

種々の河床形状における掃流砂量式の適用性の検討

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○茂木 陽平
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 BDA 研究センター 正会員 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

掃流砂量の変化量は河床変動に直結するため、掃流砂量を正確に推定することは、河道計画を整備する上で重要である。掃流砂量を評価するために、MPM 式¹⁾や芦田・道上式²⁾に代表される掃流砂量式が数多く提案されている。移動床境界面の現象は極めて複雑であるため、長らく妥当性は不明であったが、近年では計測技術の発展に伴って、その技術を活用した流砂に関する実験的な研究³⁾が行われており、流砂現象のメカニズムの解明が進められている。

実河川や模型実験では種々の河床形状が存在し、河床形状ごとに適用性が異なる可能性が考えられる。しかし、既往の掃流砂量式のそれぞれの河床形状に対する適用性については不明である。

そこで本研究では、掃流砂量式の河床形状ごとの適用性についての議論の前段階として、最も規模の大きい河床形状である砂州に着目し、模型実験で実測した砂州形状を初期河床とした移動床解析を実施した。得られた解析結果と実測の河床高に着目した比較を行い、移動床解析における流砂量の傾向について調べた。

2 模型実験と移動床解析の概要

2.1 実験条件

模型水路は全長 12 m、水路幅 45 cm の繊維強化プラスチック製水路を用いた。模型水路のうち移動床区間を上流端から 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た。通水中は給砂は行っていないが、移動床区間のうち、上流側 2 m を給砂区間とし、下流側 8 m のみを計測対象と設定することで、無給砂による影響の低減を図った。初期条件は黒木ら⁵⁾の砂州の領域区分図を参考に単列砂州の発生領域とした。本研究で扱う実験条件を表-1 に示す。表中の 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。通水時間は 125 分とし、無次元時間によって砂州発生に十分と考えられる時刻として設定した。水面位と底面位の測定には、Stream Tomography⁶⁾

表-1: 模型実験において設定した水理条件

I [-]	$BI^{0.2}/h_0$ [-]	h_0 [m]	Q [L/sec]	τ_* [-]	Fr [-]
1/143	10.5	0.016	0.0027	0.089	0.96

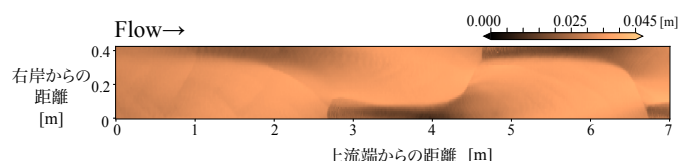


図-1: 初期河床 (t :100 分時点)

(以降、ST と表記) を用いて 1 cm^2 の分解能で 1 分ごとに計測した。

2.2 解析条件

移動床解析には、iRIC⁴⁾ に同梱される Nays2D ソルバーを使用した。初期の河床形状は、ST で計測した河床形状(図-1)とし、100 分時点の河床形状である。選定した初期河床は、砂州が十分に発達した河床形状であり、砂州の前縁部は丸みを帯びた形状となっている。

全体の計算時間は 900 秒であり、そのうち等流水深を求めるために固定床解析を 300 秒実施し、その後の 600 秒の中で移動床解析を実施した。時間ステップは、0.005 秒とした。計算範囲は縦断方向 7.00 m、横断方向に 0.42 m であり、計算格子のメッシュサイズは 1 cm とし、実測の空間分解能と一致させた。移流項の差分法には風上差分を採用し、掃流砂量式は芦田・道上式とした。その他の条件は模型実験に基づいて設定した。

3 河床高の分布の比較

3.1 河床高の変化

図-2 に解析開始時刻から 10 分後における実測・解析結果の河床形状と初期河床からの河床高の変化をそれぞれ示す。本研究では、周期境界条件の影響を除外するため、上流側 2 m を除き、下流側の 5 m のみの結果を示す。解析結果では、図-2 中の丸で示したように、砂州の前縁部の移動速度が速く、最前縁部の位置の差が 10 分間で約 50 cm 生じた。また、堆積部における河床高の減少の範囲や規模

