

土砂動態予測モデルによる河床変動過程把握技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 3

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：大串弘哉、矢部浩規、前田俊一、
川村里実、平松裕基、
山田嵩、岩崎理樹

【要旨】

近年、河川環境を改善することを目的として、河道内への土砂還元対策の一つとして置き土が実施されている。この置き土の効果は長期にわたるモニタリングなどによって評価されているものの、その効果を定量的に把握する手法は確立されていない。そこで、本研究では置き土材料を追跡する数値モデルを提案し、数値予測モデルを構築した。このモデルの妥当性を検証するため、移動床水理実験を実施し、実験時の置き土材料の広がり方をどの程度表現することができるのかを調べた。その上で、本モデルを現地の河川に適用し、実河川への適用の有効性を示した。

キーワード：土砂動態把握、置き土、予測モデルの構築、河床変動解析、移動床水理実験

1. はじめに

河川構造物などの整備によって治水安全度が高められ、その効果は着実に表れている。その一方で、土砂移動の連続性が遮られ、河道への土砂供給量が減少するなどの影響が見られる箇所もある。その結果、河床の高さの低下や、材料の粗粒化が生じている。近年、河川環境を改善するため、全国各地で河道への土砂還元を目的とした置き土などの試みが実施されている。例えば札内川では、礫河原再生の取り組みの一環として、河道攪乱を狙った置き土が実施されている¹⁾。その検討の一つとして、置き土の効果を検証するために置き土材料に追跡用の礫を混合させ、ダムからのフラッシュ放流後に礫の位置を調査した。その結果、置き土材料が移動した範囲を明確にするとともに、置き土が直下流の砂州の発達に寄与したことが示されている。このように、置き土を実施する際には、置き土された土砂が敷設箇所付近に留まってしまうのではなく、より多くの量が河道に還元されるような効果的な置き方（例えば、置き土敷設位置、土砂量、粒径）を検討することは重要である。

ただし、上述の札内川で実施されたような実河川での調査には多大な労力が必要となることなどから、数値解析によって置き土材料を追跡することができれば対策の効果を検証するに当たって有益な情報となる。しかし、一般的な河床変動解析手法では、土砂の移動過程を質点系の方程式に基づいて解くのではなく、河

床高の変動量をコントロール・ボリューム内の土砂の収支から評価している。そのため、ある地点の材料が一出水中にどの程度の距離を移動するかを表現することはできない。すなわち、水流の作用を受けて輸送される置き土材料を追跡することができず、各地点での河床の変動量と粒度分布の変化に基づいて置き土の効果の評価するほかない点が課題として挙げられる。元々の河床材料と置き土材料の粒径が異なる場合には、従来の解析手法でも粒径階毎に各地点の材料の混合比率を求めているため、出水時の材料の輸送距離を把握することができる。一方、本研究では元々の河床材料と同じ粒径の材料が河道内に供給された場合でも供給砂礫がどのように輸送されたのかを表現して数値解析する手法を開発した。

これまでに、置き土の効果に関して様々な検討が行われ、置き土による河床変動や河岸侵食などの応答に関して調べられている^{2)~6)}。土砂還元の際にはそれぞれの目的に応じた効果を得るために、供給砂礫の流下過程と河道への影響を把握することが求められる。このような観点から、置き土材料が河道内をどのように移動し、河道内にどのように広がっていくかを調べることは重要である。

このような状況に鑑み、本研究では、置き土材料の輸送過程を把握することを目的として、数値解析、及びその検証用データとなる移動床水理実験を行った。本研究の達成目標は、(1) 土砂トレーサーによる土砂



図-1 置き土材料の敷設位置：(a)、(b)は水路上方から初期河床を撮影した写真であり、それぞれ Case 1、2 に相当する。(c)、(d)は置き土の敷設位置の違いの考え方に関する概念図を示している。

動態予測モデルの開発、(2) 土砂動態予測モデルの室内実験による検証、(3) 現地河川の土砂動態を予測するモデルの確立の三つである。これらの検討により得られた主な成果について、次章以降で報告する。

2. 研究の概要

2.1 実験の概要

本実験の特徴は置き土材料に着色砂を用いることによって、その輸送状況やどこに留まっているかを明確にした点が挙げられる。このような置き土材料の広がり方に関して考察するとともに、予測モデル（詳細は後述）によって広がり方がどの程度表現できているかを把握することが本実験の目的である。なお、本研究では、実験・数値解析の両面から置き土材料を追跡することを目的としており、これ以降ではこの追跡する材料を「トレーサー粒子」と呼ぶことにする。

