

交互砂州の形成初期における底面の移動速度

新潟大学大学院自然科学研究科
北海道大学大学院工学研究院
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
○石原 道秀
安田 浩保

1. はじめに

扇状地から自然堤防帯に位置する河床材料が砂礫の河川では、その底面に交互砂州と呼ばれる幾何学形状が自発的に形成される。水深規模に波高が発達した交互砂州は河岸浸食や越流の要因となる。

代表的な交互砂州の研究例としては、安定解析を研究手法とし、砂州の形成を支配する水理条件が川幅水深比であることの解明¹⁾などが挙げられる。現在のところ、同手法により砂州の形成は移動床の底面が有する生来的な不安定性に起因²⁾すると考えられている。しかし、平坦床から砂州が形成される過程の物理機構は未解明である。その要因の一つとして、砂州の形成や発達に関係すると考えられる水面と底面の対応関係を適切に定量化する手法が未確立であったことが挙げられる。これに対し、茂木ら³⁾は通水を継続したまま底面位と水面位の同時計測が可能な手法である Stream Tomography(以下、ST)を開発した。また、石原ら⁴⁾は砂州の伝播特性に着目し、その移動速度の算定式を構築している。

上記の砂州の形成過程の定量化に適した測定法および砂州の移動速度の定量化の手法を組み合わせることにより、平坦床からの砂州のごく初期の形成過程の解明が期待できる。本研究では、まず交互砂州が平坦床から形成される模型実験を実施し、その過程をSTによって測定した。次に、測定された水理量から底面の移動速度を推定し、通水初期に生じた河床波が交互砂州に変形する物理機構について考察した。

2. 模型実験の概要

(1) 実験条件

本研究では、実験水路に全長 12 m、水路幅 B が 0.45 m の直線の単矩形断面水路を用いた。上記の水路上の中央部分約 7 m にわたって、上流端と下流端に高さ 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。給砂条件は無給砂とした。また、水理条件は黒木・岸⁵⁾の中規模河床形態の領域区分図を参考に、交互砂州形成領域とした。このとき、流量は 1.7 L/s、水路勾配 I は 1/100、無次元掃流力は 0.084、 $BI^{0.2}/h_0$ は 15.9 である。ここで、 h_0 は等流水深である。

計測手法には ST を用いた。計測間隔は 5 分で、通水 55 分の時点で底面が十分に発達したと判断して通水を停止した。なお、本研究では上記と同一の条件の実験を 2 度行い、次節で述べる現象と同様の実験結果を得ており、現象の再現性について確認している。

