

# 砂州の安定性解析において仮定される流速解の検証

新潟大学工学部工学科 学生会員 ○住谷 翼  
新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 関 翔平  
新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 茂木 大知  
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

河川の底面に現れる河床波の存在の把握は、安定河道を持つ河川を設計する上で必要不可欠である。これは、河床波の有無や規模によっては流路に対する影響を無視できないため、特に中規模河床波である砂州については、その物理機構の解明のために多くの研究が行われてきている。さらに、近年の自然災害の激甚化と共にますます河床波把握の重要性は高まっているが、実河川において水面下の現象を直接計測することは困難である。また、実験水路においても移動床の現象を高精度に観測する手法が存在しなかった事もあり、現在までその物理機構は未解明である。

砂州の発生・非発生を予測する手法の一つとして、2次元流れにおける砂州の安定性解析<sup>1)</sup>がある。これは、平面2次元の運動方程式と連続の式、そして流砂の連続式を連立した理論解析で、初期に与えた微小擾乱が増幅するか否かによって砂州の発生の有無やその河床形態を評価するものである。これまで、実河川や模型実験における観測から同手法による推定結果の妥当性が確認されており、実際に実務等でも汎用されている。その一方で、砂州の形成過程において安定性解析が三角関数で仮定する各水理量の解形の妥当性検証は十分でない。本研究では、河床高に対し半波長ずれた解を仮定している横断方向流速に着目し<sup>3)5)</sup>、模型実験における底面の実測値を用いた数値解析によって横断流速分布を算定、仮定された解形の妥当性を確認する。

## 2 模型実験の概要と解析手法

### 2.1 実験条件

実験は、全長 12 m、水路幅  $B$  が 0.45 m の直線単矩形断面水路を用いた。また、実験水路のうち移動床区間を約 10 m とし、平均粒径 0.76 mm の 4 号珪砂を厚さ 5cm で敷き詰め、初期形状は平坦床とした。供給流量  $Q$  は 1.6 L/sec を定常で与え、無給砂により実験を行った。

初期条件は、黒木ら<sup>1)</sup>の砂州の領域区分図を参考に単列砂州発生条件とし、水路勾配を  $I$ 、等流水深を  $h_0$  とした時の川幅水深比  $BI^{0.2}/h_0 = 19.1$ 、無次元掃流力  $\tau_* = 0.098$ 、フルード数  $Fr = 1.165$  である。また、実験においては

Stream Tomography(ST)<sup>4)</sup>を用いて水面と底面を1分間隔で計測した。この時の空間分解能は  $1 \times 1$  cm であり、通水時間は目視によって砂州が平衡状態に達したと判断できた45分までとした。

### 2.2 解析手法

横断方向流速の数値解析は、STで測定された流水深を拘束条件とする Flow Depth Constrain 法(FDC)<sup>2)</sup>により行う。FDCの適用においては、まず微小振幅波理論に基づく波速  $c$  とフルード数  $Fr$  の積により横断方向流速の第1次近似を求め、実測水深  $h_{obs}$  との積を取る事により流量フラックスを算定する。次に、FDCにより流れの連続の式を満たすように流量フラックスを補正し、最後に  $h_{obs}$  で除す事により実測の水深を考慮した流速場を算定する。ただし、波速  $c = \sqrt{gh_{obs}}$  であり、 $g$  は重力加速度である。また、数値解析においてフルード数  $Fr$  は

$$Fr = \frac{Q}{Bh_{ave}} / \sqrt{gh_{ave}} \quad (1)$$

で再計算を行っており、 $h_{ave}$  は全測定点における水深の平均をとったものである。

## 3 水路実験に基づく横断方向流速の検証

本章ではSTにより得られた結果にFDCを適用して横断方向流速を得て、安定性解析において仮定される解の形を確認する。

図-1は通水開始後に測定された各時間における底面高の平面図を示しており、図中の破線は横断方向流速の分布を示す検査線である。なお、紙面の都合上平面図の時間間隔を調整している。通水開始1分後では底面に波長が水深規模である砂堆が形成され、通水後5分頃からはさらに交錯様様の発生が見られた。25分後頃には流下方向に洗掘と堆積を繰り返す典型的な単列砂州が形成され、その後最終時刻まで時間と共に波長や波高が発達した。

図-2は各時間における底面高と横断方向流速分布を示しており、図中の緑線が横断方向流速を、赤線が底面高を示している。ここで、横断方向流速は左岸に向かう流れを正としている。通水開始1分後では底面はほぼ平坦であり、横断方向流速もあまり観測されていない。通水後5分

