

土砂トレーサーモデルによる河岸侵食土砂の追跡計算

土木研究所 寒地土木研究所 ○岩崎 理樹・山口 里実・矢部 浩規

1. はじめに

河川の中をどのように土砂が移動しているかを知ることが、河床変動の理解のみならず、物質移動の観点からも重要な課題である。一方で、流れによって輸送される土砂の移動過程を時々刻々と観測することは今日においても未だ困難が伴い、土砂の移動は流砂量として評価されることが多いようである。また、数値計算等のモデルにおいても土砂の移動を追跡するためには、基本的に多数の土粒子の移動軌跡や分散過程をモデル化する必要があり、モデル化の難しさがある。このような土砂移動の理解やモデル化を行う上で有用な情報を提供する手法として、着色砂や IC タグを用いたトレーサー技術があげられる。トレーサーの移動を追跡することで、土砂粒子の移動拡散状況がわかりやすく理解されると同時に、これを検証データとして、従来、流れや土砂移動の結果として生じる河床変動量やある地点で測定された流砂量等との整合性を取ることで評価していたモデル上の土砂移動過程を、トレーサーの移動過程と直接比較することでより合理的に評価可能となる。本研究は、河岸侵食に伴い高水敷から河道に供給された土砂の移動過程を着色砂によって追跡した室内実験結果¹⁾を、土砂トレーサーの移動をオイラー的にモデル化した数値計算モデル²⁾によって再現計算した結果を報告するものである。

2. 計算対象と計算条件

本研究で再現計算の対象となるのは山口ら¹⁾により行われた移動床室内実験である。実験条件等の詳細は論文を参照されたいが、ここではその概要について簡単に述べる。実験は、長さ 25m、幅 3m の可傾斜水路で実施され、初期勾配を 1/100 とし、平均粒径 0.76mm の均一砂で河床を作成し、水路中央部に幅 0.45m、深さ 4cm の低水路を作成した。この初期低水路に 2.76l/s の定常流量を通水し、移動床実験を実施している。高水敷の一部の砂は、着色されており、河岸侵食に伴い河道に供給された土砂がどのように移動したかがわかるようになっている。実験結果は図 1a に示すようであり、初期低水路の拡幅が進行すると同時に交互砂州の形成によって河岸が交互に侵食し、流路形態は蛇行流路の様相を呈している。この河岸侵食によって河道に供給された土砂は、着色砂の分布からわかるように、侵食された河岸の下流に形成される砂州に大部分が取り込まれて堆積している。

この実験で見られた一連の河床変化、河岸侵食、着色砂の移動を数値計算モデルによって再現する。用いるモデルは、非定常二次元浅水流水式を平衡流砂量式と横断方向流砂量式、さらに安息角を基準とした簡易な河岸侵食モデルと組み合わせて河床変化を計算する一般的な二次元河床変動モデルを基本としている。このモデルに交換層モデルを導入することで、計算している土砂量に応じた土砂トレーサーの連続式をモデルに加え、河床変動とトレーサーの移動を同時に計算するモデルを構築した。詳細については論文²⁾を参照されたい。実験条件やトレーサー初期位置は実験と同様に設定するが、河床と河岸の変動を計算する際、現象が持つ不安定性やモデルの不確実性によって実験と全く同じ河床形状を計算することは出来ない。そこで定性的な比較を可能とするために、蛇行流路が形成され始めた程度で計測された河床形状を初期河床として計算を行うこととした。なお、トレーサー設置位置の交換層のトレーサー濃度は 100%とし、交換層厚を 2.5cm と設定している。

3. 結果とまとめ

図 1 b, c に計算開始 260 分後における表層トレーサーの分布状況と河床地形を示す。図からわかるように、計算

キーワード：土砂トレーサー、河岸侵食、数値計算

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34 土木研究所 寒地土木研究所 TEL: 011-841-1639

