

砂州の発生の仮説の検証

新潟大学大学院自然科学研究科
新潟大学大学院自然科学研究科
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
茂木 大知
安田 浩保

1. はじめに

砂州の理論解析や数値解析では、まず初期の底面に微小擾乱を与え、この時の川幅水深比がある一定値以上であれば、底面の擾乱によって流れや掃流力が変化し、流れと相互作用的に底面の擾乱が発達し、最終的には砂州が形成されるという底面の不安定問題を仮説としている^{1),2),3)}。しかし、この過程を実証するデータは現在のところ無く、結局のところ、実現象においてどのようにして河床波が発生し、砂州が形成されるかは未解明である。

最近の研究では、通水開始から砂州が形成され動的平衡状態に至るまでの過程における水面と底面を同時に測定し⁴⁾、砂州の発生期に限っては底面よりも水面の方が流れに対して支配的で、このことが河床波の発生の起源の可能性となることが報告されている⁵⁾。もし初期に与えられた平坦床における水面が河床波の発生に影響を及ぼす規模の空間分布を有するなら、河床波の発生要因は底面ではなく水面に存在する可能性がある。

本研究では、移動床と固定床の両条件における実験を実施し、得られた水面と底面を二次元波数解析により定量化することで、河床波の発生要因が水面にある可能性について述べる。

2. 移動床実験

(1) 実験条件および計測方法

本研究では実験水路に全長 12 m、水路幅が 45 cm の直線の単矩形断面水路を用いた。上記の水路のうち、10 m を移動床区間とした。その上流端と下流端に高さ 5 cm の堰を設置し、平均粒径が 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。流量 Q は時間で一定とし、その値は流量計で確認した。また、給砂に関しては、初期の河床波の発生や、砂州の形成に人為的な影響を極力与えないようにするため、移動床区間の上流側に 2 m の侵食区間を設け、これを給砂区間とした。

本研究では、黒木・岸¹⁾の領域区分図を参考に、単列砂州発生条件となるように設定した。具体的な条件は表-1 に示す。ここで、同表中の β は川幅水深比、 h_0 は等流水深、 τ_{*0} は無次元掃流力、 Fr_0 はフルード数である。

水面と底面の幾何学的対応関係を見るために、計測手法には Stream Tomography(ST)⁵⁾を用いた。実験の実施回数は 5 回である。

表-1 水理条件

β [-]	τ_{*0} [-]	Fr_0 [-]	I_0 [-]	Q [L/s]
14.3	0.063	0.81	1/200	2.25

(2) 実験結果

図-1(a) は ST で計測した通水開始前の底面の平面図、図-1(b), (c) はそれぞれ通水開始後 1 分の底面と水面の平面図である。5 回の実験のうち、1 回目の結果を用いている。ST の計測区間は約 7 m 程度であったが、通水開始直後の現象は微小であるため、同図には計測区間の一部を示している。なお、紙面の都合上省略するが、この後は河床波の波長と波高がともに増幅し、単列砂州が形成されることを確認している。

まず、通水開始前の底面と通水開始 1 分後の底面を見比べると、初期形状とは異なる微小な起伏が発生していることがわかる。この時の波長は 5 cm 程度であった。また、この時の水面を見ると、底面の起伏に対応するような波長を持つ波が発生しており、しかも、底面以上に明瞭な分布となっている。

この現象をより定量的に見るために、ST で計測した底面と水面のそれぞれを対象にした二次元波数解析を行った。その結果を図-2(a) から (c) に示す。なお、この図は 5 回の実験の平均を取っている。

まず、通水開始前の底面を見ると、どの波数も卓越していないことがわかる。一方で、通水開始 1 分後の底面を見ると、縦断波数が 20 /m 付近の卓越が確認でき、波長は 5 cm 程度である。これは図-1(b) で卓越する波長と概ね一致する。また、通水開始 1 分後の水面の波数解析結果を見ると、底面と同様の波数の卓越が確認でき、しかもその振幅の値は底面よりも大きい。このことから、底面の微小な起伏の発生は水面に由来する可能性が高い。

3. 固定床実験

前章の結果から、1 分間という短時間の通水によって、初期の底面から起伏をもつ底面及び流れが発生することがわかった。この過程において、水面と底面の起伏のどちらの発生が先行するかという機序の解明は、砂州の発生仮説に対して大きな意味を持つ。そこで、水路から砂を取り去って、固定床矩形断面の定常な水面を ST で計測した。計測手法および水理条件は前章で述べたものと同一で、定常な流れのため、計測回数は 1 回とした。

計測結果を図-1(d) に示す。これを見ると、固定床では移動床のような凹凸が底面には無いにも関わらず、水面には起伏が見られる。

Key Words: 河床波, 砂州, 水面波
〒 950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 TEL 025-262-7053

