

砂州の発達過程における滞筋の川幅水深比とその安定性 Stability and the width-to-depth ratio in stream during the development of a sand bars

村井 剛徳 (新潟大・工) 安田浩保 (新潟大・工)

Takenori MURAI, Niigata University

Hiroyasu YASUDA, Niigata University

FAX : +81-25-262-7050 , E-mail : hiro@gs.niigata-u.ac.jp

In a straight gravel river, those channel width is stable and not infinite. In other hand sides, alternate bars are often spontaneously formed in gravel rivers, and a linear stream is maintained stably in response to their development. The above-mentioned stable channel width and the linear straight stream of the latter suggest some relationship. In this study, we investigated stability of channel width at the width-to-depth ratio which was obtained during the development processes of alternate bars. We showed that the ratio is a condition for suppressing the occurrence of alternate bars, and therefore, stable channel shape was kept due to the straightness of stream line is kept.

1. はじめに

砂礫河川の河床と側岸つまり河道全体は砂礫で構成されている。このよう河道では流水による掃流力が有効無次元掃流力を上回ると河床と側岸の変形が生じ、流路幅が無限になる。しかし無限とはならず、安定した流路幅(以後、安定川幅)が維持され、安定川幅の主要な支配変数は流量であることが解明されている¹⁻³⁾。これらの安定川幅は一定流路幅の直線流路を対象として研究されたものである。直線状の砂礫河川の河床にはしばしば交互砂州が自発的に形成される。著者らの知る限り、砂礫河川を対象とした安定川幅の研究において河床面の砂州の発生や発達について言及した研究は存在しないようである。砂礫河川における砂州の発生の有無は川幅水深比を用いて評価⁴⁾できることが知られ、既往の安定川幅の研究の水利条件は砂州の非発生の条件であることが推測される。

砂州の発生の条件において砂州の波長が十分に発達すると、岸沿いに川幅の数倍から10倍程度の直線的な滞筋が形成される。流量や給砂量が定常である限り、このような直線状の滞筋の変化は少なく、安定している。この滞筋を流心とした流路における川幅水深比は初期に比べて減少し、砂州の非発生の条件へ移行したことが推測される。しかし、この時の川幅水深比の定量化が行われたことはない。また、砂州の発達の過程において自発的に形成された滞筋と前述した安定川幅の間には何らかの関連性が推測される。しかし、現状では両者の関係性については不明である。

本研究では、砂州の発達の過程において自発的に形成された変化が緩慢となった滞筋と安定川幅の関係性の解明の第一段階として、砂州の発達過程における滞筋を流心とした流路の川幅水深比とその時の流路の安定性について調べた。

2. 実験方法

本研究では二種類の移動床の模型実験を行った。1つは、砂州発生の川幅水深比を与えた実験(実験1)、もう1つは、砂州の発達の過程において自発的に形成された滞筋を流心とした流路での川幅水深比を与えた実験(実験2)である。

どちらの模型実験でも同一の水路を使用し、全長12m、水路勾配は1/200とした矩形断面の直線水路とした。水路床には平均粒径0.76mmの4号珪砂を敷設した。給砂条件は無給砂とした。砂州の発達過程における水深と川幅を定量化するため、通水を継続したまま水面と底面を同時に計測できるStream Tomography(以下,ST)⁵⁾を用い、どちらも実験とも通水開始時から10分間隔で1点/1cm²の分解能で計測した。

