十分な究明はなされていない。

そこで、本研究では底壁面に縦横粗度を設置した開水路流れの組織構造の特徴を流れの可視化法を用いて考察し、いくつかの興味深い知見を得た。

2. 実験装置および方法

本実験には、勾配を 1/1000 に設定した、長さ 10m、幅 60 cm、高さ 15 cmの透明アクリル樹脂板製の滑面開水路を用いた。この底壁面に、図-1 に示す台形断面の横粗度を中心間隔 10cm で、上流端より下流 8m まで設置した。

実験では、組織構造の可視化、PTV(Particle Tracking Velocimetry)による流れ場の流速測定を行った。組織構造の可視化においては、トレーサーに蛍光染料水溶液（比重 1.005）を、照明にレーザースリット光（厚さ 3 mm）を用いた。PTV においては、トレーサーとして微細粒子（平均粒径 150 μm 、比重 1.04）を、照明として前出のスリット光を用いた。本トレーサーを上流から一定量注入した後、縦断面、横断面、水平断面におけるトレーサーの流動状況をデジタルビデオカメラで撮影した。

実験条件は、水深(H)5cm、平均流速(Um)8.0cm/s、レイノルズ数 ($Re=Um \cdot H/\nu$) 3925 に設定した。

3. 実験結果および考察

(1) 組織構造

図-2 は、平面視の結果の一例である。平面視においては、横粗度上に染料の集中する領域が顕著に形成されていることが観察された。図-3(a)はその横断面視を示している。これより、平面視における染料の集中領域は大規模な組織構造に相当していることが確認された。また、これは同図 (b)に示すように、複数の渦構造が合体することに

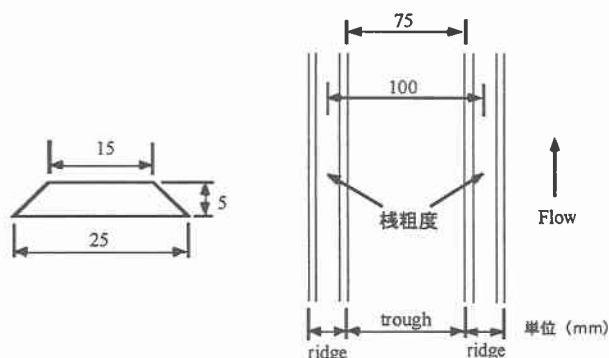


図-1 横粗度断面形状および配置間隔

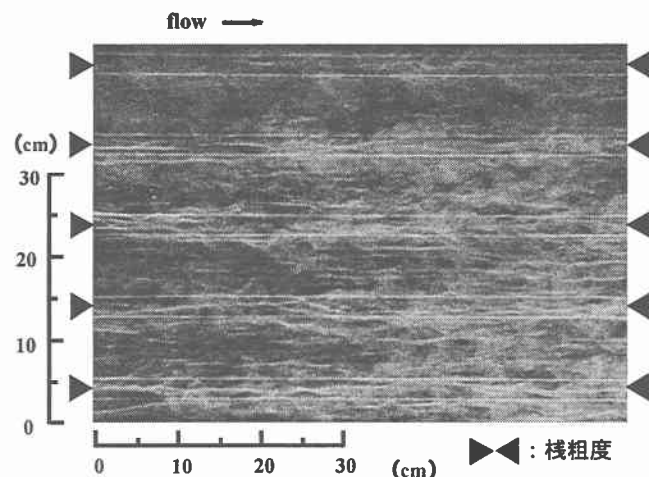
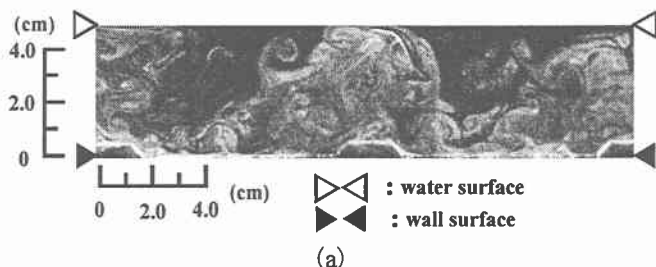
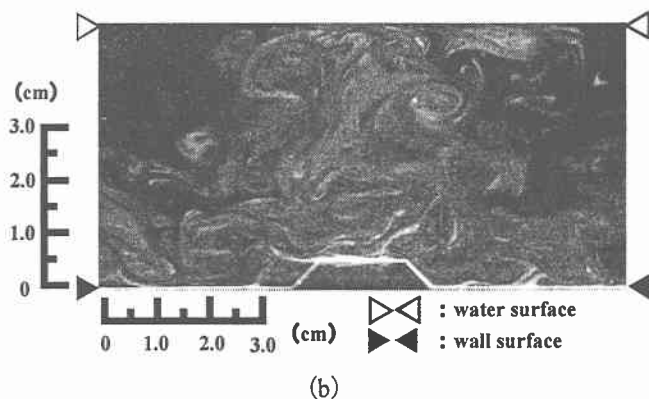


図-2 平面視の一例



(a)



(b)

