

砂州の形成・発達過程における水面測定の不確実性について

新潟大学大学院自然科学研究科 ○学生員 茂木 大知
新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 村井 剛徳
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

砂州に代表される河床波上の流れにおいて、移動床条件であれば水面とその下の底面は時々刻々と変動する。特に、実河川底面に形成される砂州などの幾何学形状は、昨今頻発する洪水災害の要因と目されており、逐次把握が望ましい。しかし、洪水時の実河川における流れは濁流であり、その底面形状の測定は困難である。

近年、Stream Tomography(以下、ST)¹⁾を用いて、模型水路における水面と底面の時間・空間に高密度な測定値を取得可能となった。また、砂州上の流れにおける水面の測定データを用いたデータ駆動型解析により、底面の幾何学形状が推定可能であることが示された²⁾。STの測定原理の伝播速度は、底面の移動速度より十分に早く、疑似固定床を仮定して測定できる。その一方で、砂州上の水面の時間変動は定量化されておらず、横断面毎に瞬間的な測定を行うSTが妥当な測定値を取得可能か検証の必要がある。

STの測定原理である光切断法は、水路の任意横断面における水面と底面を定量化可能であり、走行架台を水路縦断方向に動かすことによって面的な測定を実現している。この時、走行架台を固定すると、任意横断面における水面と底面の時間変動を定量化することが可能である。本研究では、上述した水面の測定値の妥当性の検証のため、砂州が形成される条件を設定した模型実験において以下の測定を実施した。まず、任意の測定時において通常のSTの測定を実施し、交互砂州の形成・発達過程における流れの水面および底面の形状を定量化した。次に、ST位置を固定して任意の横断面における水面と底面の時間変動を測定し、砂州の形成過程における変動する水面を定量化した。その後、測定結果を用いて場所ごとの水深と水面の標準偏差を算定し、河床波上の流れにおける水面の測定について考察を行った。

2 模型実験

本研究では、水面における測定の不確実性を定量化する目的で、以下の実験と測定を行なった。

2.1 実験条件

模型実験は、12 m×0.45 m(全長×幅)、勾配1/100の矩形断面水路を用いた。水路床には平均粒径0.76 mmの珪砂を5 cmの厚さで平坦に敷設し、水理条件を底面に交互砂州が発達する条件とするため、上流端から供給される流量を1.7 L/sとした。この時、砂州の発生の指標となる川幅水深比³⁾は18である。

実験における測定は、任意時刻の水面と底面の幾何学形状を測定対象とした平面測定と、任意横断面における水位の時間変動を測定対象とした変動測定をSTにより実施した。測定の時間間隔は5分とし、まず、任意時刻における平面測定を行なった後、時間を開けずに変動測定を15秒間行なった。これにより、交互砂州の形成・発達過程と、各過程における水面の変動を定量化した。変動測定において、STの時間分解能は測定動画の撮影におけるfpsに依存し、本研究においてfpsは40であるため、0.025秒である。また、過去のSTの検証¹⁾から、横断分解能は0.038 cm、水面を対象とした測定誤差は最大で1 mmである。

2.2 測定結果

前述の水理条件における通水過程において、水面に高波数の水面波で構成される縦断波列(以下、波列)が観測される時間があった。この波列は、砂州の形成される条件において頻繁に観測され、水面の変動が特に激しい。そのため、測定の結果は波列の存在の有無で区別した。図-1は、波列が確認された時刻(上段、35分)と、波列がない時刻(下段、55分)における平面測定コンター(左:底面、中央:水面)と変動測定(右)の結果をそれぞれ示す。変動測定の結果は、コンター中に桃点線で示した4 m地点の横断面における水面高と底面高について、桃の実線で平面測定の結果を、描画濃度を1%とした点で変動測定の結果をそれぞれ示す。変動測定の結果は色が濃いほどに測定点の密度が高い。底面および水面のコンター図からは、どちらの時刻とも底面に明瞭な交互砂州が形成されており、水面も底面に伴った幾何学形状が形成されていることが確認できる。35分では、コンター図から断面中央に波列の存在が確認で

