

1. はじめに

棧粗度を設置した流れは、多くの研究者たちによってその抵抗特性について詳細な解明が為されているが¹⁾、水面変動に焦点を当てた研究例は少なく²⁾、細部に亘る詳細な知見は未だ得られていない。そこで、本研究では棧粗度を設置した流れにおける水面の変動特性を明らかにするべく、フルード数および粗度間隔を変化させた実験を実施し、水路縦断面に対して内部流と水面変動の同時計測を、水路横断面に対して水面変動計測を行った。

2. 実験概要

本研究では長さ約 6m、幅約 0.3m の可変勾配式循環型直線水路を用いて実験を行った。水路縦断面に対して 2 台の同期された高速度カメラを用いて内部流と水面変動の同時計測を行い(図-1)、また水路横断面に対して水面変動計測を行った。(図-2)

水深は $h=6\text{cm}$ で一定とし、水路底面には粗度高さ $k=0.9\text{cm}$ のアルミニウム製角柱棧粗度を設置した。粗度の設置間隔は無次元粗度間隔 $L/k=2.5, 5, 7.5, 10$ の 4 通り実施した。またフルード数 Fr は 0.1 から 0.6 の間で変化させ、粗度間隔毎に 3 ケース設定し、すべてのケースで同時計測を、各粗度間隔でフルード数が最も大きいものに対して横断面計測をそれぞれ実施した。内部流に対しては PIV 解析を行い、水面変動は撮影画像を二値化する新たな手法を開発し、これを用いて解析した。

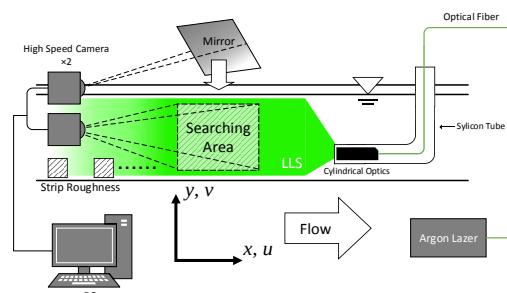


図-1 同時計測装置概略図

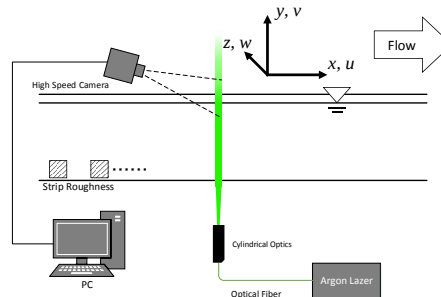


図-2 横断面計測装置外略図

3. 水面変動解析手法

水面変動は撮影画像を二値化する処理により数値化した。同時計測と横断面計測のそれぞれに対して撮影画像の特性に合わせて 2 つの異なる手法を用いた。同時計測では撮影画像はそのままでは水面位置が不明瞭であるため、多重合成および移動平均処理を施した後、輝度のムラの影響を避けるために一部を切り出して二値化した。処理手順を図-3 に示す。横断面計測ではまず濃度ヒストグラムを拡張する処理により画像を明瞭化し、画像全体を二値化、その後輝度に補正を加える処理を施した。処理手順を図-4 に示す。

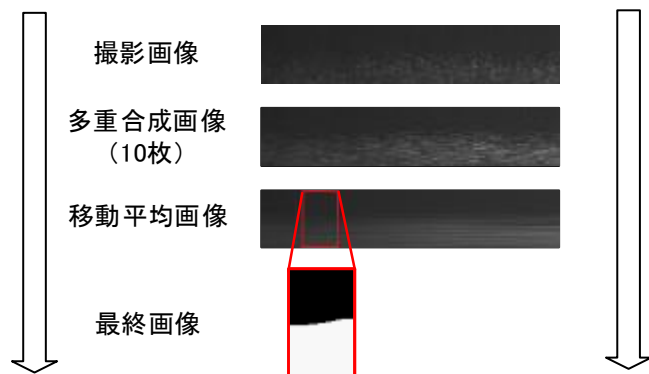


図-3 水面変動解析手順 (同時計測)

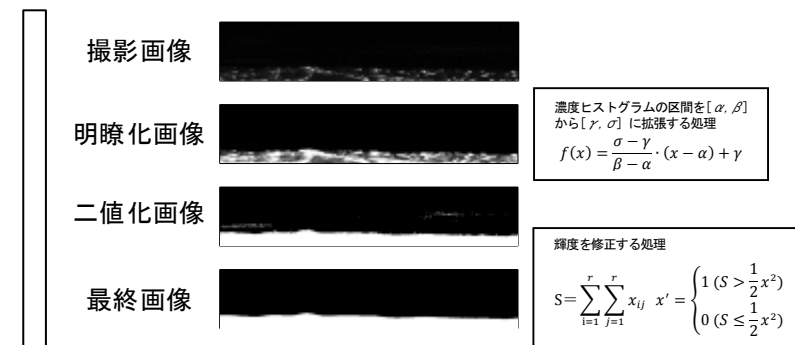


図-4 水面変動解析手順 (横断面計測)

