

交互砂州の形成物理の直接計測に向けた 動的光切断法の拡張

北海道大学大学院工学研究院
新潟大学工学部建設学科
新潟大学災害・復興科学研究所

正会員
学生
正会員

○星野剛
倉橋将幸
安田浩保

1. はじめに

流水と流砂の相互作用により形成される交互砂州の形成機構は現在までのところ十分に把握されていない。既往の研究¹⁾から交互砂州の形成時には水底面だけでなく水面にも起伏を形成し、それらの起伏が時空間的な変動を示すという特徴がある。このような交互砂州の特徴を踏まえると、交互砂州の形成時の力学機構の理解のためには水面と水底面の幾何学形状を同時かつ時空間的に連続に定量化する必要がある。

この要求に対し、著者ら¹⁾は非接触で水面と水底面の幾何学形状を同時かつ連続的に計測可能な動的光切断法を開発した。しかしながら、同手法では縦断方向の計測範囲は限定的であり、交互砂州の波長全体を捉えることが困難であった。そこで、本研究では同手法を拡張し、縦断方向の計測範囲を自由に設定できる水面・水底面の同時計測手法を開発した。

2. 計測手法

本計測手法は写真測量と同様の原理を用いた非接触の計測手法である。2台のカメラの視線を既知の3次元ベクトルとし、両ベクトルの交点を算出することで水面・水底面の3次元座標を得る。この一連の処理を各画像ごとに台車の移動量だけ縦断方向に進めながら行い、水位・水底位の面的な情報を得る。なお、取得した画像は時差を有しており、本手法の幾何学処理では同一時間に得られたと仮定するため誤差が生じる。このため、本計測手法の適応範囲は水面・水底面の形状変化の時間が十分に遅い場合に限られる。しかし、交互砂州の伝播は一般に緩慢であるため、計測可能であると考えられる。

(1) 計測装置の概要

図-1に計測装置の全体像を示す。一つの台車にレーザーヘッドと2台のカメラを固定している。台車は電子的に制御することで任意の速度で縦断方向に往復運動が可能である。画像はデジタルカメラにより撮影した動画を用いた。水中でのレーザー光の発光を明瞭にするため、実験で使用する水にはフルオレセインナトリウムを溶かし緑色に着色した。

(2) 計測手順

本計測手法の幾何学関係を図-2に示す。はじめに、カメラのキャリブレーションを実施し、2台のカメラの原

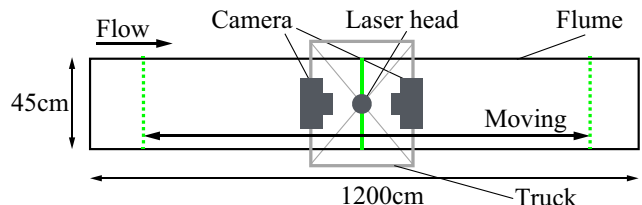


図-1 計測装置配置図

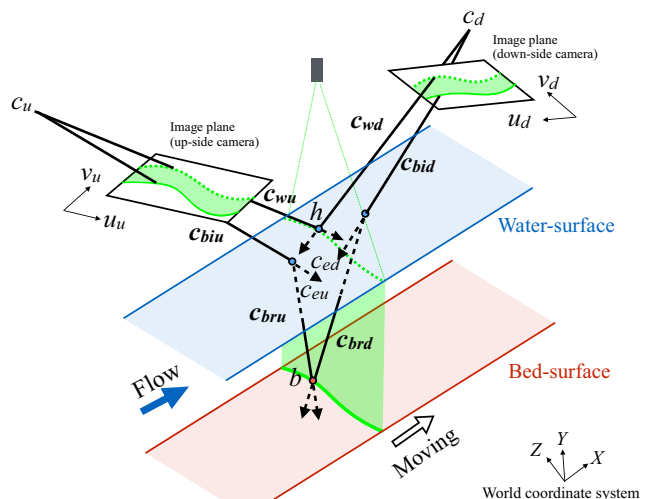


図-2 本計測手法の幾何学関係

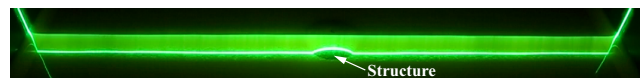


図-3 上流側カメラからの撮影画像

点座標 c_u, c_d を取得する。

次に、水位・水底位のピクセルを識別する。図-3に示す撮影画像から水面、水底面とレーザー光との交差線に該当するピクセルを求める。レーザー光は着色された水に当たると明瞭に発光するため、撮影された画像の赤、緑、青の明度情報を2次元行列に分解し、そのうち緑の明度 g から水面に該当するピクセルを識別する。その際に、水位・水底位それぞれの閾値を設定することで各ピクセルが識別できる。

最後に、水位・水底位の3次元座標を算出する。ただし、画像解析は離散的な情報に基づき交点を算出するため、厳密な交点は求めることができない。本手法では両ベクトルの最近点を算出し、両点の距離が十分に近いとみなせる閾値を設定し、その値を下回る場合を交点とみなす。

