

# 平坦床からの自発的な河床波の発生過程の実測

新潟大学理学部

新潟大学大学院自然科学研究科

新潟大学大学院自然科学研究科

新潟大学災害・復興科学研究所

学生会員

学生会員

正会員

○関 翔平

茂木 大知

村井 剛徳

安田 浩保

## 1 はじめに

直線の実験水路において平坦な移動床を初期条件として通水を継続すると、実河川の砂州に該当する周期的な幾何学形状が自発的に形成されることが木下ら<sup>1)</sup>により発見された。その後、安定解析を研究手法として、砂州の発生を支配する水理条件は、川幅水深比であることが解明<sup>2)</sup>されている。現在のところ、同手法により砂州の発生は移動床の底面が有する生来的な不安定性に起因<sup>3)</sup>すると考えられている。しかし、初期の平坦床から砂州が形成する過程について時空間的に高分解能な測定を実施する手法は未確立だったため、実証はほぼされていない。

この問題に対し、著者らの研究グループでは、模型実験における流水中の底面とその直上の水深を高い空間分解能で高頻度に測定できる Stream Tomography<sup>4)</sup> (以下, ST) を開発した。本研究では, ST を用いて, 平坦床を初期条件とした河床波の発生過程を実測し, 特に交互砂州の形成について, 得られた幾何学形状から波長の増大という視点で検討を行なった。

## 2 河床波の発生に関する模型実験

### 2.1 実験条件

本研究では, 実験水路に全長 12 m, 流路幅 0.45 m, 河床勾配 1/100 の直線の単矩形断面水路を用い, そのうち, 中央部分の 7 m を計測区間に設定した。河床波の発生を詳細に観察するため 5 分間隔で計測を行い, 55 分の時点で底面が過発達に至ったと判断し, 通水を停止した。上流端と下流端には高さ 5 cm の堰を設置し, 平均粒径 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。給砂条件は無給砂である。

また, 交互砂州の発生を狙い, 黒木・岸<sup>5)</sup>の中規模河床形態の領域区分図を参考に, 流量は 1.7 L/s とし, このとき無次元掃流力は 0.076,  $BI_0^{0.2}/h_0$  は 18.0 である。ここで,  $B$  は水路幅,  $I_0$  は初期の河床勾配,  $h_0$  は初期の水深である。

### 2.2 計測結果

図-1 は模型実験によって得られた底面形状の時間変化

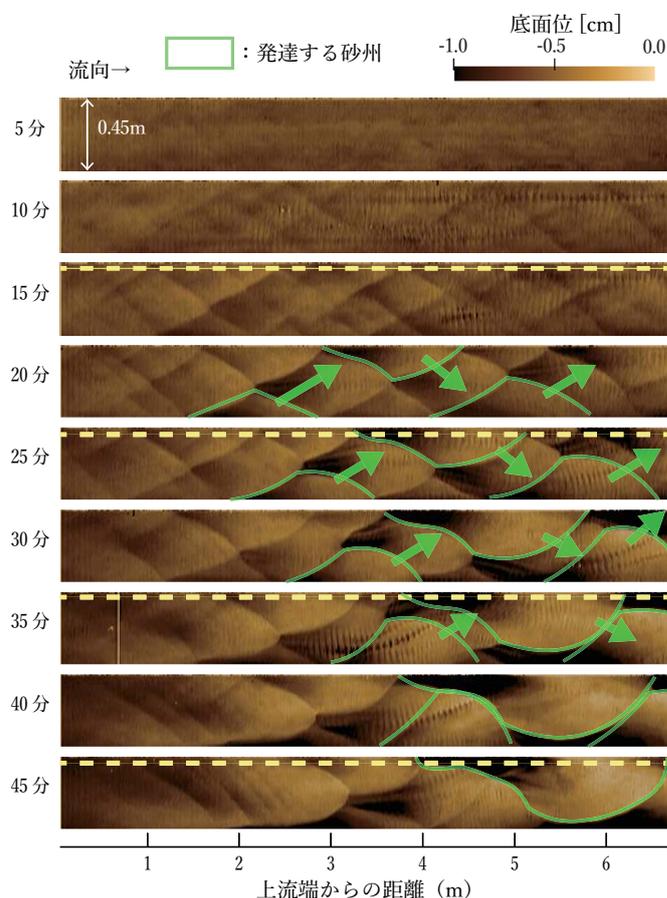


図-1 底面の時間変化

である。通水初期に着目すると, 通水 5 分の時点で菱形の模様が現れ, 時間経過と共に徐々に卓越していくことがわかる。以下, 池田<sup>6)</sup>に倣って, 通水 5 分~15 分に見られる菱形模様を斜め交錯模様, 通水 20 分~30 分の菱形模様がより明瞭化した形態を菱形砂州と呼ぶ。規則的な菱形砂州は時間が経つと形を崩し, 通水後期には交互砂州とみなせる河床波 (以下, 交互砂州と呼ぶ) の形成が確認された。また, 全ての時刻について, 斜め交錯模様や菱形砂州上に砂堆スケールの高波数の河床波も見られ, これは菱形砂州の移動方向と概ね一致している。一般的に斜め交錯模様や菱形砂州が数十分に渡って持続することは稀であり, かつこれほど高精度に計測できた事例はほぼ無い。

