

矩形断面水路における側壁近傍の流速分布

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 序論

砂礫河川に特有の砂州の形成を支配する変数は、線形安定解析により、川幅水深比であることが判明している(例えば¹⁾). しかし、この理由について物理的な説明はされていない。

砂州の形成の前段階においては、縦断方向と横断方向のどちらにも同程度の波長を持つ斜め交錯模様²⁾が形成される。その特徴的な三次元形状においては、無視できない規模の横断方向の流れの存在が推測される。つまり、砂州の形成機構を説明するには、横断方向の流れへの着目が必要である。開水路流れにおいて横断方向の流れを生む要因の一つに、側岸の存在が挙げられる。既往研究では、模型水路側壁は水面波を反射・伝播させる機能を備え^{3),4)}、側壁なしでは左右岸交互の配列や蛇行流は生じえないことが指摘されている^{2),5)}。また、著者らは、砂州の形成過程の初期では、側壁の存在によって水面の擾乱がまず発生し、この流れが河床波を発生させることを示唆した⁶⁾。これらの研究を踏まえると、側壁は、砂州の発生過程においては水面波の発生に寄与し、砂州の発達過程においては流水および流砂の物理的境界の役割を担うものと考えられる。しかし、上記の知見以上に、砂州の発生・発達過程における側壁の役割についてわかっていることはない。

砂州の発生過程における側壁の役割の解明の一段階として、本研究では、固定床の矩形水路において等流を形成し、その横断方向流速を高密度に計測し、この値と砂州の発生を支配する川幅水深比との相関を調べた。

2 方法

2.1 実験条件

模型水路には水路幅 45 cm、全長 12 m の FRP 製矩形断面水路を用いた。側壁のみの影響を受けた流れに着目するため、底面には何も敷設せず、滑面の FRP とした。

設定した水理条件を表-1 に示す。水理条件は黒木・岸¹⁾による領域区分図を参考に、砂州の発生条件となるように設定した。表-1 中の $BI^{0.2}/h_0$ は黒木・岸¹⁾による川幅水深比、 B は水路幅、 I は水路勾配、 h_0 は Manning の式において粗度係数 $n = 0.014 \text{ s/m}^{1/3}$ として算出した等流水深、 τ_* は無次元掃流力、 Fr は Froude 数である。上流端か

表-1 水理条件

条件	$BI^{0.2}/h_0[-]$	$\tau_*[-]$	$Fr[-]$	$I[-]$
1	11.78	0.121	1.14	1/100
2	8.33	0.075	0.83	1/200
3	6.80	0.056	0.69	1/300

らの供給流量はすべての条件で 3.0 L/s である。

2.2 計測方法

流速の計測には、MSE 社製のレーザードップラー流速計(以下、LDV)を用いた。12 m の水路のうち、流れが等流に落ち着く上流端から 7.5 m の断面を計測対象とした。この断面において、側壁近傍では 2 cm 間隔、水路中央付近では 3 cm 間隔で計測した。特徴的な水面波の流速分布を定量化するため、計測点は水面直下とし、縦断方向流速 u はデータの総数が 10000 点を超えるまで、横断方向流速 v はデータの総数が 1000 点を超えるまで計測を行った。また、 u の計測範囲は最大値を 1.0 m/s、 v の計測範囲は最大値を 0.5 m/s に設定した。 u, v ともに frequency shift はオフにして計測した。

3 結果

図-1 に LDV による計測結果を示す。なお、この時の水面では、特に勾配が急な条件 1 において、側壁から水路中央に向かって衝撃波のような波面が顕著に見られることを確認している。まず、図-1 の上段に示した縦断方向流速 u に着目する。従来の知見どおり、 u は側壁近傍で小さく水路中央付近で大きい分布となる。なお、条件 2 では、水路中央よりも左岸寄りで値が最も大きい。これは水路の若干の歪みによる流れの偏りが原因であると考えられる。

次に、図-1 の中段に示した横断方向流速 $|v|$ に着目する。本研究では、 v のオーダーに注目するために、絶対値を取った $|v|$ で議論を行う。条件によらず、 $|v|$ は断面内でほぼ一定の値を取ることがわかる。これに対し、各計測点において、 u に対してどれほどの $|v|$ が卓越しているかを調べるために $|v|/u$ を算出し、図-1 の下段に示した。これを見ると、どの条件においても $|v|/u$ の値は側壁近傍でやや大きくなるような傾向が見られた。

