

# 砂州の発生・発達過程における表面流速の計測法の開発

新潟大学工学部建設学科	○非会員	茂木 大知
新潟大学災害・復興科学研究	正会員	五十嵐 拓実
新潟大学災害・復興科学研究	正会員	安田 浩保
新潟大学理学部理学科	非会員	早坂 圭司
新潟大学工学部工学科	非会員	村松 正吾

## 1 はじめに

河川の底面には砂州と呼ばれる川幅規模の周期的な幾何学形状が形成される。その形成条件や発生と発達のパラメータの解明を目的とした数多くの研究が実施されてきた。このような砂州の発生と発達に密接に関係する掃流砂の運動は、その直接計測が困難である。このため、現時点では空間的に高分解能の定量的な把握は実現していない。また、掃流砂の支配変数と推測される表面流速でさえも、計測可能ではあるものの水深と流速が刻々の変化をする移動床において時空間に十分な解像度で計測された前例はない。長谷川・山岡<sup>1)</sup>らは、プロペラ式流速計を用いて模型水路内に形成された砂州上の表面流速を計測した。彼らの手法は一度排水を行い、底面を速乾性ボンドで固定化した後に再び通水を行い、数 cm 間隔で 1 箇所ずつ計測していた。計測に用いられたプロペラ式流速計は接触式の流速計測機器のために、計測の際に流れ自体に影響を及ぼすことや、空間的に高分解能な計測は極めて煩雑となり、現実的な方法ではない。

本研究では、直接計測するのが困難な掃流砂の運動の把握に向け、駆動力である表面流速の画像解析による定量化を試みた。

## 2 砂州上の表面流速計測のための模型実験

### 2.1 模型実験の概要

模型実験水路は全長 12 m、全幅 0.45 m、水路勾配 1/66 の矩形断面の直線水路を用いた。水路床全体には平均粒径 0.76 mm の 4 号珪砂を 3.5 cm の厚さで敷き、水路中央に流路幅 20 cm、深さ 3 cm の流路を掘削した。水理条件は交互砂州が形成される条件を狙い、黒木・岸<sup>2)</sup>の領域区分で交互砂州の発生条件に設定した。流量は 0.3L/sec を上流端から定常で与えた。

### 2.2 表面流速の計測方法

表面流速の計測は、画像解析を用いた非接触式の計測を行った。以下にその手順を示す。まず、トレーサーを流した水路を直上から撮影した。次に、動画から二値化画像を

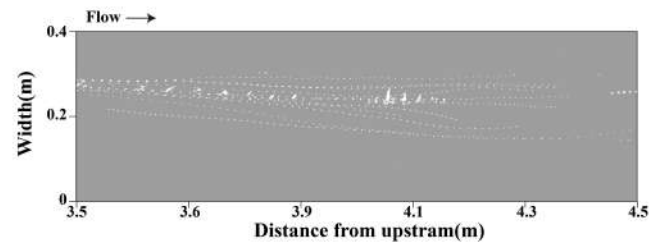


図-1 通水開始 5 分時点での多重露光画像

生成し、図-1 に示す多重露光画像を作成した。その後、多重露光画像から各トレーサーの位置座標を取得し、その移動距離と移動時間から表面流速を算出した。

撮影方法は上流端から 4 m 地点直上に RaspberryPi3<sup>3)</sup> を固定し、そのカメラモジュールを用いて撮影を行った。撮影区間長は 1m であり、撮影は 5 分毎に行った。トレーサーは直径 2 mm 程度の発泡スチロール球を使用した。シャッタースピードは、トレーサー粒子が軌跡を描画できる条件として、3/1000 sec に設定した。また、表面流速と底面起伏の対応関係を調べるために表面流速の計測とほぼ同時刻において、星野ら<sup>4)</sup>が開発した StreamTomography (以下 ST) を用いて水面と底面の同時計測を行った。

### 2.3 計測した表面流速の妥当性の検証

計測した表面流速の妥当性を検証するために、底面の計測値を入力条件にした水理解析を行い、計算値の表面流速を比較対象とした。

水理計算モデルは iRIC<sup>5)</sup> に同梱されている平面 2 次元の流れと河床変動のソルバーである Nays2D を用いた。水理条件は模型実験と同様である。粗度係数は Manning-Strickler 式から算出した 0.014 を設定した。計算格子の辺長は模型実験の計測間隔と同様の縦横断方向に 1 cm とした。

水理計算モデルの本現象への適用性を検証するために、水深の計測値と計算値を比較した。通水開始 5、15 分における計測値と計算値の平均水深差は 0.7 mm 以下であり、初期の等流水深 7 mm の 1 割以下であることから、本計算モデルの本現象への適用性は十分であると判断した。

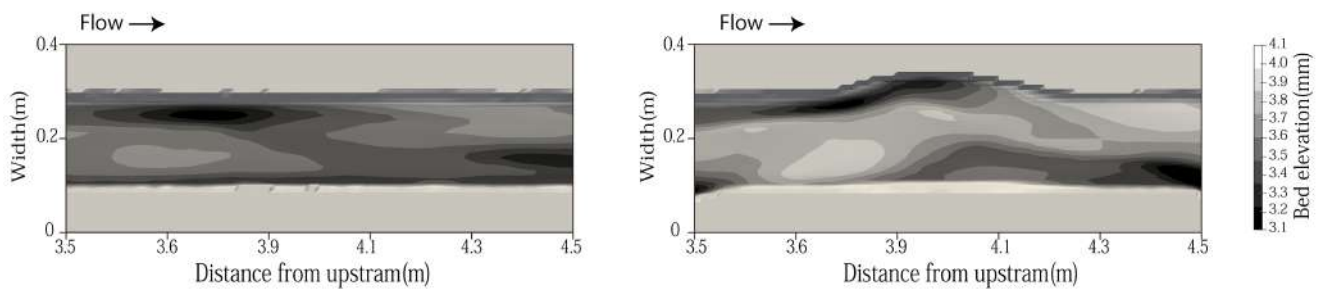


図-2 底面形状 (左図：通水開始 5 分後，右図：通水開始 15 分後)