Key Words: 動的光切断法, 交互砂州

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町 8050 TEL 025-262-7053

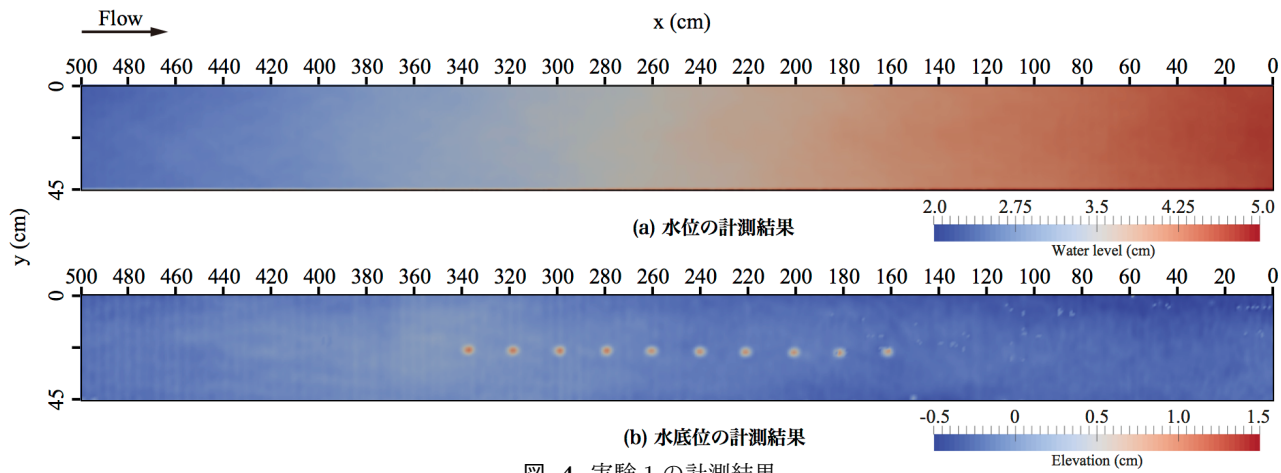


図-4 実験 1 の計測結果

	20cm地点	140cm地点	340cm地点	420cm地点
本計測手法	4.9cm	4.1cm	3.1cm	2.7cm
簡易計測	4.9cm	4.0cm	2.9cm	2.6cm

表-1 本計測手法と簡易計測の水位比較

水位の空間座標 h は、既知となっているの 3 次元座標 c_u, c_d からのベクトル c_{wu}, c_{wd} との交点を算出することで求められる。水底位の空間座標 b は、水面での光の屈折を考慮する必要がある。そのため、得られた面的な水位情報を用いて水面での屈折後のベクトル c_{bru}, c_{brd} を算出する。そして、水位の座標の算出で用いた方法と同様に、両屈折ベクトルの最近点が閾値を下回った際に水底位の空間座標 b とする。

3. 固定床での精度検証

本計測手法の妥当性を検討するために、固定床での精度検証を行った。台車の移動速度を変えた場合の精度比較として、50 cm/s、12.5 cm/s の 2 ケースの実験を行った。

(1) 計測機器設定、実験条件

レーザー光源は波長 532 nm の YAG レーザーを用い、デジタルカメラでの動画撮影は 60fps で行った。水位および水底位の算出に要するベクトルの最近点は両者とも閾値を 0.02cm とした。実験に用いた水路は全長 1200 cm、水路幅 45 cm の直線水路である。水路床勾配は 1/200、流量は約 0.5 l/s に設定した。精度検証のために、堰を設置し定常かつ不等流の水利条件とし、高さ 1.25 cm、直径 4.3 cm の球冠を水路中心に縦断方向 20cm 間隔で合計 10 個設置した。

a) 計測範囲全域の精度検証

台車の移動速度 50 cm/s で行った実験の計測結果を図-4 に示す。本手法の水位の精度を検証するために、比較対象の計測手法は 4 地点における水路中央の水深を定規を用いて測定した。本計測手法と直接計測法を比較した結果を表-1 に示す。水位は最大 0.2cm ほどの違いがあった。水底位の精度は、設置した構造物に注目すると、

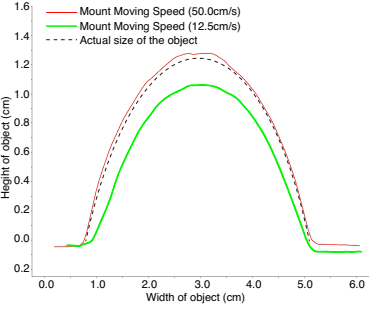


図-5 冠球中央の縦断面図

10 個の構造物の形状を鮮明に捉え、1.25cm の高さは最大 0.2cm 違った。従来の動的光切断法よりも広範囲で水位・水底位ともに妥当性の高い結果が得られた。

b) 台車の移動速度の違いによる精度検証

台車の移動速度を変更することによって縦断方向の解像度を自由に変更することができ、50cm/s の設定では縦断方向に 0.83cm 間隔、12.5cm/s の設定では 0.21cm 間隔で画像が取得される。図-5 に真値と台車の各移動速度ごとの計測結果の冠球中央の縦断面図を示す。台車の移動速度 12.5cm/s の方が真値に近く、より妥当性の高い結果が得られた。計測結果の解像度はカメラの fps にも依存しており、より高性能のカメラの仕様によりさらなる高密度情報の取得が可能となる。

4. おわりに

本研究では動的光切断法を拡張し、縦断方向の計測範囲を自由に設定できる水面・水底面形状の同時計測手法を開発した。この計測手法は通水中に非接触で、水位と水底位を高密度かつ同時に計測可能である。これにより、今まで未解明であった交互砂州の力学機構の解明に寄与できると考えられる。今後は交互砂州が形成される移動床水利において、計測精度の検証を実施する。

参考文献

1) 星野剛, 安田浩保, 利根川明弘: 動的光切断法を用いた河床波形成過程における水面・水底面の幾何学形状の計測, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I-883-I-888, 2016.