4. 水面変動の移流特性

水面変動が微小時間の内には波形を保ちながら移流のみによって流下すると仮定すれば、水面変動の時空間相関の極値の移動量から移流速度の推定が可能である。水面変動の時空間相関は以下の式で表される。

$$R = \frac{h'(x, t)h'(x + \Delta x, t + \tau)}{\sqrt{h'^2(x, t)}\sqrt{h'^2(x + \Delta x, t + \tau)}} \quad (1)$$

図-5に無次元粗度間隔 $L/k=10$ 、フルード数 $Fr=0.6$ のケースにおける時空間相関を示す。図中の三角マーカーは極値の位置を示す。この極値の移動量から求めた移流速度を $U_p(=dx/\tau)$ とし、PIV 解析により得られた表面流速 U_s と比較すると(図-6)、両者は概ね一致していることがわかる。この傾向は他の粗度間隔およびフルード数でも確認できたことから、栈粗度を設置した開水路流れにおいては、水面変動の移流速度と表面流速は概ね一致すると考えられる。

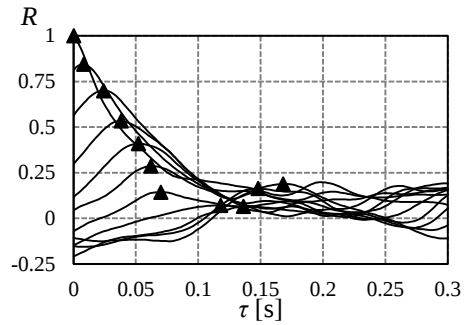


図-5 水面変動の時空間相関 ($L/k=10$, $Fr=0.6$)

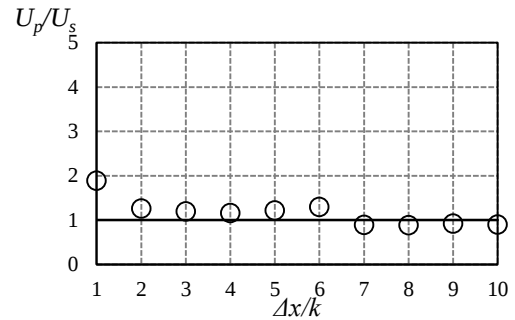
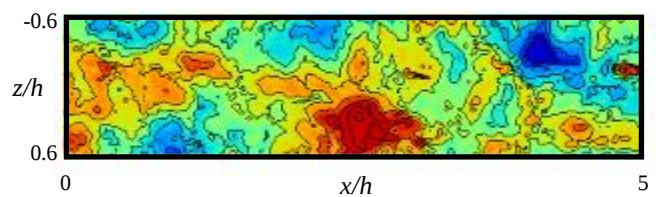


図-6 移流速度と表面流速 ($L/k=10$, $Fr=0.6$)

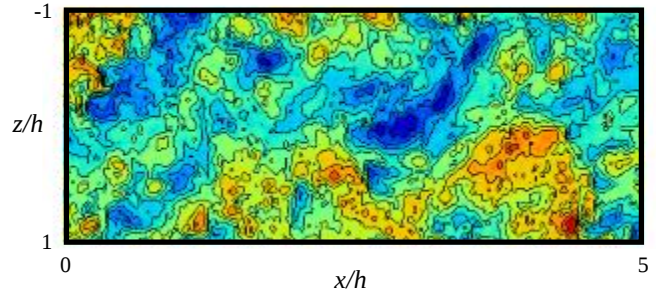
5. 水面変動の空間分布

前節に示した通り、水面変動の移流速度は表面流速にほぼ等しいと考えられる。そこで、横断面計測により得られた水路横断一断面における水面変動の時系列データを時刻 t に表面流速 U_s をかけて流下方向に展開することで、擬似的に瞬時の水面形を広範囲に渡って再現することが出来る。図-7にこの手法でもって再現された水面形を無次元粗度間隔 L/k が5および10のケースについて示す。水面は3次元的に変動しており、また主流方向およびスパン方向のどちらにおいても水深スケールの変動が支配的であることが確認できる。また無次元粗度間隔 L/k が5のケースと10のケースを比較すると、大きな変動の間隔は両ケースで同程度であり、水面変動の周期や規模は粗度間隔にはあまり左右されないと考えられる。

$L/k=5$, $Fr=0.6$



$L/k=10$, $Fr=0.6$



-0.04 0.04
 h'/h

図-7 瞬時の水面形

6. おわりに

本研究ではPIVによる可視化実験および画像解析による水面変動計測を実施し、栈粗度を設置した開水路流れにおける水面変動の移流特性を明らかにした。また、水路横断面に対する水面変動計測により擬似的に瞬時の水面形を再現する新たな観察手法を提案することができた。

参考文献

- 1) 富永晃宏: 栈粗度の相対栈間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響, 水工学論文集, 第36巻, pp.163-168, 1992.
- 2) 吉村英人・藤田一郎: 境界埋め込み法を取り入れたLESによる開水路栈粗度乱流場の上昇剥離渦の解析, 水工学論文集, 51巻, pp.769-774, 2007.