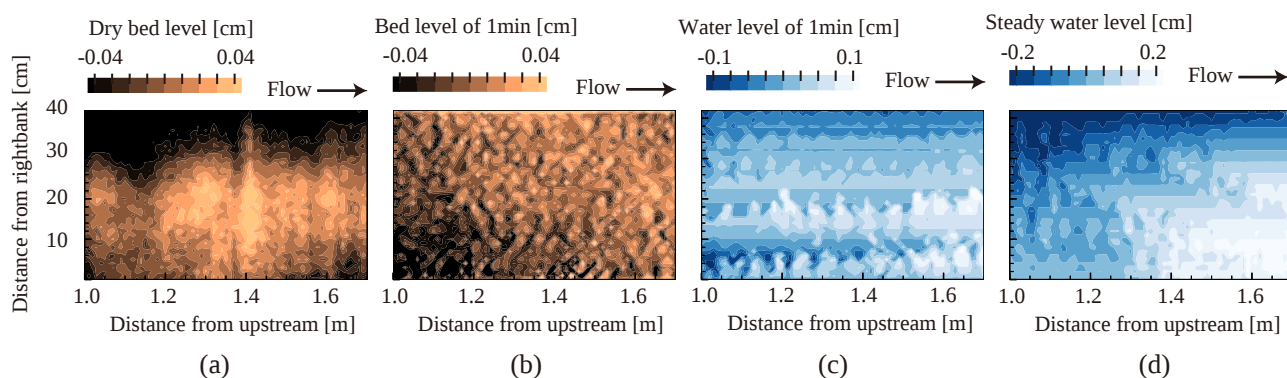


図-1 (a) から (c) は移動床実験結果。(a) 通水開始前の底面, (b) 通水開始 1 分後の底面, (c) 通水開始 1 分後の水面, (d) 固定床実験で得られた水面。

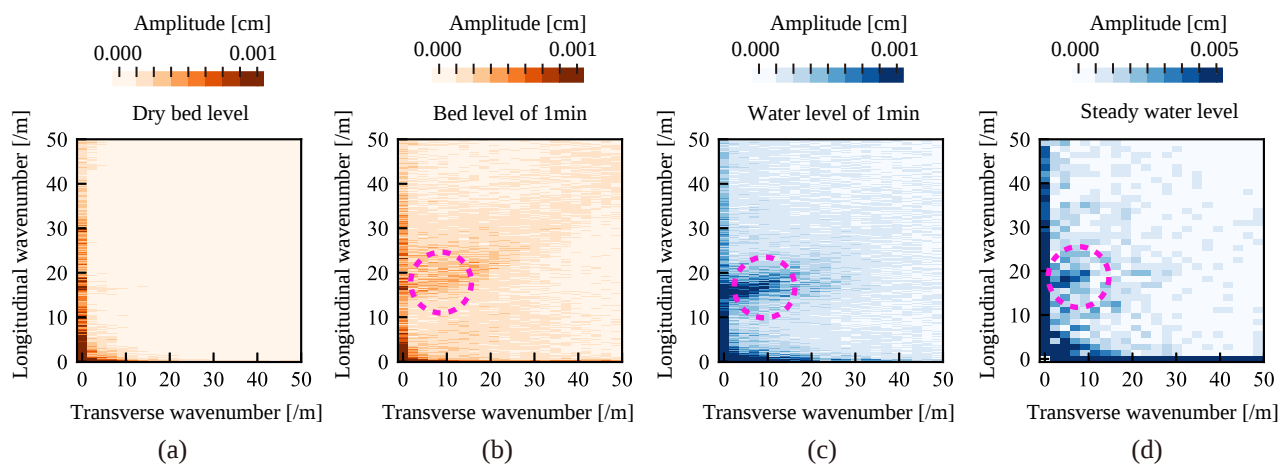


図-2 図-1 の二次元波数解析結果。記号は同一。縦・横断波数における振幅を示す。

ここで、前章と同様に二次元波数解析を行った結果を図-2(d)に示す。これを見ると、振幅はやや大きいものの、図-2(c)と同様の波数の卓越が固定床の場合でも見られる。したがって、固定床であっても水面に波が発生し、その波数は移動床の場合の通水開始直後に生じる水面波の波数と一致することがわかった。

この結果と前章の結果を合わせて考える。直立壁を擁する開水路にある一定以上のフルード数で水を流すと、水面には生来的かもしくは側壁等の何らかの物理的な境界の影響を受けてか波が発生する。移動床の場合だとその水面の分布が投影するようにして底面にも水面と同じ波数の波が発生し、その結果として河床波が発生することが推測できる。従来より砂州の発生仮説として、底面の生来的な不安定性に寄与されると考えられてきた。これに対し、本研究では、砂州の発生要因は底面ではなく水面に存在することを示唆する結果を得た。

4. おわりに

本研究では、移動床実験における水面と底面の計測結果より、通水開始直後に底面に発生する波の波数は水面波の波数と概ね一致し、しかも振幅は水面の方が大きいことを示した。この結果を受けて固定床実験を実施し、水面波を計測することで、固定床条件における水面波の波数は移動床条件における通水開始直後の水面波の波数

と概ね一致することを示した。これは、砂州の発生要因は水面にあることを示唆する結果である。

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, 土木学会論文集, 第 342 号, pp.87-96, 1984.
- 2) M. Tubino, R. Repetto, G. Zolezzi: Free bars in rivers, *Journal of Hydraulic Research*, vol.37, pp.759-775, 1999.
- 3) Y. Shimizu et al.: Advances in computational morphodynamics using the International River Interface Cooperative (iRIC) software, *Earth Surface Processes and Landforms* 45, pp.11-37, 2019.
- 4) D. Moteki, T. Murai, T. Hoshino, H. Yasuda, S. Muramatsu, and K. Hayasaka, "Capture method for digital twin of formation processes of sand bars", *Physics of Fluids* 34, 034117 (2022).
- 5) D. Moteki, S. Seki, S. Muramatsu, K. Hayasaka, and H. Yasuda, "On the occurrence of sandbars", *Physics of Fluids* 35, 016608 (2023).