

流路変動の発生過程における交互砂州の伝播に関する考察

新潟大学大学院自然科学研究科 ○学生会員 石原 道秀
新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保
株式会社キタック 正会員 五十嵐 拓実

1 はじめに

近年、直線流路に整備された河川において、河道内の交互砂州による流れの偏心を起因とした流路変動が頻発している。直線流路から流路変動への発生過程は、大小様々な規模の模型水路を用いた種々の水理条件下における模型実験(例えば1),2), 流路変動の再現を目的とした数多くのモデルによる水理解析(例えば3)によって調べられてきた。しかし、これらの研究では、流路変動の発生要因である交互砂州の伝播について十分に説明されていない。

本研究では、流路変動の発生過程における交互砂州の伝播の考察を目的に、模型実験を実施し、高分解能な計測値を用いて伝播速度の空間分布の把握を試みた。

2 模型実験の概要

2.1 実験設備

本研究では、流路変動の発生過程における交互砂州の伝播の考察のために模型実験を行った。実験水路は、全長12 m、水路幅0.45 m、深さ0.15 mの直線矩形断面水路である。この水路内に0.76 mmの4号珪砂を複断面流路になるように敷き詰め、これを初期河床とした。複断面流路の水路床からの高さは、低水路が0.035 m、高水敷が0.065 mである。上・下流端には初期に設定した流路幅と同じ幅の固定堰を設置した。水路への給水は、下流端の水槽から上流端の水槽にポンプ圧送して定常で供給した。

2.2 実験条件

水理条件は交互砂州の発生を狙い、黒木・岸⁴⁾の中規模河床形態の領域区分を参考に交互砂州の発生領域に設定した。この時の流量は0.8 L/s、低水路幅は0.21 m、河床勾配は1/180、 $BI_0^{0.2}/h_0$ は5.7、無次元掃流力は0.058、等流流速は0.292 m/s、等流水深は0.013 mである。給砂条件は無給砂とした。通水は流路変動により侵食性側壁が水路の固定壁に到達するまで行った。

2.3 計測手法

本研究では、星野らが開発した通水したまま底面位と水位の計測が可能なST⁵⁾を用い、全長9.0 m、幅0.45 mの計測範囲における上記を1 cm²の空間分解能で計測した。計測は5分ごとに行った。

2.4 実験結果

図-1にSTで計測した底面位の時間変化を示す。本研究では、5分間隔でSTの計測を行ったが、紙面の都合上、30分間隔の結果を記載した。また、同図中の波線で囲まれた範囲は、流路変動が発生した箇所を表している。

同図を見てみると、通水5分における底面位は初期平坦床とほぼ同じであるが、時間経過とともに底面が起伏を持ち始めていることがわかる。通水90分になると、流下方向に左右交互に堆積と洗掘を繰り返す起伏が形成されており、交互砂州の発生が確認できる。通水120分になると、波高の発達に伴って上流端から4 m地点の右岸側において側岸が侵食させていることがわかる。通水150分になると、側岸の侵食が水路の至るところで発生しており、共通して対岸側が堆積域であることがわかる。

3 流路変動発現時における交互砂州の伝播速度

3.1 伝播速度の推定式

本研究では、交互砂州の伝播速度の定量化のために、著者が構築した以下の伝播速度の推定式を用いる。

$$M_x = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3} \left(\frac{u}{V}\right) I_e}{sd(1-\lambda)} \quad (1)$$

$$M_y = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3} \left(\frac{v}{V}\right) I_e}{sd(1-\lambda)} \quad (2)$$

ここで、 M_x は伝播速度の縦断成分、 M_y は伝播速度の横断成分、 τ_* は無次元掃流力、 τ_{*c} は限界掃流力、 s は砂粒子の水中比重、 g は重力加速度、 d は粒径、 λ は空隙率、 u は縦断流速、 V は合成流速、 I_e はエネルギー勾配の合成成分、 v は横断流速である。

3.2 伝播速度の算出に必要な水量について

伝播速度の算出に必要な水量は主に底面位、水深、流速、エネルギー勾配である。底面位や水深はSTの計測値を用いるが、流速やエネルギー勾配はSTで計測した底面形状を既知の固定床とした水理解析を行って得た。水理解析には、平面二次元解析のソルバーであるiRIC⁶⁾に同梱されるNays2Dを使用した。計算点の配置間隔は縦横断ともにSTの分解能と同じ1 cm、上流端境界条件は流量1.5