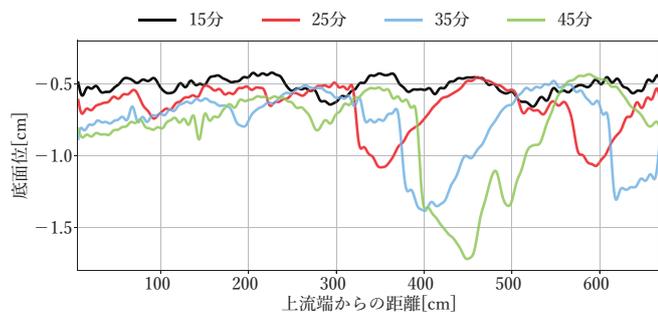


図-2 左岸の縦断面図

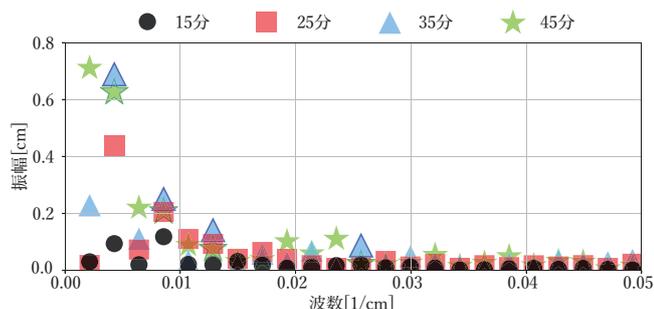


図-3 図2の波数解析結果

### 3 河床波の発達

#### 3.1 左右岸での波長の増大

図-1の通水初期に生ずる斜め交錯模様について池田<sup>6)</sup>は、流れ方向にのびるタテスジと、流れに直角方向に発生する水面の跳水に対応した反砂堆の合成によるものと説明しているが、今回の実験では反砂堆のような河床波は見られたものの、明瞭なタテスジは確認されなかった。

一方で、通水20分以降の緑線で囲んだ砂州に着目すると、時間経過に伴って波長の増大が顕著に見られた。何らかの要因により左右岸いずれか一方の砂州が選択されて発達していくようであるが、この機構は現時点では不明である。波長の増大を開始した左右岸のいずれか一方の菱形砂州は、下流に向かって直進するのではなく、図-1の緑矢印で示した方向へ進行するため、一列前の菱形砂州と中央のレーンの菱形砂州を飲み込むような形で波長を伸ばす。

したがって、検討すべき対象は追いつかれる側の菱形砂州ではなく追いつく側の菱形砂州であるため、次節では、左右岸の菱形砂州の発達と交互砂州の形成について着目し、まずは一次元での特性について調べる。

#### 3.2 波数解析による検討

図-2は、図-1の左岸沿いの黄点線に示すように検査測線を設け、測線における底面高の縦断分布を示した図である。左岸沿いに検査測線を設けた理由は、波長の増大する砂州のみを対象にして考察をやすくするためである。ま

た、図-3は図-2においてどの波数の波が支配的かを調べるために行なった波数解析の結果である。なお、菱形砂州の発達と交互砂州の形成について調べるために、対象の時刻は10分間隔で15分～45分とし、得られた結果から0.1/cm以上の波数をノイズとみなして除去している。また、無給砂による上流端での洗掘を考慮し、対象範囲を上流端からの距離が200 cm以降に絞った。右岸に関しては左岸と類似した波数解析結果が得られたため省略している。

図-2の縦断面図からは、河床波が徐々に波長、振幅ともに増大していくことがわかる。また、図-3の波数解析結果からは、時間経過に伴う低波数スペクトルの大幅な発達のほか、図-3の枠線で囲んだ波数が、35分から45分の間で明らかに減衰する過程も見られた。紙面の都合上、図-1～図-3には通水45分以降の結果を載せていないが、これ以降、低波数スペクトルの発達はほぼ停止し平衡状態となる。

実測より通水後期に菱形砂州が交互砂州に変形する過程が見られたが、波数解析結果からわかるような通水中期において菱形砂州が波長を大幅に増大させる要因として、菱形砂州の波長内で移動速度が縦横断方向に分布を持ち、その値が通水中期において大きいことが推測される。しかし、このことは現時点では一つの仮説に過ぎないため、検証が必要である。

### 4 おわりに

本研究では、交互砂州が形成・発達する実験条件において、通水初期に生じた斜め交錯模様が菱形砂州に発達し、通水中期で菱形砂州が交互砂州に発達することを視覚的に明らかにした。また、河床波の縦断面図の波数解析結果から、交互砂州形成の一要因が左右岸の菱形砂州の波長増大にあることを示唆した。今後は菱形砂州の移動速度の分布を求めることにより定量的に交互砂州の形成機構の解明を進める。

#### 参考文献

- 1) 木下 良作：河床における砂礫堆の形成について—蛇行の実態の一観察—, 土木学会論文集, vol.42, pp.1-21, 1957.
- 2) Callander, R. A.: Instability and river channels, *J. Fluid Mech.*, vol.36, pp.465-480, 1969.
- 3) M. Tubino, R. Repetto, G. Zolezi: Free bars in rivers, *J. Hydraulic Res.*, vol.37, pp.759-775, 1999.
- 4) 星野 剛, 安田 浩保, 倉橋 将幸：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(応用力学), vol.74, 1, pp.63-74, 2018.
- 5) 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.
- 6) 池田 宏：水路における斜め交錯模様と斜行砂州の形成, 第27回水理講演会論文集, pp.709-714, 1983.