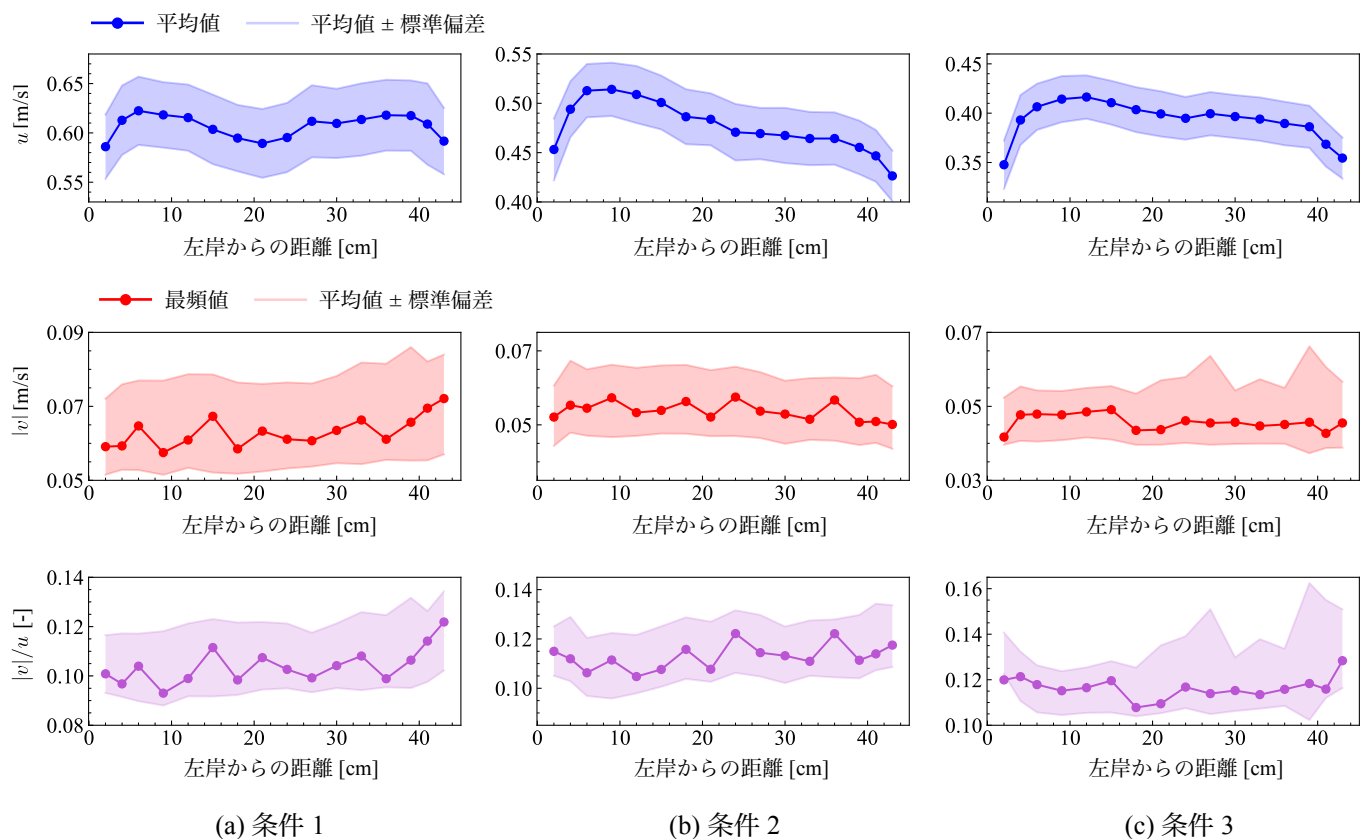


図-1 上段から u , $|v|$, $|v|/u$ を示している。 u の太線は得られたデータの時間平均値，細線は標準偏差である。 $|v|$ の太線は得られたデータをカーネル密度推定した際に最も密度が大きかったときの値，細線は標準偏差である。

4 考察

一般に，固体と液体の境界層中の流れは，物体の表面から剥がれなければならず，その時の流線は境界層から離れ，流体中へと入っていくと理解されている⁷⁾。このことを踏まえれば，側壁近傍で $|v|/u$ が大きい要因の一つとして，側壁近傍が固体と液体の境界層であるために，流線の剥がれ現象が生じていることが考えられる。本研究では，計測方法の制約上，側壁から 2 cm 離れた点から計測した。本研究の実験における境界層厚さは特定できていないが，一般に境界層は非常に薄く，今回の測定はすべて境界層外の値である可能性が高い。しかし，境界層の剥がれ現象が測定値に影響を及ぼし，その結果，流れのベクトルを水路中央方向に傾ける役割を果たしているものと考えられる。

$|v|/u$ の代表値はどの条件においても 0.10 から 0.12 程度であり， $|v|/u$ と川幅水深比との相関は見られなかった。本研究で用いた LDV は，設定値により測定値が変化する特性があるため， $|v|/u$ のオーダーの妥当性は不明である。一方で，砂州の安定解析では， v は u よりも 1 オーダー小さい値を条件によらずに仮定して解析を行うため，計測結果の一定の妥当性は担保できる。今後， $|v|/u$ と川幅水深比の相関について結論を得るために，本測定に適した LDV の設定値を特定した上で，測定データの増強が不可欠である。

5 結論

本研究では，LDV を用いて矩形水路における水面直下の流速を計測し，等流にもかかわらず無視できない規模の横断方向流速を有する可能性があることがわかった。また， $|v|/u$ は側壁近傍において大きくなる傾向が見られた。一方で，本研究の範囲においては， $|v|/u$ は条件によらず一定の値をとり，川幅水深比との相関はないことが示唆された。

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, No.342, pp.87-96, 1984.
- 2) 池田 宏: 水路における斜め交錯模様と斜行砂州の形成, 水理講演会論文集, 27 巻, pp.709-714, 1983.
- 3) 福岡 捷二, 中村 徹立, 高島英二郎, 安陪 和雄: 流下反砂堆と交互砂礫堆の形成に及ぼす衝撃波, 水路幅および側壁の影響, 水理講演会論文集, 26 巻, pp.111-116, 1982.
- 4) 福岡 捷二, 中村 徹立, 安陪 和雄, 五十嵐 崇博: 移動床流れにおける側岸の水理的役割-特に, 交互砂州の発生・伝播との関連について-, 水理講演会論文集, 27 巻, pp.681-688, 1983.
- 5) 木下 良作: 砂礫堆の実験的研究 (1) 砂礫堆の形成条件について, 新砂防, 26, pp.28-34, 1957.
- 6) S. Seki, D. Moteki, H. Yasuda: Novel hypothesis on the occurrence of sandbars, *Phys. Fluids*, 35, 2023(掲載決定).
- 7) エリ・ランダウ, イェ・リフシッツ, 竹内均 (訳): ランダウ=リフシッツ理論物理学教程, 流体力学 1, 東京図書株式会社, 1970.