桟粗度開水路乱流場の水面形パターン分類に関する検討

神戸大学大学院工学研究科　○学生会員　衣笠　恭介　　神戸大学大学院工学研究科　　正会員　藤田　一郎
神戸大学大学院工学研究科　学生会員　谷　昂二郎
神戸大学大学院工学研究科　学生会員　能登谷　祐一

１．はじめに

開水路粗面乱流の研究において，粗面乱流の内部構造に関する考察や表面流計測を用いた二次元流速場の解析などは数多く行われてきたが，相対水深が小さいケース，つまり浅水流状態のときに桟粗度が水面にどのような影響を及ぼすかについての研究は少ない．本研究では浅水状態に限定した様々な水理条件下で実験を行い，発生した水面形パターンの詳細な分類方法について検討した結果を示す．

２．実験概要

本研究では水路全長約 6.0m，水路幅約 0.3m の循環型可変勾配式直線水路を用い，水路底面には一辺が k=0.9cm の正方形断面の桟粗度を等間隔 L で設置した．粗度の設置間隔は無次元粗度間隔 L/k=2.5 から 20 の範囲で 8 通り，勾配は I=1/50，1/100 の 2 通り，レイノルズ数は 5000 から 36000 の範囲で変化させ，水面の撮影を行った．その中で，レイノルズ数の増加に伴う水面形変化が著しい L/k=15 については，ハイスピードカメラを用いた縦断面内の詳細な画像計測を行った．水面の輝度と水面変動に関する計測装置については図-1，2 に示す通りである．

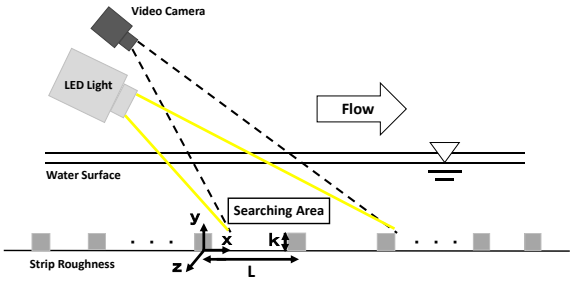


図-1　水面の輝度計測装置概略図

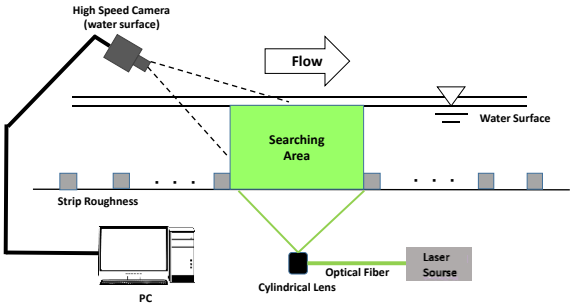
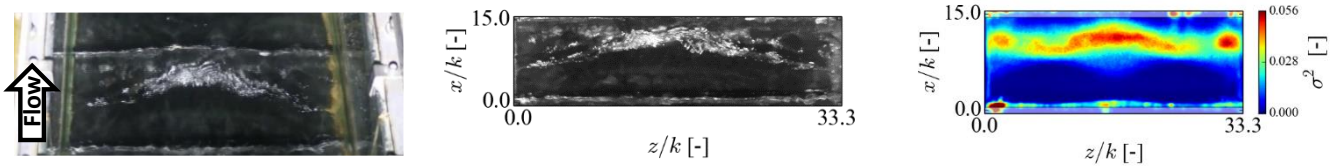


図-2　水面変動計測装置概略図

３．画像解析手法

水路斜め上（水路より約 1.5m 高さ)の撮影(HD ビデオカメラ SONY-HDR-CX720)箇所で固定した LED ライトを水面に照射し，反射光の揺らぎを検出する．連続した水面画像に対して輝度値の分散 σ^2 を各点で計算することで二次元的な水面形のパターンを捉える．その際，撮影した画像を幾何補正することにより真上からのアングルに変換している．図-3 に一連の処理過程の例を示す．図-3(a)には，粗度間で跳水が発生している様子が示されており，図-3(c)ではその変動幅が明確に現れている．



(a) 撮影画像　　(b) 幾何補正画像（一部）　　(c) 輝度の分散プロット

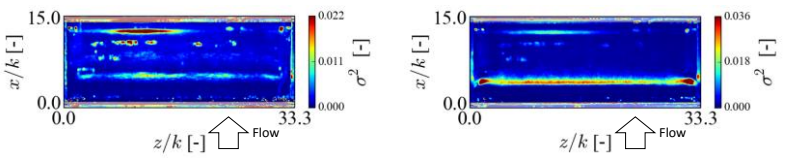
図-3 画像解析処理過程 (L/k=15，I=1/50，Re=13000)