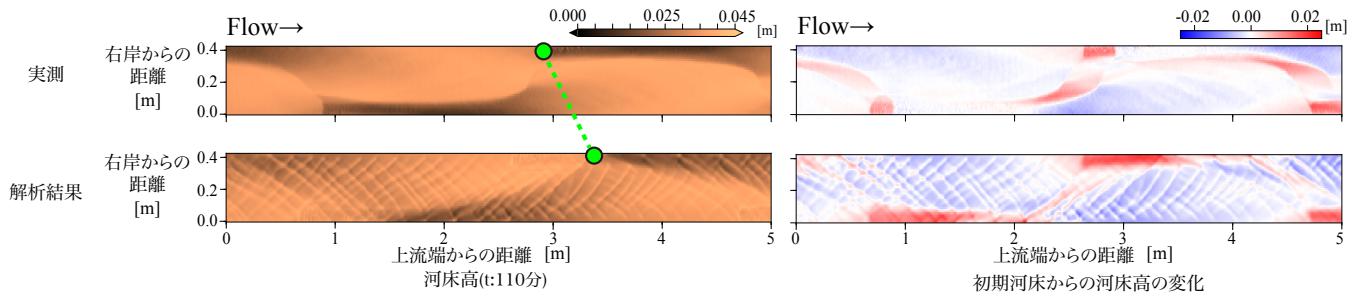


図-2: 解析開始時刻から 10 分後の河床形状と河床高の変化

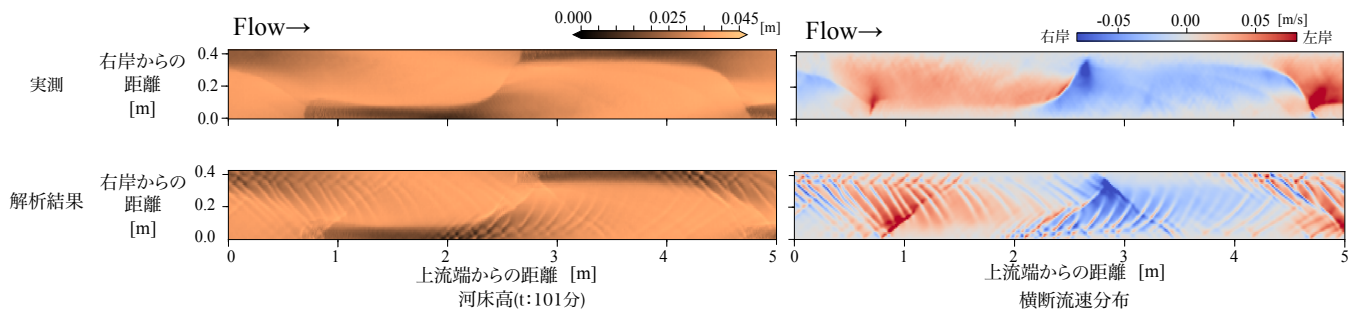


図-3: 解析開始時刻から 1 分後の河床形状と横断流速分布

が解析結果の方が大きいことから、砂州の波高が減少していることがわかる。砂州の波高が減少していることから移動床解析では既存の砂州を平滑させる作用がみとれる。

3.2 砂州形状

河床形状について着目すると、実測では砂州前縁部の丸みを帯びた形状が維持されたまま移流しているのに対して、解析結果ではより直線に近い形状に変形し移流していることがわかる。

この要因について特定するため、移動床計算開始直後である解析開始時刻から 1 分後の河床形状と横断方向流速の分布を図-3 に示す。図-3 の右上に示した実測の流速分布は、通水開始から 101 分後の河床形状を初期河床とした Nays2D の固定床解析により算出した。横断流速の分布図は、赤が左岸に向かう流速、青が右岸に向かう流速の大きさを示している。どちらの流速分布についても、砂州の最前縁部から堆積部に向かう横断方向流速が大きいことがわかる。しかし、実測の河床形状における流速分布と比べ、移動床解析における流速分布の方が堆積部に向かう横断方向流速分布の範囲が大きいことが確認できる。この横断方向流速の違いによって、移動床解析においては砂州の形状がより直線に近い形状に変化したものと考えられる。移動床解析と固定床解析で流れの基礎式とその解法は一致させているため、横断流速分布の差の原因の一つとして、流砂の連続式に組み込まれている掃流砂量式が考えられる。

4 終わりに

本研究では、砂州形状における常用される流砂関数によって算定される掃流砂量の傾向を把握することを目的とし、模型実験で実測した砂州形状を初期河床とした移動床解析を実施した。その結果、移動床解析では初期河床として与えた砂州を平滑させる傾向がみられた。今後は、模型実験で実測した平坦床や砂州の発達過程の河床形状を用い、移動床解析における砂州の発生・発達過程での掃流砂量の傾向について推定する予定である。

参考文献

- 1) E. Meyer-Peter and R. Müller: Formulas for bed load transport, 2nd Meeting, Int. Assoc. for Hydraul. Environ. Eng. and Res., 1948.
- 2) 芦田和男, 道上正規, 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第 206 号, pp.59-69, 1972.
- 3) 溝口敦子, 浮遊・掃流運動をする砂粒子速度の計測と, 粒子速度と流速分布との関係, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, I.613-I.618, 2021.
- 4) 河川シミュレーションソフト iRIC : <http://i-ric.org/>
- 5) 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.
- 6) Moteki D., Murai T., Hoshino T., Yasuda H., Muramatsu S., Hayasaka K., Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Physics of Fluids*, vol.34, 034117, 2022.