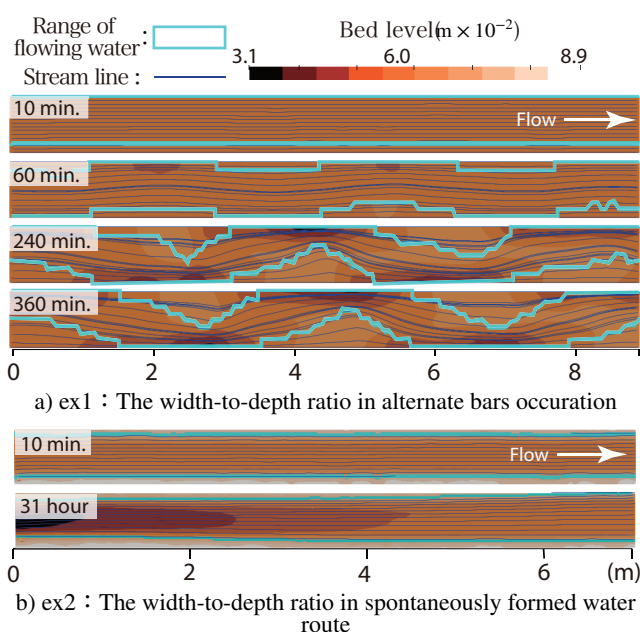


Fig. 1: Time change of bedlevel and stream line

2.1 実験1：砂州の発生の川幅水深比

実験1は、平坦床から交互砂州が発生して底面形状の変化が十分に緩慢になるまで通水し、この時の岸沿いにおいて自発的に形成された直線状の滞筋を流心とした流路の川幅水深比を把握する目的で行った。この実験の初期の水利条件は、黒木・岸が提案する砂州の発生の有無を判別する領域区分図⁴⁾において交互砂州の発生領域に該当する、流量は1.7 L/s、川幅水深比は14.5、無次元掃流力は0.079に設定した。本実験は、交互砂州が発生し、底面形状の変化が極めて緩慢となる6時間まで行った。

2.2 実験2：自発的に形成された滞筋における川幅水深比

実験2は、実験1において滞筋を流心とした流路の底面形状と水量の変化が極めて緩慢となった時の川幅水深比を初期条件に与えることにした。流量は1.4 L/s、川幅水深比は実験1において底面形状の変化が極めて緩慢となった時点の流路での5.65、無次元掃流力を0.042とした。流路の安定性を調べるため侵食を許容する条件とした。実験は長時間の通水においても初期の川幅水深比が維持されることを確認するため、31時間行った。

3. 実験結果と考察

3.1 実験 1

実験 1 の底面高、流路の範囲 (以後、流水域)、流線の時間変化を Fig.1 a) に示す。図中の流線は、平面二次元解析のソルバーである Nays2D で模型実験と同じ水理条件を与えた固定床水理計算により求めたものである。

通水開始から 10 分は底面の起伏は小さく、底面形状はほぼ平坦である。通水開始から 60 分が経過すると水路全体に交互砂州が発生した。その後、交互砂州は発達し、通水開始から 240 分以降となると砂州の流下はほぼ停止し、底面形状の変化は僅かとなった。同図中に流水域の範囲を水色線で示した。通水開始から 10 分と 360 分の流水域を比較すると、後者のものが減少しているのが分かる。また、流線については、通水開始では直線的な流況であるが、通水開始から 6 時間が経過すると流水域の形状と対応した蛇行した流況となっていたことが示された。

砂州の発達に伴う流水域の変化を定量的に把握するため、流水域の形状の変化を表す水理量として潤辺、流積、径深の時間変化について Fig.2 a) に示した。同図中の 3 つの水理量は、通水を継続したまま水面と底面を同時に測定できる ST から得られた水深と川幅を水路縦断方向に平均化したものである。

Fig.2 a) の上段に示した潤辺は通水開始の間もない時点から減少傾向となり、300 分以降で変化が小さくなる。同図中の中段の流積は通水開始から実験終了までほぼ一定である。同図中の下段の径深は増加傾向を示すが、こちらも 300 分以降になると変化が小さくなる。3 つの水理量いずれにおいても 300 分以降から変化が小さくなる様子は、この時間帯の前後から砂州の流下と底面形状の変化が極めて緩慢となることと対応していた。

3.2 実験 2

Fig.1 b) に実験 2 の底面位と流水域の時間変化を示す。初期の川幅に比べて通水開始後 31 時間の川幅には若干の拡幅が確認されたものの、流路は測定区間の全体で直線形状を維持した。このことは、流線から一層よく分かり、通水開始 60 分後から流線の蛇行が見られた実験 1 とは対照的に、通水開始から 31 時間後でも流れの直進性が維持されていた。なお、実験 2 は 2 回実施して再現性を確認した。

