

安定川幅条件における河床波の発生と発達

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○村井 剛徳
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

自然堤防帯などに位置する砂礫河川の流路の形状は、増水時などに容易に変形する。このことが要因となり、その流路の平面形状が直線形状が維持されにくいと考えられている。また、ほとんどの砂礫河川の河床は平坦床が維持されず、周期的な起伏形状である河床波が形成される。このような砂礫河川の水路の形状安定性と、河床の安定性は現在までのところ独立に研究されてきた。

流路の形状安定性については、平野¹⁾やParker²⁾らが水路実験における観察を通し、流路側岸の河岸侵食による土砂量と、流路中央から供給される土砂量の釣り合いを保つとする水理学的なモデルを構築した。同モデルにより直線的な流路を維持し得る安定な川幅の存在(以下、安定川幅)が明らかにされた。この安定川幅は、侵食性河岸を持つ流路においてその川幅が安定川幅ならば、流砂の動的平衡状態が保たれて河岸侵食は生じずに直線形状が維持されることを意味する。

上記の安定川幅の研究において河床がどのような形状となるかは言及されていない。しかし、ほとんどの砂州河川に河床波が形成される。河床波のうち、交互砂州は流水の偏流などを促し、河岸侵食の要因になると考えられている。また、交互砂州は一定の川幅以上において発生することが明らかにされている。つまり、川幅を共通項とすることで、これまで独立に研究されてきた砂礫河川の水路の形状安定性と、河床の安定性とを包括的に扱え、安定川幅の水路における河床波の有無と、その河床波が水路の形状安定性に与える影響について考えられる。

本研究では、侵食性側壁を持つ安定川幅の条件における河床波の形成の有無、それに伴う流路形状の変化について模型実験を用いて調べた。

2. 模型実験

本研究では過去の安定川幅の研究における模型実験の初期条件を参考¹⁾にした表-1の2つの実験を行った。両条件の最も大きな違いは常流であるか射流である。

使用した水路は全長12m、全幅45cmの矩形断面の直線流路である。通水に伴う河道の形状変化を確認するため、水路床には非粘性砂である4号珪砂を敷き詰め、水路中央部に各条件の川幅を掘り込んだ。通水中はStream Tomography(以下、ST)⁴⁾を用い、通水開始時から5分間隔で1点1cmの分解能で流路の時間変化を計測した。

3. 実験結果

図-1 a)に実験1の結果を示す。同図に実験における底面と流線、水面の変化を示す。流線の描画には平面二

ケース	河床勾配	川幅水深比	Fr	τ^*
実験1	1/160	4	0.87	0.095
実験2	1/80	4	1.21	0.174

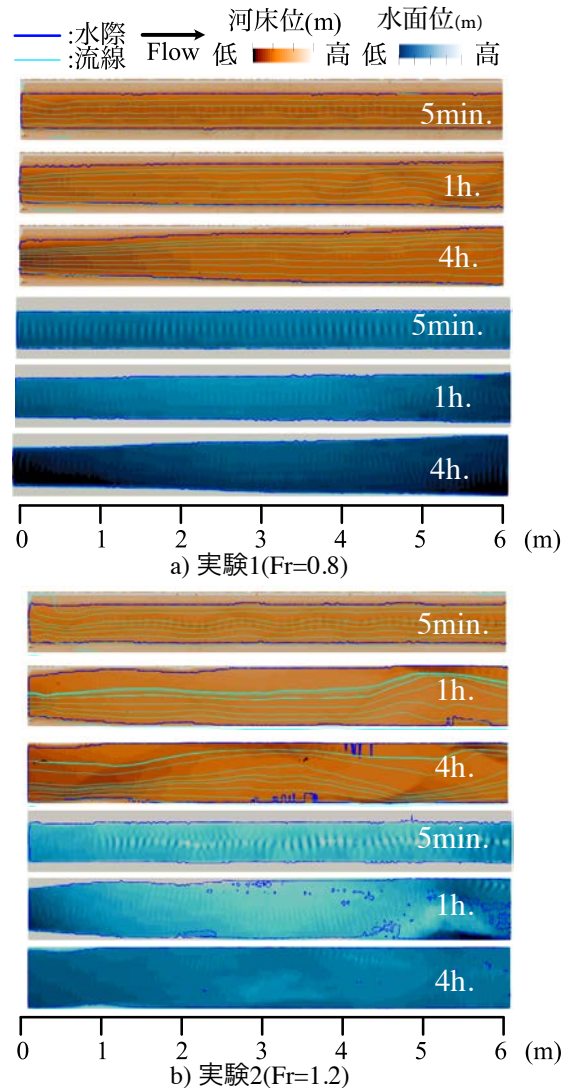


図-1 底面と流線の時間変化

次元ソルバーのNays2Dから得た流速を用いた。通水後5分では特に底面に変化は見られない。通水後1時間で下流端付近の底面に起伏が発生するが、それ以上は発達はしなかった。流線の形状は、通水初期の5分と通水終了時の4時間を比較しても曲がり終始少なく、側壁への影響は小さいように見える。また、水面については、通水5分で幅の長い水面波が形成されたが、それ以降は視認できる水面波などは確認できなかった。

図-1 b)に実験2の結果を示す。通水後5分の段階で流路横断の中央部に反砂堆のようなものが形成される。

Key Words: 安定川幅, 直線流路
〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 TEL 025-262-7053

