

砂州の非発生条件における Péclet 数

新潟大学大学院自然科学研究科 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

細砂や礫で構成される河川の底面には、周期的な起伏形状である河床波が形成される。主に中流域に位置する河川には、河床波のうちで最も大きな砂州が発生・発達する。これまでの研究により、一定の川幅以上となると初期に与えた平坦床から砂州が自発的に発生することが解明^{1),2),3)}されているが、その物理機構の解明には至っていない。

砂州の波動論的性質に着目したモデルの一つとして、砂州の流下現象の記述に適した移流拡散方程式⁴⁾が導出されている。この方程式中における移流速度と拡散係数の比率は Péclet 数 (Pe) と呼ばれる。著者ら⁵⁾はこの Pe に着目し、 Pe に基づく砂州の発生機構についての流体力学的な説明に向け、単列砂州の発生条件における Pe を算定した。その結果として、 Pe の空間分布と砂州の幾何学形状には密接な対応関係があることがわかった。次に、 Pe の度数分布を確認し、 Pe の x 方向成分 Pe_x は砂州の形成前の段階で 0.35 を境に二峰性の分布を取ること、砂州の形成後にかけて分布が広がることを示した。また、 Pe_y では、砂州の形成前後でその値域が拡大することを確認している。一方で、実験は単列砂州の発生条件に限定して行われ、分布の変化が発生条件特有のものであるかについての議論は含んでいなかった。本研究では、砂州の非発生条件において実験を行い、発生条件との比較を行った。

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 の直線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 5 cm で敷き詰め、初期形状は平坦床として無給砂により実験を行った。

初期条件は黒木ら¹⁾の砂州の領域区分図を参考に砂州の非発生条件とした。実験条件を表-1 に示す。表中の B は水路幅、 I は底面勾配、 h_0 は等流水深、 Q は供給流量、 τ_* は無次元掃流力、 Fr はフルード数である。両条件において I は 1/300、 h_0 は 0.021 m で同一とし、 B を変数として実験を行った。通水は、無次元時間によって砂州発生

表-1: 模型実験において設定した水理条件及び通水時間

条件	$BI^{0.2}/h_0[-]$	$B[m]$	$Q[L/sec]$	$\tau_*[-]$	$Fr[-]$
非砂州	3.7	0.25	0.0017	0.057	0.694
砂州	6.8	0.45	0.0030	0.056	0.692

に十分と考えられる時刻まで行い、その時点でも底面に砂州が発生していないことを目視で確認した。

2.2 解析手法

Pe の定量化には、Ishihara and Yasuda⁴⁾によって導出された砂州スケールの底面位に関する移流拡散方程式を用いる。紙面の都合上ここでは導出や関連式については割愛する。詳しくは引用文献⁴⁾を参照されたい。同式中における M_x は河床波の縦断方向移流速度、 D は拡散係数を示し、 Pe_x は以下のように表される。

$$Pe_x = \frac{M_x}{D} L \quad (1)$$

L は代表長さを示しており、今回は h_0 とした。また、 Pe_y は M_x の代わりに河床波の横断方向移流速度 M_y を用いることで算出できる。 Pe の算出に用いる流速は、ST によって計測された底面における流速を平面二次元の浅水流解析により求めた。供給流量 Q は実験条件に合わせて定常で与え、下流端条件として計測された水位を与えた。

3 模型実験における Péclet 数

本章では ST による底面の計測結果と、数値解析により得られた流速から Pe を算出し、その空間・時間分布を調べた。図-1 は 2 条件における通水終了時の底面位、 Pe_x 、 Pe_y の平面図を示している。また、図-2 は Pe_x 、 Pe_y の度数分布を示している。

まず、底面を確認する。図-1 に示すように、非発生条件では縦筋河床が確認されたものの、通水終了まで底面に砂州は確認されなかった。また、発生条件で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ている。

次に Pe の各成分を確認する。非発生条件の Pe_x では通水前期から後期にかけて目立った分布はなかった。一方で、 Pe_y では通水後期にかけて底面に流下方向に正負が反転しながら伸びる分布が確認できた。発生条件では、底面