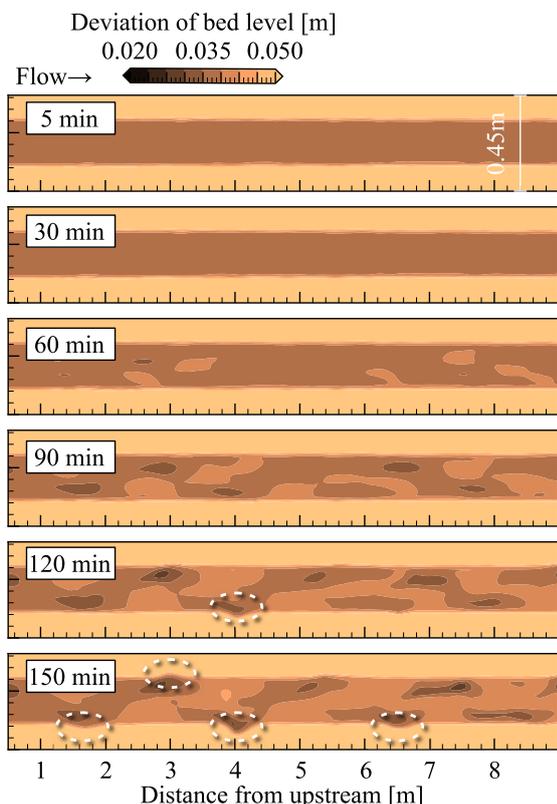


図-1 底面位の平面図

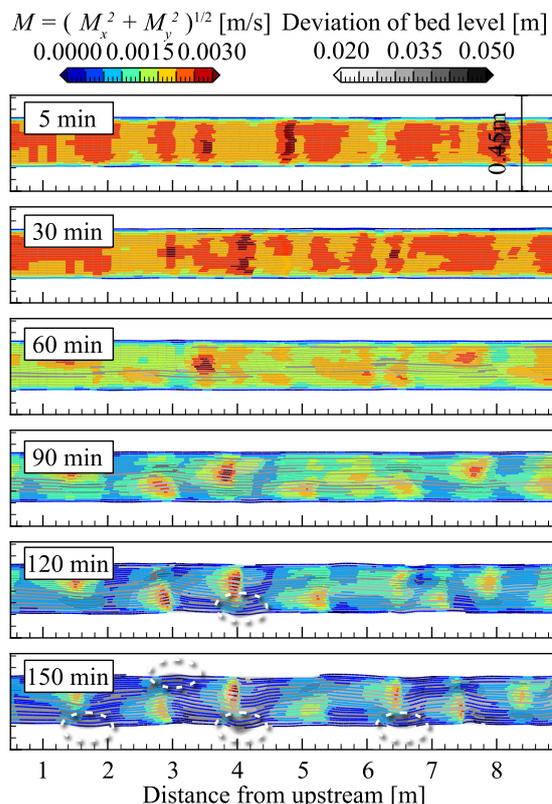


図-2 伝播速度の流線の平面図

L/s, 下流端境界条件は計測した水深を与えた。また、粗度係数はマンニングストリクター式より求め、0.015 を区間全体で一様に与えた。

3.3 算出結果

図-2 は伝播速度の空間分布と流下方向および流路幅方向の伝播速度である M_x と M_y から得られる流線である。まず、通水 5 分に着目すると、流線は流下方向に直線的であり、ある程度空間分布を持ちながら全体的に 0.003 m/s の速度で移動していることがわかる。その後、通水 30 分から 60 分にかけて、底面の発達に伴って伝播速度が 0.0015 m/s に減少し、流線が側岸方向に湾曲し始めていることがわかる。このことから底面形状は側岸方向に伝播していることが推測される。通水 90 分から 150 分にかけて、伝播速度の減少と流線の側岸方向への湾曲が顕著になり、河岸侵食が多数の箇所が発生した通水 150 分では砂州はほとんど伝播しておらず、堆積域のみが侵食された側岸に向かって伝播していることがわかる。

一般的に流路変動の発生は、交互砂州が流れを側岸に偏心によるものと考えられる。本研究の結果により流れだけでなく、交互砂州自体も侵食されている側岸方向に伝播し、それらが流路変動を促進させていることが示唆された。

4 おわりに

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 少なくとも無給砂の条件においては、交互砂州の伝播速度は交互砂州の波高などの発達とともに減少することを示した。
- 2) 交互砂州の流下方向と流路幅方向の各々の伝播速度を求め、これらから流線を生成したところ、波高の発達以前の流線は直線状となるが、砂州の伝播速度が低下してくると流線は侵食される側の側岸方向に湾曲することがわかった。
- 3) つまり、一定以上の波高に発達した交互砂州においては、これを回避しようとする流れと、それに伴い、侵食が開始している側岸方向へ交互砂州が伝播するようになり、流路変動を促進させていることが示唆された。

参考文献

- 1) 木下良作:河床における砂礫堆の形成, 土木学会論文集, 第 42 号, 1957.
- 2) Bertoldi, W., & Tubino, M. :Bed and bank evolution of bifurcating channels, Water Resour. Res, 41, 2005.
- 3) Nagata, N., Hosoda, T., & Muramoto, Y. :Numerical analysis of river channel processes with bank erosion. Journal of Hydraulic Engineering, 126(4), 2000.
- 4) 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.
- 5) 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), 74 巻 1 号, pp.63-pp.74, 2018.
- 6) 北海道河川財団, <http://i-ric.org>.