具体的な実験手法としては、砂州が形成された河道を対象として、その砂州と置き土の相対的な位置関係を異なる条件に設定した実験を通じて、その違いがトレーサー粒子の流送過程に与える影響に着目している。なお、実河川での置き土を考えると、河床材料と同じ粒径の土砂が敷設される例もあるが、土砂還元の目的に応じて河床材料よりも小粒径の土砂が敷設されることもある。本研究では、このように小粒径の土砂が置き土として敷設される状況を想定した実験を行った。この際、置き土の敷設位置の違いによって、着色砂の広がり方への影響について調べた。

2.1.1 装置、河床材料、水理条件

実験には、全長 43 m、幅 0.9 m、勾配 1/200 の開水路を用いた。この水路の上流端には長さ 1 m の固定床区間が設けられている。なお、水路下流端には土砂を留めるための堰（板）を設置している。

初期河床材料、置き土材料には、それぞれ粒径が 0.77、0.177 mm の東北珪砂 4 号、7 号（比重 2.65）を用いた。まず、東北珪砂 4 号を水路内に 0.1 m の厚さで平坦に敷き詰め、24 時間にわたって通水・給砂を続けることによって砂州が十分に発達した状態を作成した。なお、

このときの水理条件は、流量 $Q=8$ (L/s)、水深 $h=0.02$ (m) 程度、 $Fr=0.86$ 、 $\tau^*=0.088$ 、 $u^*=0.033$ (m/s) であり、上流端の河床高が変わらないように移動床区間上流端から東北珪砂 4 号を供給した。この条件下では、黒木・岸の中規模河床形態の区分図⁷⁾で単列砂州の領域となる。また、約 10 時間を超えた時間帯からの波長は 5.5 m、波高は 0.07 m 程度で一定の値となったことを確認している。

2.1.2 置き土敷設位置、実験ケース、計測項目

24 時間にわたる通水後の状態を初期条件として、移動床区間上流端から 20.5~21.5、28.8~29.8 m の位置に幅 0.2 m、高さ 0.01 m の置き土を敷設した。図-1 (a) は置き土敷設後の初期河床を水路上方から撮影した写真であり、上流側の置き土はピンク、下流側のものは青に砂を着色した。この状態から上述した条件と同一の水理条件下で、8 時間の通水を行った。これを Case 1 と呼ぶ。なお、実験時の観察によると、置き土材料も掃流砂として輸送されていた。その通水終了後の河床にさらに置き土を行ったのが図-1 (b) であり、上流端から 22.0~23.0 m、30.0~31.0 m の範囲に置き土を敷設した。このうち、上流側のものは Case 1 と同じ大きさで緑に着色した砂、下流側は幅のみ 0.4 m に変えた条件（すなわち、置き土の土砂量は 2 倍）で黄に着色した砂を敷設した。これを Case 2 とする。

置き土の敷設位置と砂州との相対的な位置関係の考え方を示したのが図-1 (c)、(d) である。(c) のように、砂州半波長を 3 分割し、下流側から順に青、ピンク、緑とした。なお、緑の位置は河床が最も低い位置というよりも、洗掘部から河床が徐々に上昇してくる位置となっている。黄色の場合には(d)のように、砂州との相対的な位置関係をピンクと同じ位置に敷設し、置き土量の違いが流送過程に与える影響を調べることを目的とした。なお、縮尺は現地河川の 1/70 程度と想定しているため、現地スケールでは置き土の高さは約 0.7 m を想定したことになる。また、この置き土の高さの条件下では大きく水の流れを変えておらず、置き土を敷設した影響が上下流の水流に強く及んでいないことを