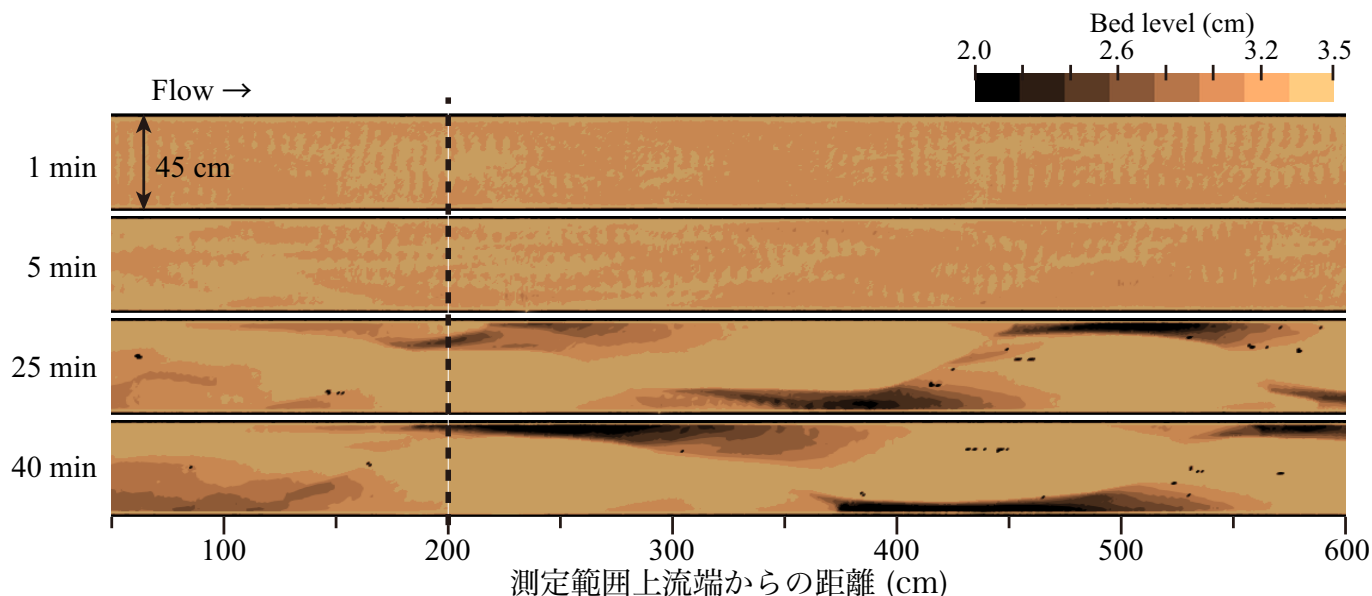


図-1: 各時間における底面高の平面図

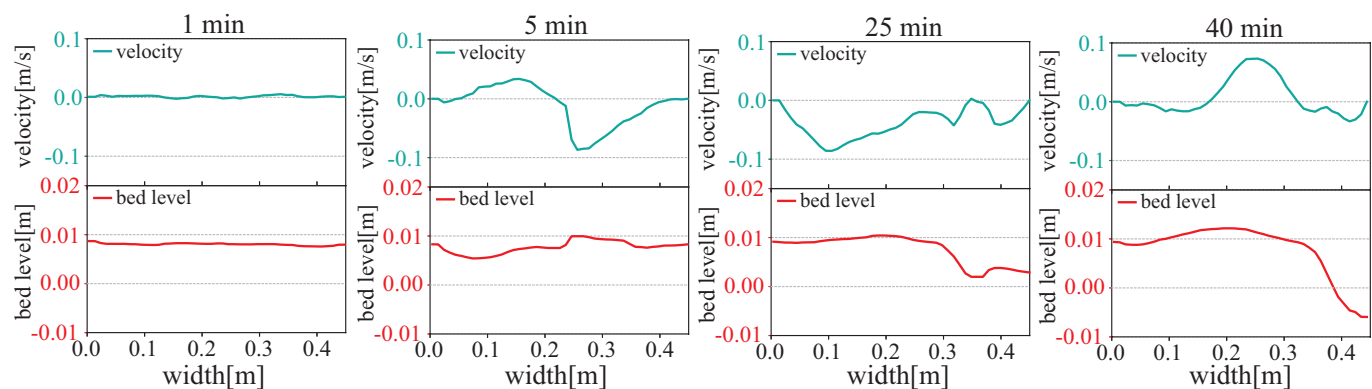


図-2: 各時間における横断方向流速と底面高

では底面が変動を開始するに伴って横断方向流速の発生も確認される。横断流速分布が周期関数形を持つと仮定すると、底面形状に対し位相がずれたような分布をとっており、その位相差は半波長程度であるように見受けられる。この傾向は、底面形状から砂州の発達が進展する通水開始後 25 分、40 分でも同様であり、特に 25 分においては底面形状の変動に非常に良く対応した流速分布を取っている。

上記結果より、横断流速分布は底面形状に対し砂州の発生段階及び平衡状態において異なる位相差を持つ可能性が示された。

#### 4 終わりに

本研究ではまず、実験水路における移動床実験を行い、単列砂州の発生からその後平衡状態に至るまでの底面と水面を ST により計測した。そして、得られたデータから FDC により実測の水深に基づく横断方向流速を算定、その分布を確認した。実験結果より、今回の単列砂州発生条件においては、砂州の安定性解析において仮定される流速解の存

在が示唆された。また、底面形状と横断方向流速には相互に影響があり、砂州の発生段階と平衡状態において異なる位相差を持つ可能性が示された。

現状では、砂州の発生条件の一部しか解明されていない。今後は、様々な実験条件における砂州の理論的な発生条件を把握するため、安定性解析において砂州が発生すると推定された条件における横断方向流速の関数形を同定する。

#### 参考文献

- 1) 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 342 号, 1984.
- 2) 大泉 尚紀, 茂木 大知, 安田 浩保: 流水深に基づく平面二次元流速の推定, 土木学会論文報告集 B1(水工学), 2022.
- 3) 泉 典洋, Adichai PORNPROMMIN, 振幅展開を用いた砂州の弱非線形解析, 土木学会論文集 712 号, 2002.
- 4) Moteki D., Murai T., Hoshino T., Yasuda H., Muramatsu S., Hayasaka K., Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Phys Fluids*, 34, 034117, 2022.
- 5) Marco Colombini, Giovanni Seminara, Marco Tubino, Finite-amplitude alternate bars, *J Fluid Mech*, 1987.