

交互砂州上の幾何学形状が規定する水面形の定量化

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○大原 由暉
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 茂木 大知
 新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保

1. はじめに

河床底面に自発的に形成・発達する交互砂州は、流下方向へ侵食と堆積を繰り返す底面形状となる。砂州波高は水深程度の規模であり、その上を流れる水は底面形状の影響を受ける。茂木らの Phase Diagram¹⁾によると、このとき水深は底面形状が支配しており、底面に比べて水面の起伏は小さい。しかし、その形状は交互砂州の幾何学形状に規定されると推測される。

水が土砂を駆動し、流れも底面形状の影響を受けることから、双方に着目することが重要である。しかし、これまでの交互砂州上の流れの研究では、水面を対象とすることが少なかった。その背景には、底面と対応した水面の実測が困難だったことが挙げられる。近年、計測技術の発達により模型実験において通水しながらの時空間に高密度な水面と底面の各々の幾何学形状の実測が可能²⁾となっている。

交互砂州の底面形状が引き起こす現象として、岸沿いへの流れの偏りが挙げられる。左右岸への偏流は、特に洪水時に河岸侵食を引き起こす原因となり、これに関する知見は工学上重要である。岸沿いへの偏流に関して、直線流路においては水衝部で水位が高くなると考えられ、そのとき水位は底面の形状と対応するように縦横断に分布を持つと推測される。

本研究では、交互砂州が引き起こす水面形状の変化の1つとして偏流に着目し、これ以降、交互砂州の幾何学形状が流れに及ぼす影響を偏流と呼ぶ。本研究では、このときの岸沿いの水面高と底面高の関係を調べることで、その対応により交互砂州の底面形状が水面形状を規定していることを定量的に示すことを試みた。

2. 実験条件及び計測手法

本研究では、実験水路に全長 12 (m)、水路幅が 45 (cm) の直線の単矩形断面水路を用いた。その上流端と下流端に高さ 5 (cm) の堰を設置し、平均粒径が 0.76 (mm) の 4 号珪砂を厚さ 5 (cm) で敷き詰め、一様に均した平坦床を初期形状とした。流量 Q は時間で一定とし、その値は流量計で確認した。また、明瞭な交互砂州の発達を目的として、上流端に 10 (cm) 四方のブロックを設置し強制砂州条件で実施した。このとき、上流端から 2 (m) の侵食区間を設けている。

本研究では、黒木・岸³⁾の領域区分図を参考に、交互砂州が発生するよう $Bi^{0.2}/h$ は 19.1 に設定した。具体的な条件は表-1 に示す。ここで、 h_0 は等流水深、 τ_* は無次元掃流力、 Fr はフルード数である。計測手法は、水面高と底面高を Stream Tomography (ST)²⁾ で測定した。

表-1 実験条件

Q (m ³ /s)	I_0	τ_*	h_0 (m)	Fr	t (min)
1.6	1/80	0.098	0.010	1.17	40

3. 左右岸における水面高と底面高の縦断分布

交互砂州による偏流で発生する水面形状の変化を定量化するため、左右岸における同一側線上の水面高と底面高の縦断分布を調べる。

図-1 の a), b) は、通水開始から 1 分後と最終時刻の 35 分後における水面高と底面高の平面図を示している。通水の実験時刻である b) では、交互砂州が十分に発達した様子が確認できる。

図-2 の a), b) は、左岸と右岸の壁面から水路中央へ 1 (cm) 向かった縦断測線上における水面高と底面高の縦断分布を示したものである。a), b) のそれぞれ上段が水面高、下段が底面高の縦断分布である。水面高が青系の着色、底面高が茶系の着色をしている。また、砂州スケールの変化の傾向を確認することが目的のため、15 (cm) での移動平均を適用した。

まず、通水開始時刻の図-2 a) では、底面に起伏は見られず水位の縦横断の分布が小さい。通水最終時刻の図-2 b) では、底面高が縦断方向へ周期的に変化していることがわかる。このとき、水面高も底面高と同様に縦断方向へ周期的に変化するような分布となり、底面形状の影響を受けていることが確認できる。

より詳細に調べるため、図-2 b) における左岸側の水面高と底面高に着目する。上流端からの距離が 200 (cm) の箇所では底面の起伏の入れ替わりにより左岸側の底面高が急激に低下する。このとき、右岸側から左岸側への横断方向の流れが大きいと考えられ、左岸側の水面高は 200 (cm) の位置で上昇すると推測される。この位置における左岸側の水面高を確認すると、底面高の変化と逆の変化となるように上昇していることがわかる。水位の上昇はおおむね 0.4 (cm) で、等流水深の 1 (cm) に対して 40 (%) の変化である。

次に、上流端からの距離が 350 (cm) の位置では左岸の底面高が上昇する形で起伏の入れ替わりが発生している。ここでも水位は上昇しているが、底面形状の影響を受けたものであり水の流れは逆側である右岸側へ向かっていると考えられる。その後、上流端から 500 (cm) の箇所で 200 (cm) のときと同様に底面高が低下する形で起伏が入れ替わっており、水面高は上昇している。