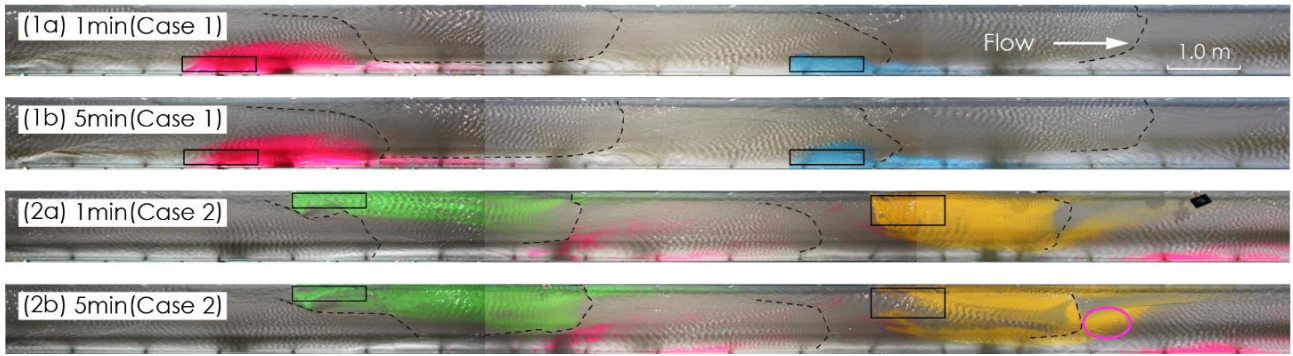


図-2 通水開始直後の置き土材料の広がり方：水路上方から撮影した実験結果

実験時に確認している。

通水中には、トレーサー粒子の流送過程を把握するために、1分おきに水路上方から写真撮影（移動床区間上流端から18.4～35.4 m）を行った。通水終了後には、3D スキャナー（STONEX 社製）とレーザー砂面計（株）ジャコム社製）を用いて河床高を計測した。

2.2 解析の概要

2.2.1 材料を追跡するモデルの開発

一般的な河床変動解析では河床材料と同じ粒径の土砂が河道内に供給された条件下では二つを分けて取り扱うことはない。本研究では粒径別の体積保存則と同様に、計算メッシュ内の流入量と流出量に基づき、トレーサー粒子に関する体積保存則から以下の式を導いた。

$$(1-\lambda) \left(L_a \frac{\partial f_a}{\partial t} + f_l \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) = - \frac{\partial q_{bx} f_a}{\partial x} - \frac{\partial q_{by} f_a}{\partial y} \quad (1)$$

ここで、 λ ：空隙率（=0.4）、 L_a ：交換層厚、 f_a ：交換層内のトレーサー粒子の混合比率、 f_l ：交換層と遷移層の間のトレーサー粒子の混合比率、 f_t ：遷移層内のトレーサー粒子の混合比率、 η ：河床高、 q_{bx} 、 q_{by} ： x 、 y 方向の単位幅流砂量である。 f_l は河床上昇時は交換層内の比率 f_a 、河床低下時は遷移層内の比率 f_t となる。本研究でも一般的な河床変動解析と同様に、河床を鉛直方向に交換層、遷移層、堆積層に分けており、このそれぞれの層内でトレーサー粒子も含めた各粒径の材料の体積保存の関係が満たされるような計算を行った。混合粒径河床を対象とした場合には式(1)がそのまま粒径別の体積保存則となり、それらを全粒径階で加え合わせたものが河床変動量となる。

2.2.2 計算条件

計算は iRIC Nays 2DH(<https://i-ric.org/>)上で行っており、前項で説明したトレーサー粒子の追跡モデルを加える形で数値解析を行った。計算に用いた基礎式は、

流れに関しては非定常の平面二次元浅水流方程式を一般座標系で解いており、流砂量は有効掃流力を考慮した芦田・道上の式⁸⁾、掃流砂量ベクトルは渡邊の式⁹⁾、河床変動量は Exner の式、二次流による河床近傍流速の算定には Engelund の式¹⁰⁾、混合粒径河床の遮蔽効果には浅田の式¹¹⁾を用いている。

数値解析のメッシュは一辺が 0.05 m の正方形とし、これ以外の条件は実験条件を可能な限り忠実に反映するよう設定した。粗度高さ k_s は水位の計測結果を参考として粒径 $D = 0.77$ (mm) の 2.5 倍に設定した。粗度係数は Manning-Strickler の式に基づいて $n = 0.015$ とした。また、縦横断方向に安息角を超える斜面が現れる場合には、瞬時に安息角をもつ斜面となるような簡便なモデルを用いている。このとき、崩落した部分に含まれるトレーサー粒子も体積保存の関係を満たすような計算を行った。なお、上下流端の流れの計算は等流条件、上流端の土砂供給量は動的平衡を維持する量とした。