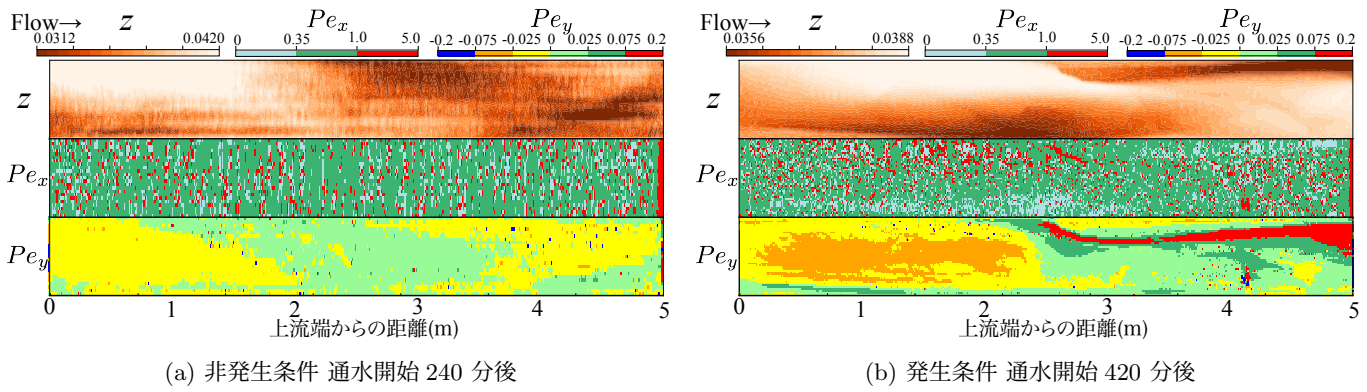


図-1: 各条件における底面位と P_{e_x} , P_{e_y}

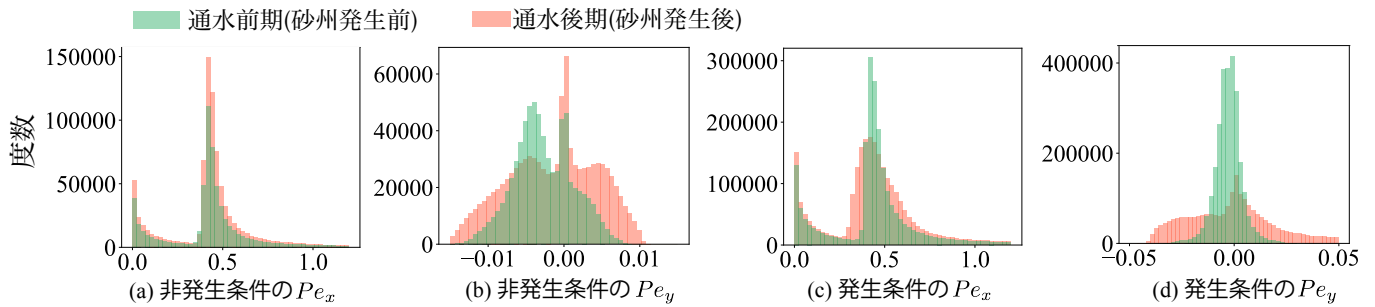


図-2: 各条件における P_e の度数分布

形状をよく反映し、 P_{e_x} は砂州の前縁部から波高が大きい地点、 P_{e_y} は砂州の側岸方向に大きな分布をとっている。

続いて、 P_e の度数分布を確認する。図-2より、非発生条件の P_{e_x} , P_{e_y} は通水前期・後期に関わらず分布は変化していない。発生条件では、砂州の発生前後で P_{e_x} の分布は広がり、 P_{e_y} では値域が広がっている。

2条件の度数分布を比較する。非発生条件の通水前後の P_{e_x} と条件2の砂州発生前の P_{e_x} の分布はほとんど同じである。また、これまでの知見と同様にどちらも二峰性であり、分布は0.35を境に変化している。非発生条件では、発生条件に見られるような通水に伴う分布の広がりはなかった。非発生条件の P_{e_x} で通水前期から後期にかけて分布に変化がなかったことは、底面形状に大きな変化がなかったことを考えれば予想通りの結果と言える。また、条件によらず0.35を境に分布が二峰性を持っていたことは、この分布が平坦床における特徴であると考えられる。つまり、通水前期の P_{e_x} の度数分布のみより、砂州の発生の説明は難しいことが推測される。

一方、 P_{e_y} では非発生条件は発生条件に比べると値域が小さく、砂州発生後に見られたような値域の拡大もなかった。つまり、通水前期における P_{e_y} の値域や値域の変化に着目することで、砂州の発生の開始時点やその時の物理量を特定できる可能性がある。

非発生条件で P_{e_y} の値域が狭いが、このことは物理的に

は横断方向への拡散の効果が大きいことを意味する。つまり、 P_{e_y} の物理的な意味である横断方向への河床波の移流が必要となることを示している。これは、砂州の発生には横断流速の寄与があるとした既往研究の結果¹⁾と一致する結果である。非発生条件において縦筋河床が確認されたことを考えると、発生条件では P_{e_y} の卓越により縦筋河床に横断方向への移流が作用し、砂州発生につながっていることが推測される。

4 終わりに

今回の結果から、砂州の発生・非発生条件にかかわらず、通水前期の P_{e_x} の度数分布は同様である一方で、 P_{e_y} の度数分布は異なることが分かった。このことは、砂州の発生・発達には河床波の横断方向への一定以上の移流が必要であることを示唆する。

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, pp.87-96, 1984.
- 2) M. Colombini, G. Seminara, M. Tubino, Finite-amplitude alternate bars, *Journal of Fluid Mechanics*, vol.181, pp.213-232, 1987.
- 3) J. Fredsøe, Meandering and braiding of rivers. *Journal of Fluid Mechanics*, vol.84, pp.609-624, 1978.
- 4) Ishihara M., Yasuda H., On the Migrating Speed of Free Alternate Bars, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol.127, Issue 10, e2021JF006485, 2022.
- 5) 住谷翼, 関翔平, 茂木大知, 安田浩保: 砂州の発生・発達の過程における Péclet 数, 土木学会論文集 B1(水工学), 2023(掲載決定).