

レーザーシートを用いた水位・河床位の 時空間連続計測手法の開発

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 星野 剛
 新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田 浩保
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員○岡部 裕馬

1. はじめに

移動床流れの水路実験は古くから行われ、形成される河床形態の基本的性質の解明に大きく貢献してきた。このような水路実験や実河川に形成される河床波は、流れの流下方向と横断方向のそれぞれに周期的な形状となる事が知られている。しかし、このような河床波の平面的な幾何的特徴に対し、既往の水路実験や理論解析などの研究は十分に答えているとは言い難い。その理由として、これまでのほとんどの水路実験における河床形状の計測は、水位と河床位の同時計測が技術的に困難である事から、所定の時間ごとの完全排水とその後の計測を繰り返したものであることが挙げられる。このため、河床波の平面的な形状とこれに応答する水理については現在においてもなお十分に把握されていない。そのうえ、面的計測情報の蓄積不足が理由の一つとなり、河床形態の決定に支配的な掃流砂量の理論的な解釈は等流に立脚したもので、その適用性についての踏み込んだ議論には至っていない。

本研究ではそのような現象の理解の端緒となる水位と河床位の時々刻々の変化を同時に計測するための技術を開発した。具体的には湯城ら¹⁾と同様の光学的計測法を用いて、光源を機械制御により繰り返し動作させることにより水位と河床位の同時かつ面的計測が可能となることを示す。

2. 計測手法

(1) 計測装置の概要

本研究では計測手法の有効性を明らかにするために水槽内の固定河床形状の計測を行った。図-1に計測装置の全体像を示す。レーザーヘッドは水槽から1.25mの高さに設置し、-5度から+5度の範囲を秒速5度で往復する設定とした。この往復運動により水路兩岸のほぼ全域をレーザー光により照射できる。計測のための画像はデジタルカメラにより60fpsの動画による撮影を行い、河床の起伏の陰のためにデータが欠損することのないように兩岸にそれぞれカメラを設置した。水槽内の水にはレーザー光に反応するように染料により着色した。

(2) 計測手順

a) 水位の計測

計測の手順はまず図-2に示す角で時々刻々の連続写真を撮影する。次に、得られた画像の画像解析により水面位置および河床位置のピクセル番号(カメラ視線の入射角 θ_w)を識別する。次に図-3に示した幾何学的処

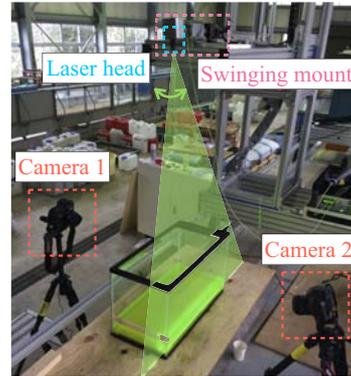


図-1 計測装置配置図

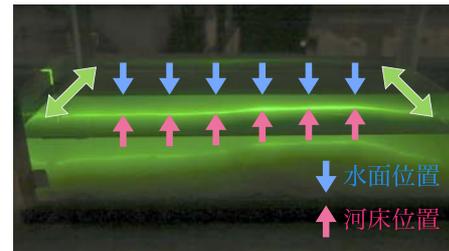


図-2 撮影された画像(青矢印先端が水面位置、赤矢印先端が河床位置を表している。染料により着色されているためレーザー光が水面と接する箇所では光度が明瞭に変化する。また、河床位置では入射光が反射するため水面位置以上の光度を示す。これら2つの座標を画像解析により識別した。レーザー光が時間ごとに緑矢印方向に往復することで、面的に計測が可能となる。)

理により水位 h_w 、横断方向距離 x_w を算出する。用いた式を下記に示す。

$$h_w = h_n + \frac{h_{n+1} - h_n}{\theta_{n+1} - \theta_n} (\theta_w - \theta_n) \quad (1)$$

$$x_w = x_n + \frac{x_{n+1} - x_n}{\theta_{n+1} - \theta_n} (\theta_w - \theta_n) \quad (2)$$

b) 河床の計測

計測された面的な水位情報を既知の情報として利用し、図-4右に示した幾何学処理により河床位 z_b 、横断方向距離 x_b を算出する。まず、屈折角 θ_{cr}, θ_{lr} をスネルの法則を用い、下の式により算出する。なお、水面勾配 θ_{cw}, θ_{lw} は得られている水位情報から中央差分により算出し、相対屈折率は1.333とした。

$$\theta_{lr} = \theta_{lw} + \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_{li} - \theta_{lw})}{1.333}\right) \quad (3)$$

$$\theta_{cr} = \theta_{cw} + \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_{ci} - \theta_{cw})}{1.333}\right) \quad (4)$$

