

動的光切断法を用いた河床波形成過程における水位・河床位の計測

新潟大学災害・復興科学研究所
新潟大学災害・復興科学研究所

正会員 ○星野 剛
正会員 安田 浩保

1. はじめに

移動床流れにおいて自律的に形成される河床波は、通水の継続とともに形状が変化したり、上下流への移動を生じたりする強い波動性を有する。また、河床波は流水とそれ自身とが互いに影響を及ぼし合う結果、形成、維持されるという力学的特徴を有している。それらの特徴を踏まえ、河床波の力学機構の詳細を理解するためには水位と河床位の面的な情報を同時かつ時空間的に高密度に取得することが必要不可欠といえる。

既往の移動床水理実験における面的な水位と河床位の計測手法に着目すると、所定の時間に通水を停止し、その後河床位を種々の方法で計測し、停水の前後で水位を計測する手法が現在までに広く用いられている。これらの計測手法は河床波の発達過程や平衡形態の把握に大きく貢献したものの、計測時に停水を要するため時間的に連続した計測値の取得が困難であったり、同時刻での水位と河床位の計測値を入手できないことから河床波の特徴である波動性や流水と河床波の相互作用の効果を十分に把握することができない。

著者らはこれまでに停水を要さずに水位と河床位の面的情報を時空間的に高密度にかつ同時に取得可能な動的な光切断法による水位と河床位の計測手法¹⁾を開発している。本研究では、まず、その計測手法を小規模河床波および中規模河床波が形成される移動床水理実験へ適用し、種々の河床波の形成過程における計測手法の妥当性を検証する。さらに、それらの計測結果より河床波形成時の水面形状と河床面形状との応答関係やそれらの時間的な変動といったこれまでに把握することが困難であった河床波の物理的な特徴について考察する。

2. 計測手法と実験条件

(1) 計測装置の概要

計測装置は図-1に示すように水路上方のレーザーヘッド、左右岸の2台のデジタルカメラより構成される。レーザーヘッドから河床面方向にシート状の光を照射し、水面および河床面での光の反射を左右岸のカメラにより撮影する。レーザーヘッドは水路横断方向に繰り返しの軸運動を可能とする機械に取り付け、短時間で計測領域全体をレーザー光により照射可能とした。実験に用いる水にはフルオロセインナトリウムを溶かし、緑色に着色することで水中でのレーザー光の発光を明瞭にした。

(2) 計測手順

水位および河床位は、図中に示すようにカメラの視線とレーザー光を3次元ベクトルとみなし、幾何学的な数

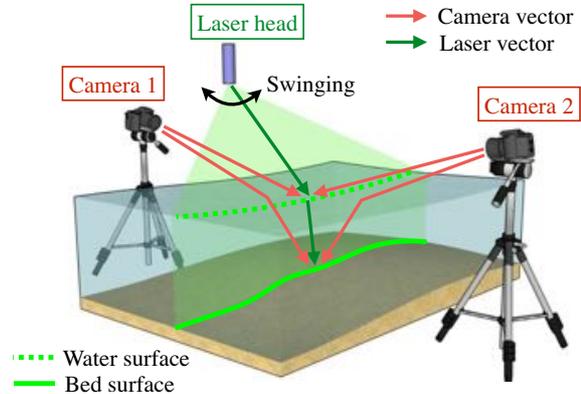


図-1 計測機器配置および計測概念図

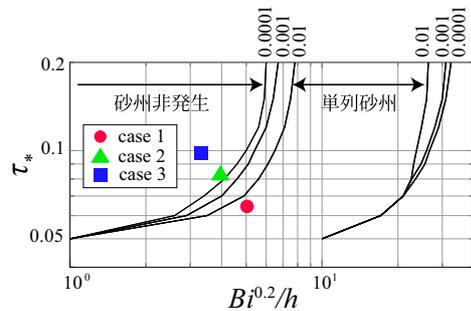


図-2 河床形態の領域区分図上の本実験条件

値処理により算出する。河床位の算出に関しては水面において光の屈折が生じるため、水面での屈折後の両ベクトルを水面形状を考慮したうえで算出している。なお、計測手法の妥当性は固定床水理実験により確認しており、計測誤差は最大でも0.5 cm程度となる。計測手法および幾何学処理の詳細については別報¹⁾を参照されたい。

(3) 実験条件

実験には全長10 m、全幅0.3 m、水路勾配1/245の矩形断面の水路を用い、水路床全体に平均粒径0.76 mmの4号珪砂を敷いた。小規模、中規模河床波の両者に対する計測手法の適用性を検討するため、3つの異なる規模の流量を通水する実験を実施した。これらの水理条件は黒木・岸の河床形態の領域区分²⁾上では、図-2に示すようになり、条件ごとに異なる河床形態の形成が予想される。通水時間はいずれも3500 sとし、100 s間隔で計測を実施した。計測領域はカメラの撮影範囲である水路中心部の縦断長45 cm、横断長24 cmの範囲とした。

なお、紙面の都合上、次章では単列砂州、砂州非発生領域に該当するcase1とcase3の通水初期と通水末期の3時刻の計測結果のみを示す。

Key Words: 水位計測, 河床位計測, 河床波, 動的な光切断法, 画像解析
〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町 8050 TEL 025-262-7053