Fig.2 b) に実験 2 から得られた潤辺、流積、径深の時間変化を示す。Fig.2 b) 上段の潤辺は通水開始から 100 分頃まで河岸侵食により増加傾向となったが、それ以降の変化は僅かである。流積は川幅の拡幅に伴い増加傾向となった。径深は通水初期において減少傾向となったが、140 分以降は増加傾向に転じた。通水開始から 28 から 31 時間にかけての各水理量の変化が小さいことが確認できる。実験 1 の Fig.2 a) と実験 2 の Fig.2 b) を比較すると、実験 2 の各水理量の変化は格段に小さいことが分かる。

3.3 川幅水深比と流路の安定性の関係性

実験 1 は、時間経過に従って砂州がよく発達してこれに伴って流水域は減少した。一方で、実験 2 は、通水終了まで一貫して砂州の発生は認められず流水域の変化は僅かだった。本節では、砂州の発生と発達が川幅水深比と密接に関係していることに着目し、実験 1 と実験 2 のそれぞれにおける川幅水深比の時間変化について調べた。Fig.3 のとおり、実験 1 と実験 2 の川幅水深比の時間変化について黒木・岸の砂州の発生の有無の領域区分図上⁴⁾に示した。実験 1 の川幅水深比の時間変化は減少傾向となり、次第に砂州の非発生領域へ移行していた。実験 2 の川幅水深比は初期か

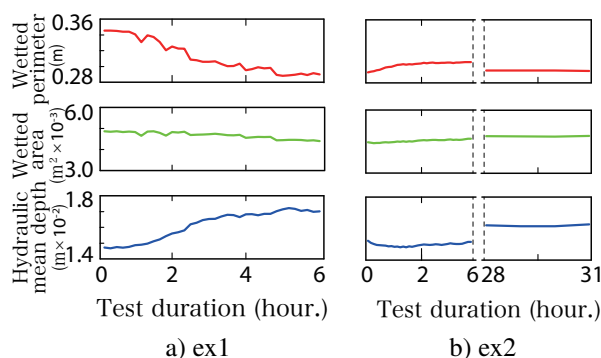


Fig. 2: Time change of hydraulic quantities

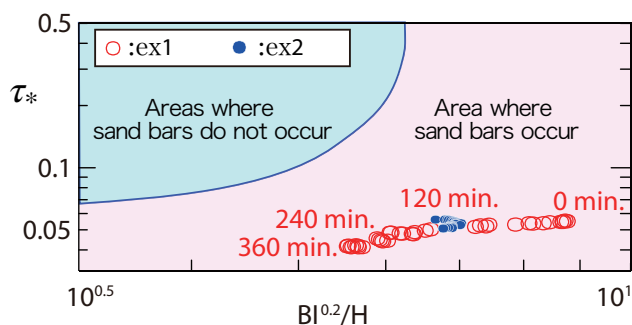


Fig. 3: Transition of the width-to-depth ratio in each experiment

ら 1 ほど増加しただけで、実験 1 の結果と比較すると変化は著しく少なかった。つまり、実験 1 の最終時刻の流路と実験 2 の初期に与えた川幅水深比はどちらも砂州の発生を抑制するものであることが推測され、このために流水の直進性が維持され、実験 1 の底面形状の変化が落ち着いた時の川幅水深比を初期条件とした実験 2 の水路において安定な流路形状が保持されたと推測できる。

4. おわりに

本研究では、砂州の発達の過程において自発的に形成され変化が緩慢となった滞筋を流心とした流路における川幅水深比とその安定性について調べた。その結果、砂州の発達に伴って自発的に形成された直線状の滞筋を流心とした流路の川幅水深比は砂州の発生を抑制する条件となり、このために流水の直進性が維持され、安定な流路形状が保持されることが推測された。

参考文献

- 1) 平野宗夫, 拡幅を伴う流路変動について, 土木学会論文報告集, 第 210 号, pp.13–20, 1973.
- 2) Parker, G, Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed. Part 1, *J. Fluid Mech.*, Vol. 89, pp. 109–125, 1978.
- 3) 池田駿介, Gary Parker, 千代田将明, 木村義孝, 直線礫床河川の動的安定横断形状とそのスケール, 土木学会論文集, 第 375 号 / II-6, pp.117–126, 1986.
- 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, 第 342 号, 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.