

1. はじめに

棧粗度上の流れは粗面乱流の抵抗に関する基礎研究において、数多くの研究者が対象としてきたが、流れの内部構造が水面変動に及ぼす影響に焦点を当てた研究例は極めて少なく<sup>2)</sup>、未だ未解明な部分が多い。そこで、本研究では内部流速と水面変動を同時計測可能なシステムを構築し、異なる粗度間隔に対する流れ場と水面変動特性に関する実験を行った。

2. 実験概要

本研究では、長さ約6m、幅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。また、2台のハイスピードカメラ(500fpsで撮影)を用いて内部流速場と水面変動の同時計測を行った。レーザー光膜は水中で下流から上流側に向けて照射し、内部流れ場の鉛直断面と鏡に映った水面形を同時に撮影した。実験装置の概略図を図-1に示す。水路底面には粗度高さ $k=0.9\text{cm}$ の棧粗度を無次元粗度間隔 $L/k=5$ あるいは10で設置した。水理条件については、平均水深 $h_m$ は棧粗度を除く水路底面からの高さとして6.0cmに固定し、勾配と流量を変化させてフルード数 $Fr_m$ を0.3, 0.4, 0.5, 0.6の4ケースで実験・PIV解析及び水面変動解析を行った。以降では、 $Fr_m=0.6$ のケースについて検討する。

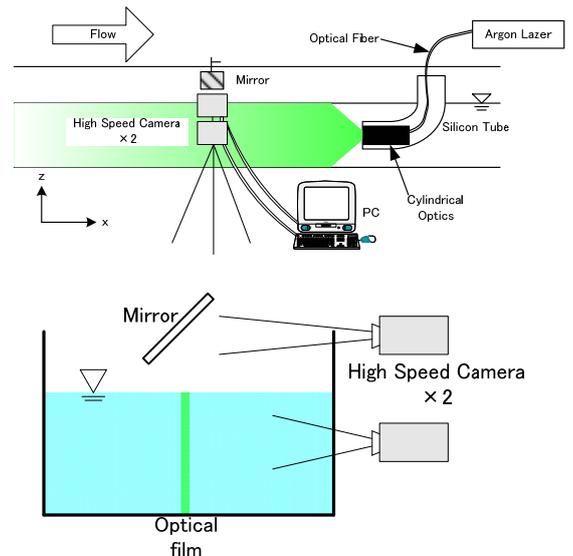


図-1 実験装置

3. 水面変動の解析手法

水面変動については、鏡に反射した水面形を撮影した画像に一連の画像処理を施して水面高さを求めた。まず、鏡を通して斜め上方から撮影した画像を10枚区切り(0.002×10=0.02sec)で多重合成し、横方向にぼかして移動平均画像を作成する。移動平均画像にメディアンフィルタをかけノイズの除去を行う。最後にメディアンフィルタをかけた画像の水面を含む矩形領域を切り出して二値化処理を行い、輝度の変化点を水面位置とした。これらの処理によって作成された画像の時間変化を図-2、水面変動強度の比較を図-3、水面変動の時系列変化を図-4に示す。

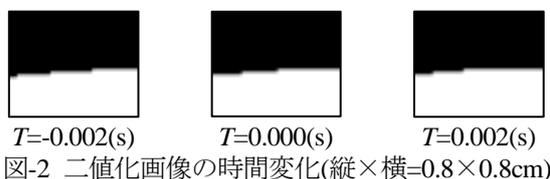


図-2 二値化画像の時間変化(縦×横=0.8×0.8cm)