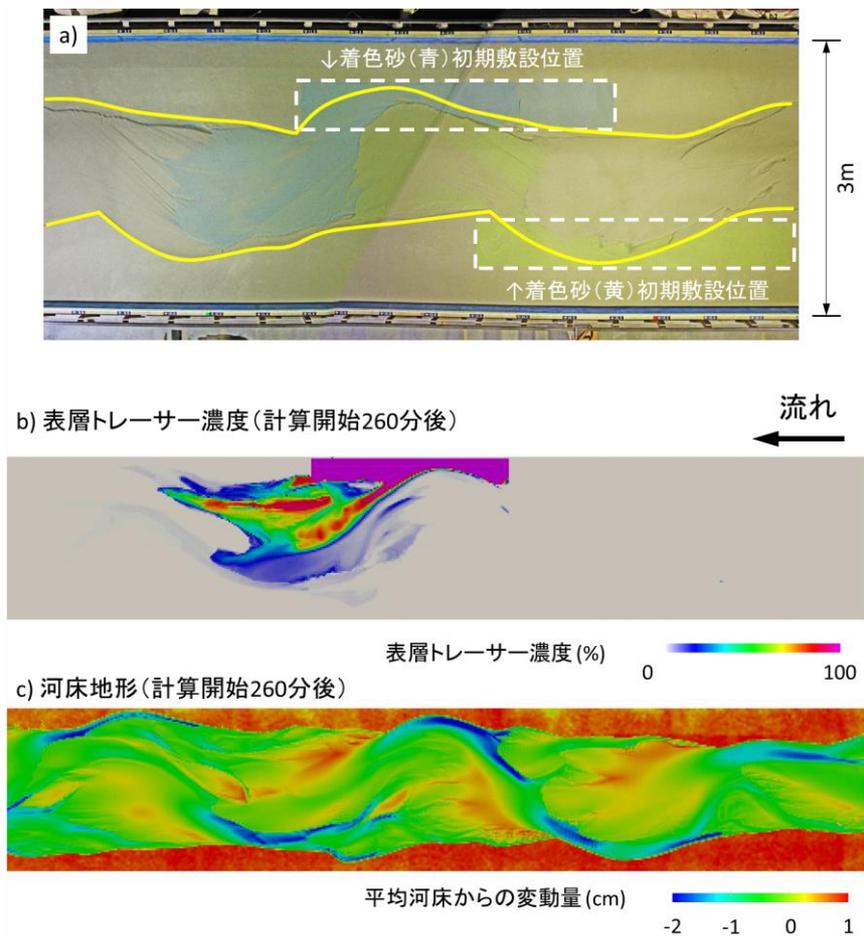


図1 a)山口ら¹⁾による実験で得られた河床変動と着色砂分布状況と, b, c)数値計算により計算された表層のトレーサー濃度分布と河床地形の様子.

された河床変動の様子は実験で見られた蛇行流路の特徴をよく再現しているだけでなく、河岸侵食によって河道内に供給された着色砂が、下流に形成される砂州付近に取り込まれている様子が矛盾無く計算されていることがわかる。一般に、ここで用いている河床変動モデルは、実験で見られた砂州や蛇行流路の形成を定性的に表現可能であることはよく知られており、そのような大局的な河床変動と土砂移動により支配される着色砂の移動と分布を本計算モデルで定性的に再現出来たことについては大きな矛盾はない。一方で、ここで用いているモデルで考慮していないトレーサーの移動特性が現象を支配する場合は、モデルの精度は低下することが予想される。そのような現象の一例としてあげられるのは、小さいスケールでの土粒子移動の不均一さに起因するトレーサーの移動分散現象である。このような土粒子の振る舞いは、乱流運動や土粒子、河床の不均一さによるものであり、ここで用いている流れ、土砂移動モデルではその様子を再現することは出来ない。これを可能にする方法としては、例えば中川・辻本等に見られる土粒子運動の確率性を内包した土砂輸送モデルを用いること等が考えられる。

今後はより実験等との比較を行いながらモデルの特性を把握し、河川内の土砂の移動過程をより合理的に表現するモデルを構築し、長期間・広領域の現象にモデルを適用していきたい。

参考文献

- 1) 山口ら：河道内の土砂動態と流路変動の関係，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.74, No.4, 2018.
- 2) 岩崎ら：Numerical simulation of large-scale bed load particle tracer advection-dispersion in rivers with free bars, J. Geophys. Res. Earth Surf., 122(4), 2017.
- 3) 中川・辻本：砂礫の運動に伴う移動床砂面の擾乱発生過程，土木学会論文集，No.291, 1979.