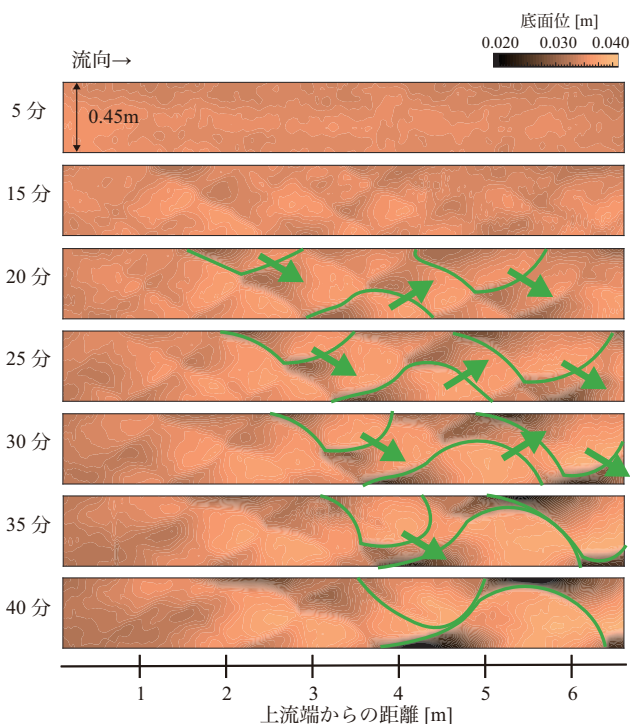


図-1 底面のコンター図

(2) 計測結果

模型実験の計測結果である底面の時間変化を図-1に示す。通水 5 分から 15 分に着目すると、平坦床を初期形状とした底面から、周期的な斜め交錯模様の発生が確認された。通水 20 分になると斜め交錯模様はより明瞭になり、規則的な三角形状や菱形形状が見られた。これ以降は斜め交錯模様の遷移的な変形を経て、通水 40 分頃には交互砂州とみなせる周期形状(以下、交互砂州と呼ぶ)が形成された。通水 40 分以降の交互砂州が形成されてからの時刻では模様の変形が緩慢となった。

通水 20 分以降の斜め交錯模様の交互砂州への変形過程に着目すると、緑の線で注記した岸沿いに位置する三角形状が、矢印で示した対岸方向へ波長を延伸しながら移動する。波長の延伸を開始した岸沿いの三角形状は、時間経過に伴い、その前縁部の形状を円弧状に変形させながら前列の三角形状、菱形形状に追いつくように移動する。元々は直線的だった三角形状が円弧状に変形することから、この一連の変形の過程は、周期的な幾何学形状の移動速度が空間分布を有し、それが時間的に変化することに由来するものと考えられる。特に、岸沿いの三角形状の前縁付近では移動速度が大きく変化し、これが交互砂州への遷移的な変形の要因になると推測できる。

Key Words: 交互砂州, 底面の移動速度, 河床波の形成・発達
〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 TEL 025-262-7053

3. 底面の移動速度の定量化

(1) 移動速度の推定手法

前章では、測定から得た底面の幾何学形状に基づき、交互砂州への変形過程を定性的に論じた。本節では、同過程について定量的に考察するため、底面の移動速度の空間分布を推定できる手法⁴⁾を用い、同過程における移動速度を定量化する。

本研究で用いる底面の移動速度の支配変数は水深と流速である。このうち水深は、STで計測された水面位と底面位の差から得た。一方で、流速はSTにより計測できないため、iRIC⁶⁾に同梱されるNays2Dを用い、STで計測した底面を既知の固定床として算定した。

(2) 移動速度の時間変化

M_x と M_y の推定結果のうち、通水5分、20分、40分のものを図-2に示す。なお、 M_x と M_y はそれぞれ等流速で無次元化した。また、図中の凡例のとおり M_x と M_y の規模は10倍から100倍ほど異なる。

図-2のとおり、通水5分の時点では M_x 、 M_y ともに底面の移動速度は概ね空間で一一定である。その後、通水20分の時点では M_x 、 M_y ともに空間分布を有するようになっていく。通水40分からわかるように、通水20分以降の時刻では移動速度の空間分布がさらに拡大した。

(3) 交互砂州の形成に関する考察

図-2の通水20分における M_x の空間分布について考察する。一連の変形過程は周期現象と考えられることから、片岸一部分のみ着目すると、三角形形状の内部の下流側(黒線)で概ね M_x が大きく、下流側で隣接している菱形形状(桃色線)や、三角形形状(桃色点線)では小さい。このことから、黒線で囲んだ三角形形状が縦断方向に追い付いていたことが分かる。

次に、同時刻における M_y の空間分布に着目する。ここで、 M_y は局所的に M_x よりも非常に小さいことから、図-2に加えて図-3に M_y/M_x を示した。図-3においても砂州が周期現象であることを仮定し、岸沿いの三つの三角形形状のうち右岸側の一つ(黒線)とそれに隣接する菱形形状(桃色線)に範囲を限定して示した。同図から、 M_y/M_x は三角形形状の前縁付近(黒点線)で特に大きい一方、その下流側で隣接している菱形形状の上流側(緑色点線)では小さい。つまり、河床波の標高が不連続となる箇所では M_y/M_x も不連続となり、横断方向の追い付きが生じていたことが分かる。