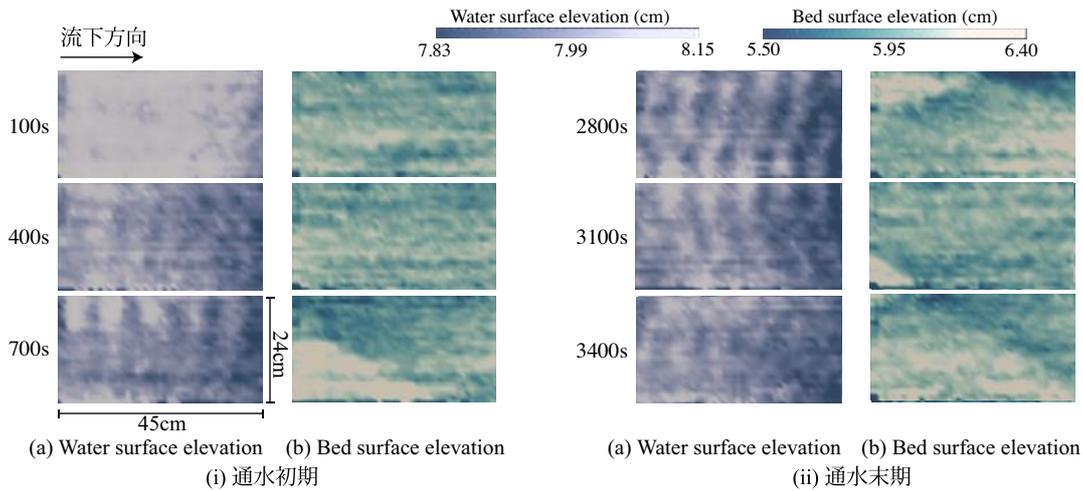


図-3 水位, 河床位の計測結果 (case1)

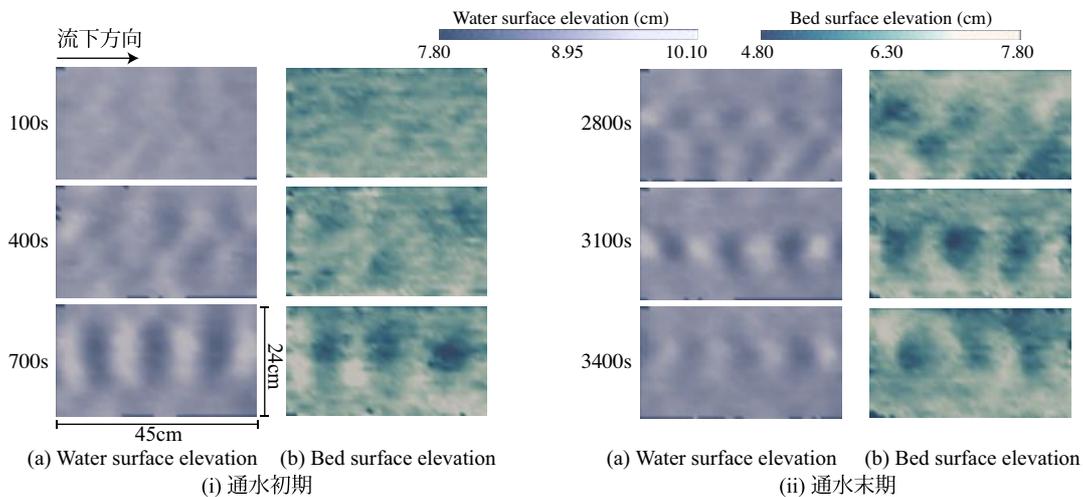


図-4 水位, 河床位の計測結果 (case3)

3. 計測結果

case1, case3の水位と河床位の計測結果をそれぞれ図-3, 4に示す。両条件とも実験で確認された定性的性質が計測されており, 本計測手法の小規模, 中規模河床波形成時における有効性が確認された。以下では得られた結果について考察する。

(1) case1 (流量 2 l/s)

通水開始から 400 s までは水面および河床面に明瞭な起伏は生じない。通水開始から 700 s 経過後には等流水深 2.0 cm に対し, 水面で波長 10 cm, 波高 0.3 cm 程度の起伏が生じ, 河床面には砂州と考えられる波高 0.5 cm 程度の起伏が右岸側に形成された。通水末期には左右岸に交互に形成された河床の起伏が時間の経過とともに流下する様子が計測され, 典型的な交互砂州の形成が確認された。水面と河床面との対応関係に着目すると, 本実験条件では, それぞれ波長が異なる水面波および河床波の形成が確認された。また, 複数の時刻の計測結果を用いることで, 砂州の波速が 0.13 cm/s 程度であることが把握された。

(2) case3 (流量 4 l/s)

通水開始より 700 s で水面と河床面の両者に周期的な起伏が卓越した。それらの水面と河床面の周期起伏は位

相が概ね揃っていることから反砂堆だと判断できる。通水末期においても反砂堆は依然として卓越し, 等流水深 3.0 cm に対し, その水面波高は最大で 2.0 cm 程度, 河床面波高は最大で 1.5 cm 程度であった。また, 反砂堆が卓越する箇所は流心に留まらず, 時間の経過に伴い横断方向に移動するほか, その波高も一定とならず, 本実験条件では強い不安定性を有する河床波が形成されることが確認された。

4. おわりに

動的な光切断法により, 移動床水路実験における小規模河床波, 中規模河床波の形成過程における面的な水位, 河床位を通水を停止することなく時空間的に高密度で取得可能なことを示した。本計測手法は河床面と水面との応答関係や両者の時空間的な変動を把握可能であることから, 河床波の物理機構の解明に大きく寄与できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 星野剛, 安田浩保: 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, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 70, I 841-I 850, 2014.
- 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, 第 342 号, pp.87-96, 1984.