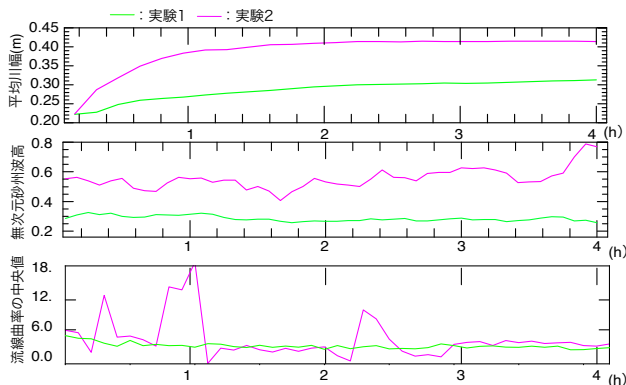


図-2 川幅と砂州波高と流線曲率の時間変化

通水後1時間後の変動は水路全体で大きく、特に中流から下流の側岸は侵食されて消滅した。その後、通水終了の4時間になると底面に波高の交互砂州が目立った。時間ごとの流線を見ると、通水後1時間の段階では下流端近傍での曲がりが目立ち、側岸侵食との関与が窺える。通水終了まで交互砂州の形成に伴う偏流が見られた。また、水面については、通水開始から5分までは、水路中央付近に水深ほどの高さの水面波と交錯模様が形成された。それ以降は徐々に小さくなり、通水後1時間ではほとんど見られなくなった。

4. 考察

(1) 水路の形状変化と交互砂州の影響

前章の通り、実験1の条件では、流路拡幅が収束したのに対し、実験2の条件では通水開始から1時間程度で側壁の大半は消失し、4時間後には完全に消失した。両実験とも規模は異なるものの底面に交互砂州が生じた。このうち、実験2に関しては、図-1 b)の流線などから交互砂州による流水の偏流、河岸侵食が発生していたことが推測される。本節ではこのような河道形状の要因について考察するため、図-2に川幅の変化、底面の砂州波高、流線の曲率の時間変化を整理した。

図-2の上段は川幅の時間変化である。実験1では通水2時間まで緩やかに拡幅するが、それ以降は変化が落ち着いていたことが分かる。一方、実験2は通水1時間で使用した水路の全幅まで川幅が拡幅していたことが分かる。同図の中段は、砂州波高を等流水深で除した無次元波高の時間変化である。実験2では初期の段階から砂州波高は水深の6割程度に達していたことが分かる。実験1はそれと比較すると実験2の約1/3程度であり、通水を継続しても変化はなかった。同図の下段は流線曲率の時間変化である。実験1はほぼ一定を保った。一方、実験2は、河道形状の変化が大きかった通水後1時間において流線の曲率の変化が大きかった。これらを考え合わせると、通水後1時間以後から砂州の発達に伴う流水の偏流などが大きくなり、直線状に流路の維持が困難になったものと推測される。

(2) 砂州発生・非発生の領域区分図における条件の遷移

前節において、流路拡幅に対して底面に形成される砂州が関与することが推測された。自発的な砂州の発生の有無は、初期条件の川幅水深比と無次元掃流力を二軸と

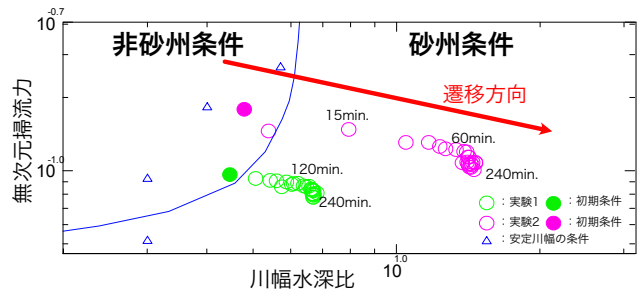


図-3 領域区分図上での変化

する領域区分図³⁾から推定できる。同図は一定の川幅水深比を上回ると砂州が発生することを示す。

まず、平野らの実験条件を参考とした本研究の2つの実験条件は通り通水開始時点ではどちらも図-3に示したとおり砂州の非発生条件に位置することが分かる。流路拡幅に対して砂州が関与すると仮定すると、初期に与えた川幅は直線を維持し易い条件であることが分かる。

その後、通水の継続に伴い、図-2上段のとおり、川幅は増加した。図-3から分かるように、2つの実験の川幅水深比は、どちらも砂州が発生しやすい条件に遷移していった。特に実験2は通水開始からか間も無く砂州の発生しやすい条件に遷移していたことが分かる。

以上のことから、砂州の発生・発達要因となり偏流が生じ、水路の全区間において河岸の侵食と流路の拡幅が生じたものと推測される。流路の形状安定性に優れると考えられる安定川幅の条件においても、何らかの要因により川幅の拡幅が開始すると、砂州が発生しやすい条件へと遷移していくことが分かる。

(3) 水面波の発生と影響

実験2は通水初期から河岸侵食が著しかった。実験2でのみ通水初期から水路の全区間にわたり水路中央部に等流水深と同程度の高さに発達した水面波が形成され、この水面波は水路側壁に対して約45度程度に入射していた。通水開始から1時間までは河道形状の変化が大きかったが、その要因は、交互砂州の発達に加え、側壁方向に入射する水面波も寄与していたことが推測される。水面波の河岸侵食への影響について今後解明を進める。

5. おわりに

本研究では、模型実験により、直線形状を維持する安定川幅の条件における砂州発生とそれに伴う河道形状の変化を確認した。その結果として、何からの要因で流路がわずかにでも拡幅すると交互砂州の発生しやすい条件に遷移し、これに伴う偏流がさらに河道形状の変化を助長することを示唆した。

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) 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.
- 4) D. Moteki et al., Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Phys. Fluids*, 34, 034117, 2022.