以上から、左右岸における底面高と水面高の縦断分布は偏流の結果対応関係を生じることが推測される。

Key Words: 交互砂州, 水面形, 偏流

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

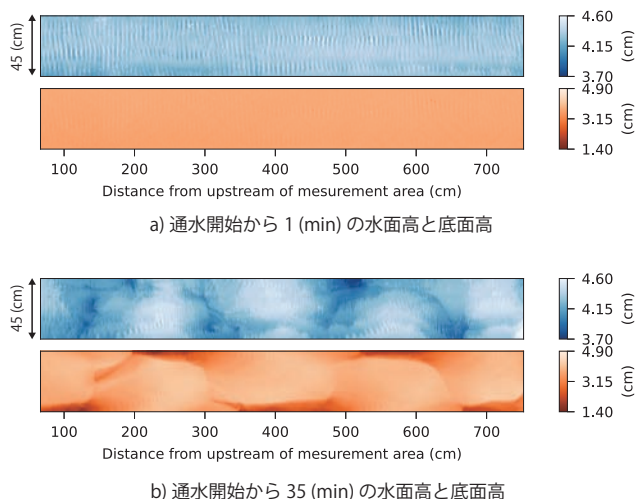


図-1 水面高と底面高の平面図

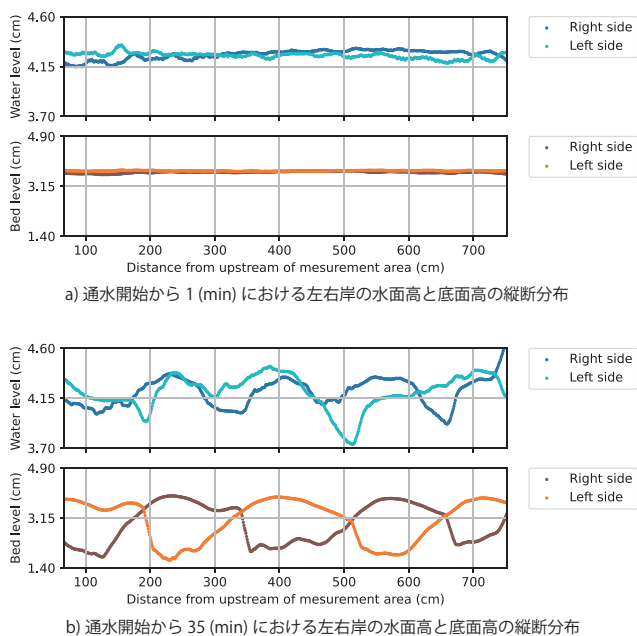


図-2 左右岸における水面高と底面高の縦断分布

4. 共分散による水面高と底面高の対応関係の定量化

前章において、左右岸沿いの水面高と底面高の縦断分布は対応関係を持つことが示唆された。そこで、2変数の変化の関係を定量的に示すために底面高と水面高の共分散を計算する。図-2のa)、b)各々において、縦断方向15 (cm)の矩形窓で底面高と水面高の共分散を計算した。共分散はスケールに依存するため、2変数の対応関係として一般的に用いられるのは単位を持たない相関係数である。しかし、今回は縦断方向における水面高と底面高の対応関係のみではなく、その大小も評価するため共分散を用いることとした。

図-3は、水面高と底面高の共分散の縦断分布を算定した結果で、赤で右岸側、紫で左岸側を示している。通水開始時刻のa)と通水最終時刻のb)の共分散を比較したとき、a)では縦断分布が平坦なのに対し、b)では周期的に負の値を取っていることが確認できる。共分散の符

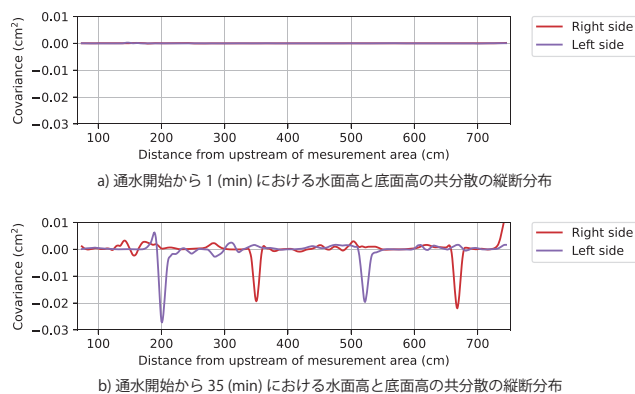


図-3 左右岸における水面高と底面高の共分散と水深の縦断分布

号がマイナスかつその値が大きいということは、2変数が逆の対応かつそれぞれの変化が大きいことを示している。これは、前章での底面の起伏の入れ替わりによる底面高の低下と水面高の上昇が起こっている箇所であり、それぞれ形状の縦断分布が他の領域と比較して定量的に対応している。つまり、交互砂州の幾何学形状の影響による偏流によって生じる水面形状の変化は、底面の形状に規定されるものであることが示された。

5. 終わりに

本研究では、交互砂州が引き起こす水面形状の変化の1つとして偏流に着目し、水面高と底面高の縦断分布を調べた。また、その対応関係の定量化を共分散により行った。その結果、交互砂州の幾何学形状による偏流によって生じた縦断方向の水面形状は底面形状と対応することを実証した。また、共分散は水面と底面が対応していること以外にも偏流によって水衝部となる地点で大きな値となることが分かった。

今後、側壁の浸食を許容した模型実験などを行えば、河岸浸食が発生する箇所の特徴的な水理量の把握できるようになることが期待できる。これにより、実河川における洪水時の河岸の浸食などの危険箇所の予測ができるようになる可能性がある。また、本研究では交互砂州の幾何学形状により引き起こされる現象として偏流に着目したため、これにより明らかとなったのは岸沿いの1次元的な水面高と底面高の縦断分布である。今後、偏流以外の現象への着目と平面的な水面形状の分析を行う。

参考文献

- 1) D. Moteki et al.: On the occurrence of sandbars, Phys. Fluids, 35, 016608, 2022.
- 2) D. Moteki et al.: Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, Phys. Fluids, 34, 034117, 2022.
- 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, 土木学会論文集, 第342号, pp.87-96, 1984.