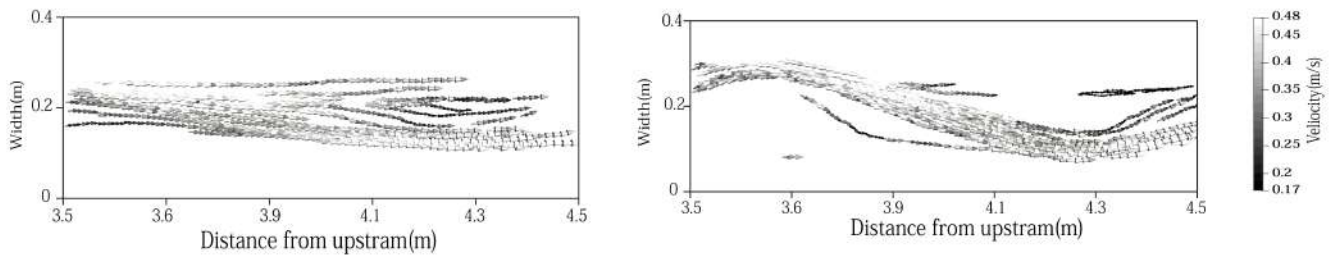


図-3 計測された表面流速ベクトル (左図：通水開始 5 分後，右図：通水開始 15 分後)

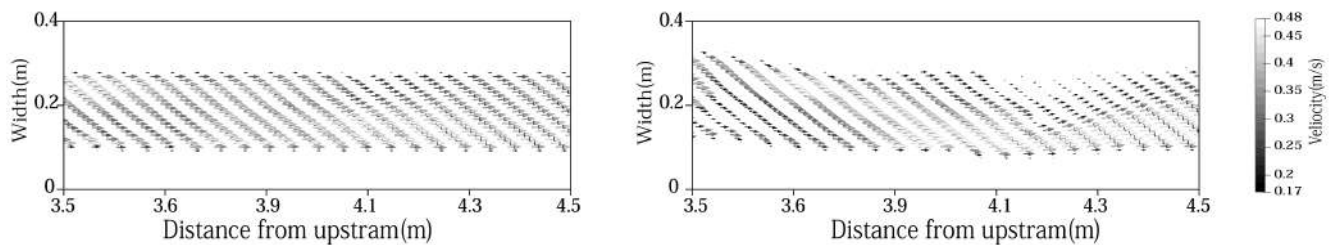


図-4 数値計算による流速ベクトル (左図：通水開始 5 分後，右図：通水開始 15 分後)

## 2.4 表面流速の計測結果

図-2 から図-4 に通水開始 5 分後，15 分後における底面形状，計測された表面流速ベクトル，数値計算による表面流速ベクトルを示す。なお，数値計算による表面流速ベクトルは 5cm 間隔で結果を示している。

通水開始 5 分後ではすでに底面に交互砂州が形成されていた。計測された流速ベクトル，数値計算によるベクトル共に底面の高低に沿って上流の左岸側から下流の右岸側へ向かう流れを表しており，交互砂州上の流況を忠実に捉えていると言える。しかし，場所による表面流速の傾向は共通しているものの，その値は計測された表面流速の方が速いという結果であった。

通水開始から 15 分時点では底面起伏の発達及び側岸侵食が発生し，流路が蛇行し始めた。計測・数値計算の流速ベクトルは底面形状に沿って蛇行している滞筋を明確に形成しており，通水開始 5 分後よりもその値に差は見られない。流路の蛇行に伴い滞筋に流れが集中したことで，それ以外の場所ではトレーサーが流れにくく計測できなかった。

本手法の計測時間は動画撮影の数十秒間であり，計測範囲内のおよそ 900 点で表面流速を計測した。また，流線上の計測間隔は平均で約 0.7 cm であり，最大でも 2 cm 程

度であった。これは長谷川・山岡の手法と比べ極めて短時間かつ空間的に高分解能の計測である。

## 3 おわりに

本研究では多重露光画像の画像解析によって砂州の発生・発達過程における表面流速を計測した。移動床において底面の形状によらず滞筋上では計測可能であり，底面形状との対応関係も示された。堆積部周辺における計測には課題が残されているが，過去の計測方法と比べて，短時間かつ非接触で空間的な表面流速が得られることが示された。

## 参考文献

- 1) 長谷川和義，山岡 勲：発達した交互砂州の性状に関する実験と解析，第 26 回水理講演会論文集，pp.32-38，1982。
- 2) 黒木幹男，岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文報告集，No. 342，pp.87-96，1984。
- 3) Raspberry Pi：https://www.raspberrypi.org/
- 4) 星野剛，安田浩保，倉橋将幸：交互砂州の形成機構の解明に向けた水面と底面の同時計測手法の開発，土木学会論文集 A2，74 巻，1 号 pp.63-74，2018。
- 5) 河川シミュレーションソフト iRIC:http://i-ric.org/