ここまでで得られたカメラ視線とレーザー線の情報からそれぞれの1次関数を導出し、2式の交点を算出する。交点座標すなわち河床位 z_b ，横断方向距離 x_b は下記の式で表される。

$$x_b = \frac{h_l + \cot(\theta_{lr})x_l - h_c - \cot(\theta_{cr})x_c}{\cot(\theta_{lr}) - \cot(\theta_{cr})} \quad (5)$$

$$z_b = \frac{A}{\cot(\theta_{lr}) - \cot(\theta_{cr})} \quad (6)$$

$$A = \cot(\theta_{lr})\left(h_c + \cot(\theta_{cr})x_c\right) - \cot(\theta_{cr})\left(h_l + \cot(\theta_{lr})x_l\right) \quad (7)$$

(3) 計測結果

本手法の河床位の計測結果について考察する。なお、本手法は水位計測も可能であるが、今回の試験計測は静水時においてであり水面に起伏を持たないため、水面については議論しない。図-5の左のコンターはポイントゲージ、右は本研究での計測手法により計測した河床位である。本研究での計測手法は観測点が格子中央点と一致しないため内挿により、格子中央点での河床位を算出した。

全体の傾向としては一致しており、本手法の有効性の一端が垣間見える。しかしながら、最大で1cm程度の相違がみられる箇所も存在し、技術的課題が残されていることも明らかとなった。このような相違の要因として、縦断方向の光の屈折を考慮していないことや水槽壁面での光の屈折、画像のピクセル番号とカメラ視線角との対応関係の誤差などが考えられる。また、実際の移動床流れへの適用に際しては、水面や河床の変動速度に応じてレーザーの移動速度を十分に早くなるように調節する必要があることが予想される。

3. おわりに

水面と河床位の同時計測を面的かつ時々刻々に行える計測手法を開発した。この手法を移動床流れの水路実験に適用することで、中規模河床波形成時の流れや河床波の面的な動態の計測の可能性が示唆された。得られた水位、河床位は中規模河床形態の形成機構や動態の理解、移動床数値計算の信頼性の検証などへの貢献が期待できる。

参考文献

- 湯城豊勝, 早川典生, 石川忠晴: 狭窄部・わん曲部における砂礫堆の性状・深掘れに関する実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第37巻, pp.573-574, 1982.

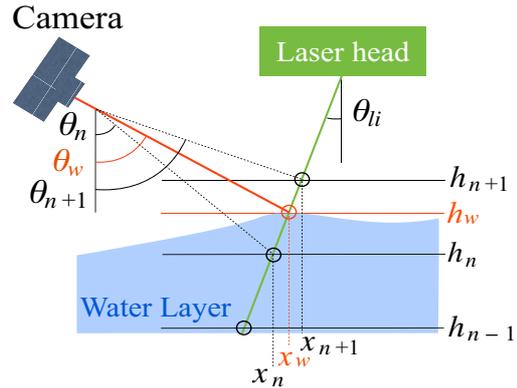


図-3 水位算出の幾何学処理 (水路横断方向の幾何学関係を示す。水位の計測はあらかじめ一定間隔の水平面 h_n に板を設置し、レーザー入射角 θ_{li} と反射箇所でのカメラ入射角 θ_{ci} を記録しておく。実際の水位の計測時には θ_{li} と水面での発光箇所でのカメラ入射角 θ_{ci} の結果を用い、線形内挿により水位、横断方向座標を算出する。)

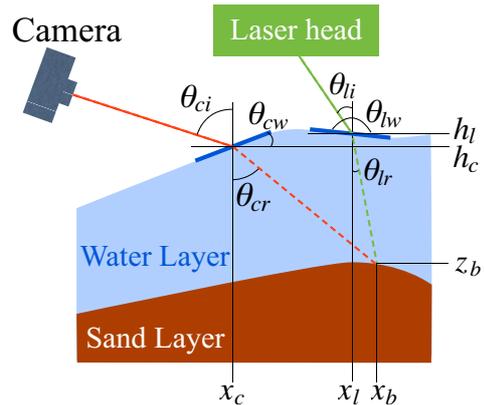
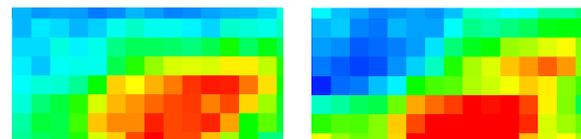


図-4 河床位算出の幾何学処理 (河床位の計測は計測された水位の情報を用いることで算出可能となる。水位が既知となっていることでレーザーと水面の交点座標 (h_l, x_l) およびレーザー屈折角 θ_{lr} 、カメラ視線と水面の交点座標 (h_c, x_c) およびカメラ視線の屈折角 θ_{cr} を求めることが可能となる。破線で示したそれら2つの水中を進む光を1次関数とし、交点座標を算出することで河床位 z_b とその横断方向距離 x_b を算出する。)



i) ポイントゲージによる計測 ii) 本手法による計測

図-5 河床高の計測結果 (水槽内の縦断方向 29cm, 横断方向 14cm の範囲)