キーワード：水面変動，水面形パターン，輝度，SVM

Kyosuke Kinugasa, Ichiro FUJITA, Kojiro TANI, Yuichi NOTOYA
ifujita@kobe-u.ac.jp

4．水面形パターン分類

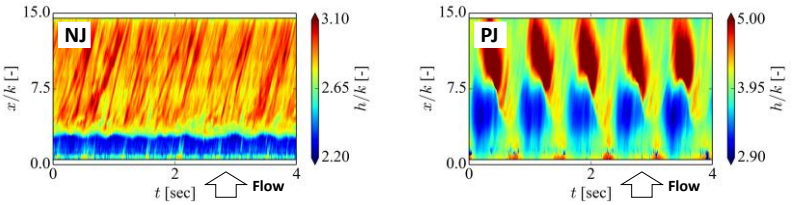
図-4 に本研究で分類した水面形パターン例を輝度分散プロットで示した．(a)は水面変動がほとんどない状態，(b)は一般的な跳水状態，(c)は跳水位置が x 方向に振動する状態，(d)は水面に三次元的な変形が発生する状態を指し，(a)を平面(FT)，(b)を定常跳水(NJ)，(c)を周期振動跳水(PJ)，(d)を 3 次元定在波(3D)と定義する．図-4(d)では，レイノルズ数の増加に伴って 3 つの瘤状のうねりが発生していることがわかる．図-5 は水深の時空間プロットで順に NJ，PJ 及び，3D である．水面形のパターンが水理条件によって大きく変化することが確認できる．



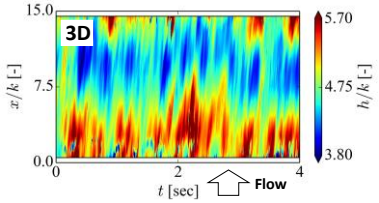
(a) L/k=15.0, I=1/200, Re=5000　(b) L/k=15.0, I=1/50, Re=5000

(c) L/k=15.0, I=1/50, Re=12777　(d) L/k=15.0, I=1/50, Re=20553

図-4 水面への反射光による輝度の分散プロット



(a) L/k=15.0, I=1/50, Re=5000　(b) L/k=15.0, I=1/50, Re=12777

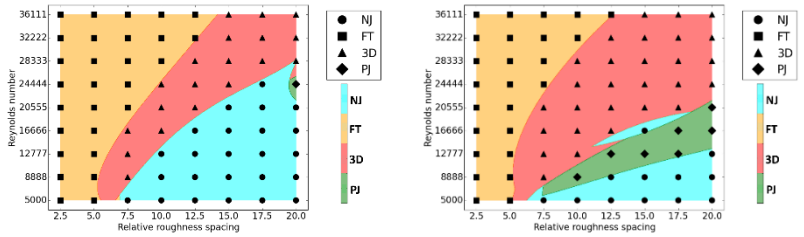


(c) L/k=15.0, I=1/50, Re=20553

図-5 水深の時空間プロット

5．SVM による領域分割図

領域分割アルゴリズムである Support Vector Machine (SVM)[1)]を用いて，各パラメータと水面形パターンの対応関係を考察する．この手法では合理的にパターン分類を行うことができる．ここでは，先述の水面形が全て現れる勾配 I=1/50，1/100 に対する結果を図-6 に示す. 勾配が急になるほど FT と NJ の範囲が減少し，3D と PJ が増加することから，水面変動が大きくなることがわかる．また，各パターンが生じる水理条件が明瞭に判別できていることから，実験範囲外の条件についてもそこで生じる水面形パターンをある程度，予測することが可能である．



(a) I = 1/50　(b) I = 1/100

図-6 SVM による領域分割図

6．おわりに

本研究では，桟水状態の桟粗度流れにおける多様な水面形パターン変化について，LED ライトによる反射光の輝度を用いた可視化を試みた．また，SVM アルゴリズムにより，水面形状パターン分類を合理的に行うことができた．今後は各水面形のより普遍的な発生条件や周期変動のメカニズムについて詳細な検討を行っていく予定である．

参考文献

1) 小野田崇：サポートベクターマシンの概要，日本オペレーションズ・リサーチ学会，pp. 225-230, 2001.