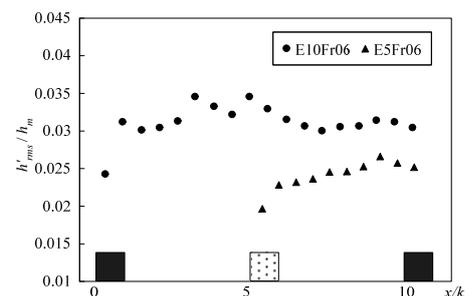


図-3 水面変動強度

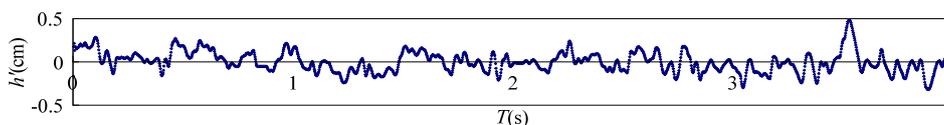


図-4 水面変動の時系列変化

#### 4. 水面変動の発生過程

水面変動の発生過程を明らかにするために瞬間鉛直流速の時間変化を図-5に示す。これはE5Fr06のケースにおいて $T=0.05\text{s}$ 間隔の瞬間鉛直流速をコンタープロットしたものであり、赤い領域が正の鉛直流速成分をもつ流速塊であることを示す。また、コンター図の上方に各瞬間の水面形を付記した。このような流速ベクトルと水面形の同時刻表示は本システムにより初めて行えるものである。図-5(a) $T=0.00\text{(s)}$ において上流側粗度間で粗度先端部から剥離した流れによる大規模な鉛直成分をもつ流速塊を確認できる。これらは、粗度高付近から水面にまで広がっており、(b) $T=0.05\text{(s)}$ 、(c) $T=0.10\text{(s)}$ にかけて下流方向に流下している。また、このときの水深は平均水深より大きく水面形が盛り上がる様子から水面変動の発生が確認できる。これより、粗度高付近で発生した上昇流が流下に伴い水面付近に到達して水面変動が発生するものと推測できる。図-6には×印で示す点の水面変動と鉛直流速変動の相関係数をコンタープロットしたものを示す。図-5に示す瞬間鉛直流速コンター図と同じケースである図-6(a)では基準点より上流側において水面から底面に向かって正の相関領域が分布しており、基準点上流側で粗度高さ付近から水面にかけて発生する大規模な正の鉛直流速塊は水面変動に影響を及ぼすことが示唆される。一方、無次元粗度間隔を広くした図-6(b)では正の相関領域は基準点上流側の狭い領域でしか確認できず、同じフルード数でも無次元粗度間隔が異なれば内部流速場が水面変動に及ぼす影響は異なることがわかった。

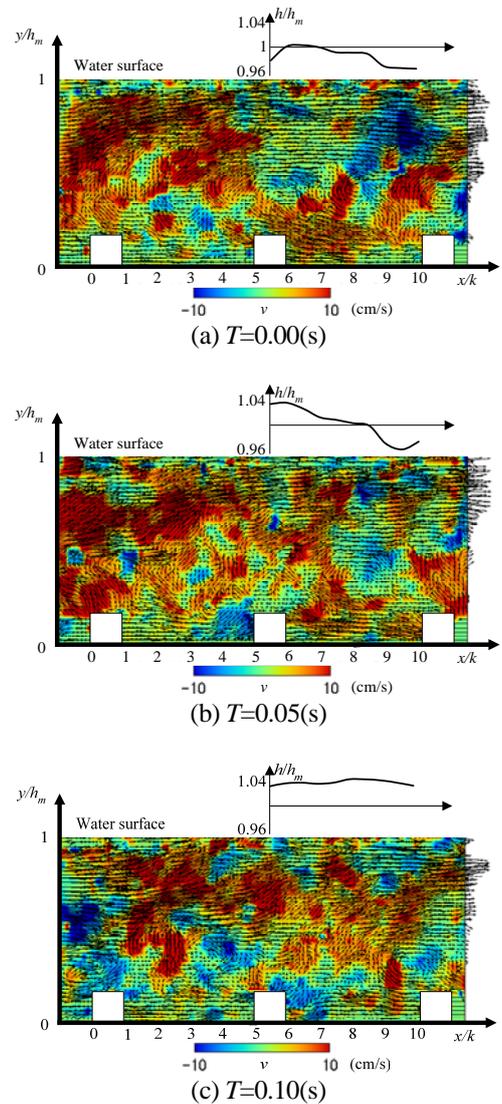


図-5 瞬間鉛直流速コンター

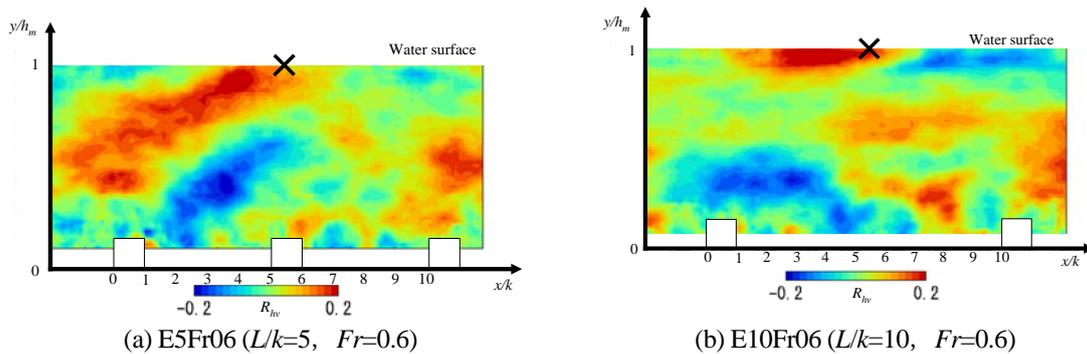


図-6 鉛直流速変動と水面変動の相互相関

#### 5. おわりに

本研究では粗度を有する開水路乱流に対してPIVによる可視化実験を行い粗度が流れ場や水面変動に及ぼす影響について検討した。水面変動と内部流速場の同時計測実験によって水面変動に影響を及ぼす内部構造の実体とそれらの発生過程を明らかにすることができた。

#### 参考文献

- 1) 富永晃宏:粗度の相対粗度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.