図-3 横断面視の一例

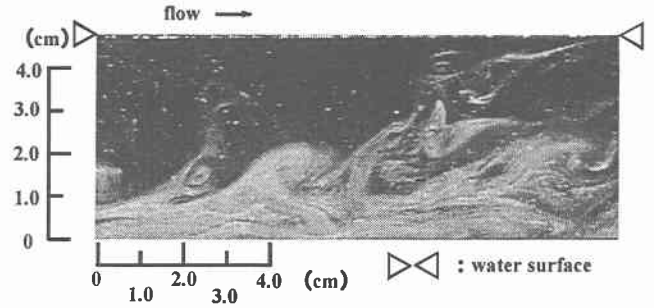
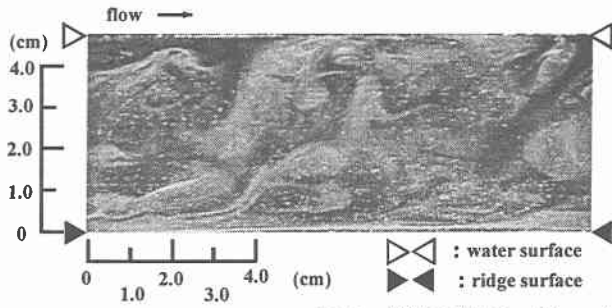


図-4 縦断面視の一例 (a) 左: ridge 上 (b) 右: trough 上

より形成されていることが明らかである。一方、図-4 はこの大規模構造の縦断面視の一例である。ridge 上では顕著な上昇流が発生していることが認められ、それに伴って大規模構造が急角度で水表面まで発達する様子が頻繁に観察された。これとは逆に trough 上では下降流が形成されており、これにより底壁面上に形成された組織構造の水表面方向の発達が抑えられている様子が観察された。

(2) 流速分布特性

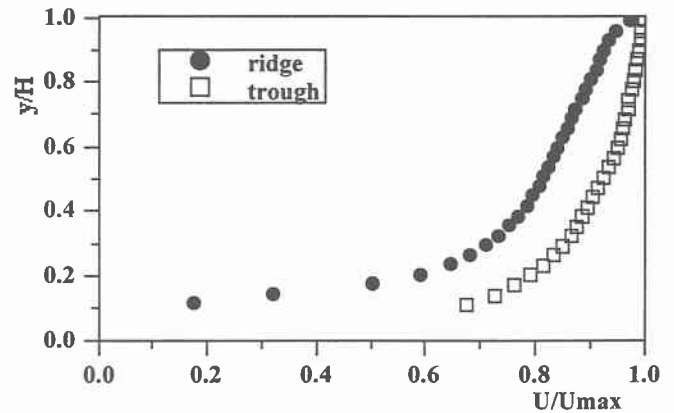
図-5 は PTV によって得られた平均流速分布および乱れの分布を示している。(a)は主流速方向の平均流速(U)の分布を示している。これより相対的に ridge 上では低速, trough 上では高速となっていることが明らかである。(b)は鉛直方向の平均流速(V)の分布であり、正の値は水表面方向、負の値は底壁面方向の流速を示している。これより ridge 上では上昇傾向, trough 上では下降傾向にあることが明らかである。(c)はレイノルズ応力($-\overline{uv}$)分布である。これより, ridge 上では trough 上よりも乱れが大きいことが注目される。また、この傾向は大本ら²⁾の DNS による計算結果とも一致している。このような ridge および trough における平均流速、乱れ分布の相違と組織構造の相互関係を詳しく調べることが重要である。

4. おわりに

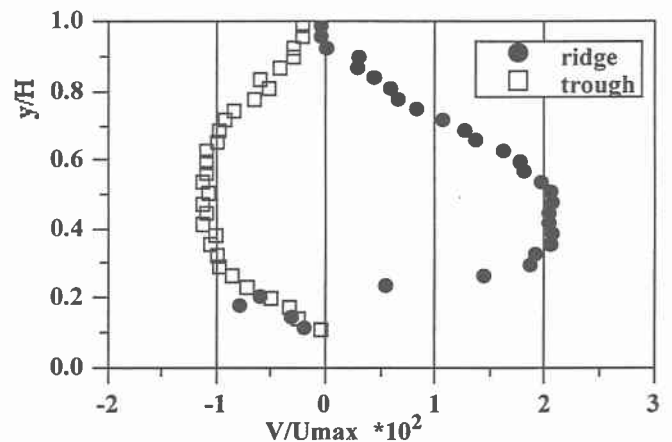
底壁面に縦横粗度を有する開水路乱流の組織構造の特徴を流れの可視化法により考察した。その結果、横粗度上には複数の渦が合体した大規模渦構造が時間的に安定して形成されることが明らかとなった。またそこでは、上昇および乱れが相対的に大きくなることが明らかとなった。

参考文献

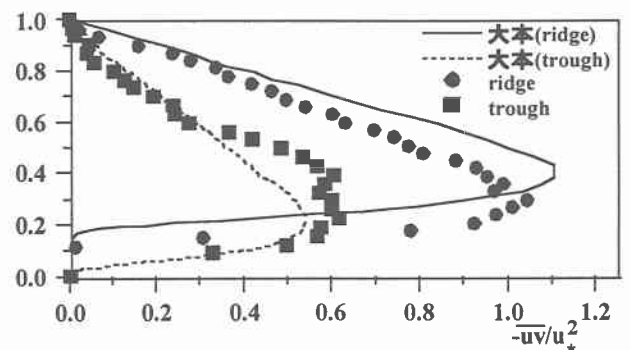
- 1) Nezu, I, Nakagawa, H: Cellular Secondary Currents in Straight Conduit, J. Hydraulic Eng, ASCE, Vol. 110, pp. 173-193, 1984.
- 2) 大本照憲, 林俊一郎: 一般座標系高次精度 DNS の縦筋河床流れへの適用, Transaction of JSCES, Paper No. 20010020.



(a) 主流速方向流速



(b) 鉛直方向流速



(c) レイノルズ応力

図-5 平均流速分布および乱れ分布