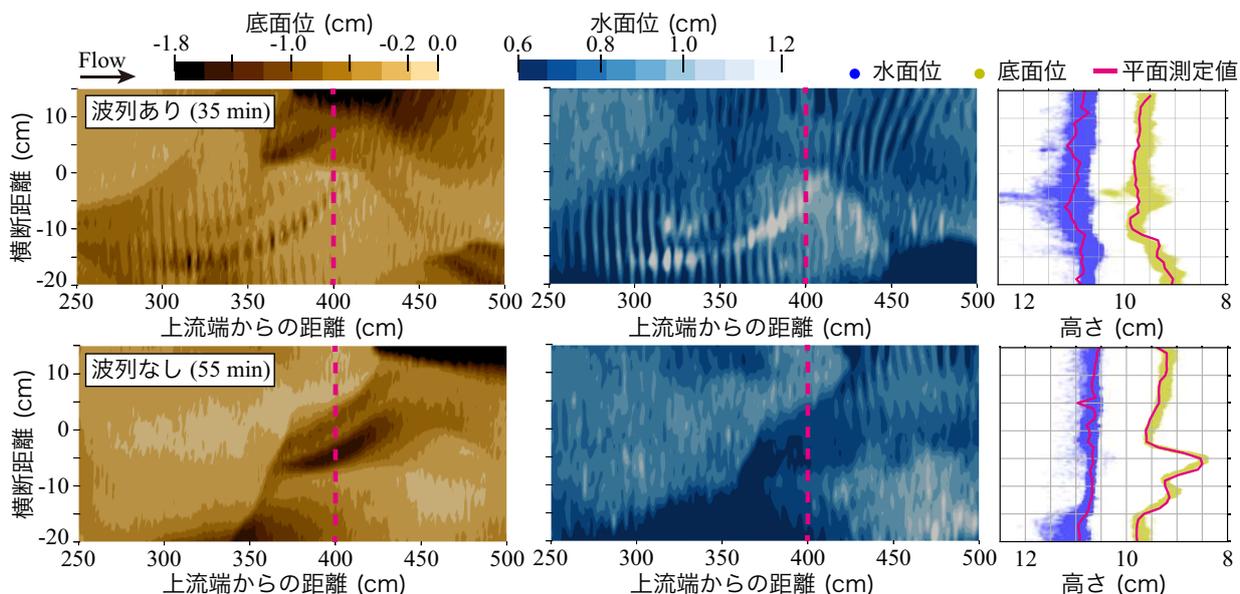


図-1 平面測定結果 (左:底面, 中央:水面) と変動測定 (右) の結果 (上段:波列あり時刻, 下段:波列なし時刻), 変動測定は縦断 4 m 地点における横断面

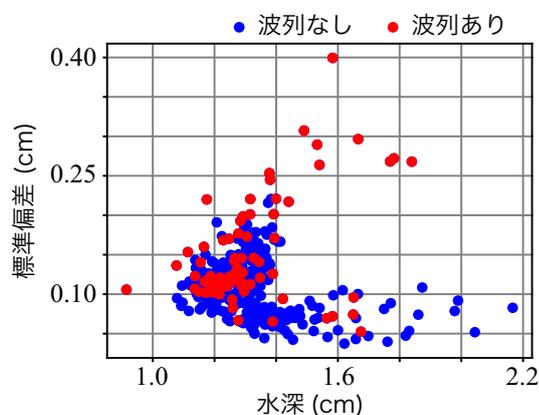


図-2 各水深に対応する水面の標準偏差

き, その影響で水面および底面の変動測定値の分布が拡大している。55 分の変動測定の結果において, $y = -15$ cm から $y = -3$ cm の断面内で水深が大きい区間は, 水面の変動幅が概ね ± 1 mm の範囲に収まっており, 妥当な測定結果である。しかし, 上述の区間を除いた場所においては, ± 1 mm を超える水面の変動が確認され, $y = 5$ cm における平面測定値は平均値を逸している。また, $y = -15$ cm より右岸側の横断面内で最も水深が小さい区間では, 水面の変動が大きい。

3 水深ごとの水面測定の妥当性

前章の実験結果では, 砂州が発達した流況における変動測定の結果から, 水深の深浅と水面の変動の関係性が示唆された。そこで, 両者の関係を調べるため, 場所ごとの平均水深と水面の標準偏差を算定し, 比較検証した。

本章では, まず, 変動測定で得られた点群データに対して, 横断方向に 1 cm の格子を作成し, 各格子において水面および底面の平均値や標準偏差を算定した。その後, 同一横断格子における水面と底面の平均値の差から水深を算

定した。図-2 に, 各水深に対応する水面測定の標準偏差を示す。波列が存在する時刻では水面の変動が著しいため, 赤点で区別した。波列の存在しない場合, 図-2 からは, 水深 1.4 cm を境に大きく傾向が異なっていることがわかる。水深が 1.4 cm を上回る領域では, 標準偏差が 1 mm 以下であり, ST の水面測定精度と符合する。しかし, 水深が 1.4 cm を下回る領域では, 標準偏差が不連続に拡大しており, ST を用いた水面測定の妥当性が低下した。また, 波列が存在する場合では, 標準偏差は最大で水深の 25% までに達しており, このような場所における ST の水面測定は適用が難しい。

4 おわりに

本研究では, ST を用いた交互砂州上の水面測定の妥当性について, 模型実験における測定を実施し検証した。その結果, 水深と水面の変動に相関が確認され, 一定の水深を境として ST の水面測定の妥当性が低下することが分かった。ただし, 本研究結果は設定する水理条件によって変動すると予想され, 今後更なる検証が必要である。また, 交互砂州上の水理において水面の変動は不可避なため, 水深が浅い場所における ST 測定の誤差の縮減には, カルマンフィルタ等の統計処理の適用が効果的と推測される。

参考文献

- 1) 星野ら: 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, Vol.74, pp.63-74, 2018.
- 2) Kaneko et.al.: Convolutional-Sparse-Coded Dynamic Mode Decomposition and its Application to River State Estimation, Proc. of IEEE ICASSP2019, 2019.
- 3) 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.