これらを総合すると、発達を開始する岸沿いに位置する三角形形状は、前縁を円弧状に変形させながら下流側で隣接する菱形形状や三角形形状を飲み込むようにして波長を延伸し、その結果として、いわゆる交互砂州と呼ばれる平面形状が形成されていくものと考えられる。

4. おわりに

本研究では、まず交互砂州の形成過程を空間・時間の各々を高い分解能で計測した。次に、底面の移動速度を定量化し、これに基づき交互砂州の形成機構を考察した。結論として、底面の移動速度の局所的な不連続性が波形の追い付き現象を生み、交互砂州を形成させていること

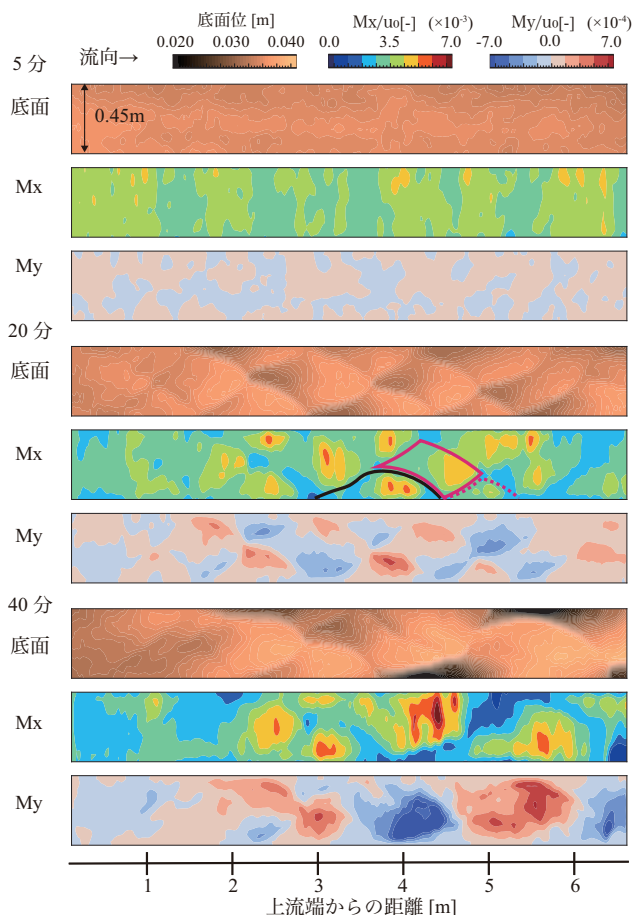


図-2 移動速度のコンター図

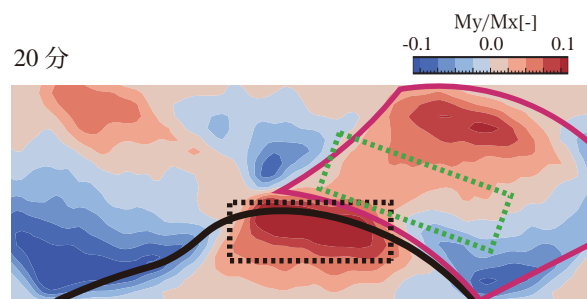


図-3 右岸側の三角形形状付近の M_y/M_x

が示唆された。一方で、現時点において、どのような機構により底面の移動速度の空間分布が生じるかは未解明であり、この解明は今後の課題である。

参考文献

- 1) Callander, R. A.: Instability and river channels, *J. Fluid Mech.*, vol.36, pp.465-480, 1969.
- 2) M. Tubino, R. Repetto, G. Zolezi: Free bars in rivers, *J. Hydraulic Res.*, vol.37, pp.759-775, 1999.
- 3) D. Moteki et al.: Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Phys. Fluids*, 34, 034117, 2022.
- 4) M. Ishihara, H. Yasuda: Study on the Migrating Speed of Free Alternate Bars, <https://doi.org/10.1002/essoar.10508349.3>, 2021.
- 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) 北海道河川財団, <https://www.ric.or.jp>