3. 移動床実験の結果

3.1 通水直後の置き土材料の広がり方

図-2 は水路上方から撮影された写真であり、(1a)、(1b)は Case 1 の通水開始 1 分後、5 分後、(2a)、(2b)は Case 2 の 1 分後、5 分後を表している。なお、図中の黒色の長方形は通水開始時の置き土敷設位置、破線は砂州前縁線位置を示している。まず、青色の置き土の場合には、流下方向にまっすぐ流下していることが図-2(1a)、(1b)からわかる。その結果、青の置き土は河道に着色砂が広がるというよりも、直下流に位置する洗掘部に堆積する傾向が強く現れた。ピンクの場合には、青とは異なり水路中央部付近まで横断方向に広がっていることがわかる。しかし、通水開始 5 分後時点では未だ砂州全体には色がついていないことから、置き土の影響範囲はそれほど広くないと言える。

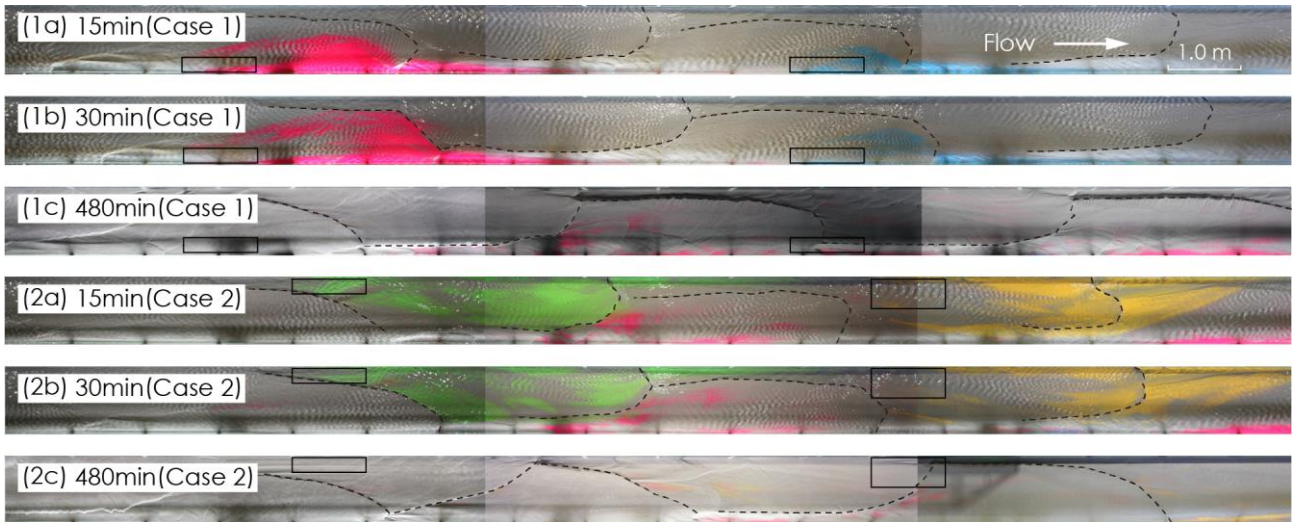


図-3 通水開始 5 分後以降の置き土材料の広がり方：水路上方から撮影



図-4 通水終了後の河床の断面：(a)は水路側方から、(b)、(c)は横断面を撮影したものである。

次に、図-2(2a)、(2b)を見ると、緑色の置き土の場合には、青やピンクの場合よりも河道に広がりやすくなっていることがわかる。1 分後の横断方向に広がっている幅を見ると、ピンクと緑で顕著な違いはなかった。しかし、(2b)を見ると、緑の置き土の 5 分後では、トレーサー粒子が砂州全体に広がっている様子が見取れる。一方で、青やピンクの場合には 1 分後と 5 分後の間の広がり方にはほとんど違いが見られず、河道内に最も広がりやすい位置関係としては緑、すなわち砂州前縁線に沿った洗掘部付近に敷設した条件であったことがわかる。秋山・渡邊⁹⁾の実験でも、砂州前縁線に沿った洗掘部のうち上流側半分に置き土を敷設した場合が最も河道攪乱が大きくなっており、本実験の中で最も近いのが緑の場合である。そのため、彼らの結果と整合の取れたものが得られたことになる。

黄色の場合には、砂州との位置関係をピンクと同じにしているものの、土砂量は 2 倍となっている。そのため、1 分後には砂州全体が黄色になっていることがわかる。また、黄色以外の場合を見ると、置き土を敷設した砂州とその直下の洗掘部には色がついているものの、その他の部分にはトレーサー粒子は広がっていない。しかし、黄色の場合には、例えば図-2(2b)中のピンクの丸印で示された箇所のように砂州前縁線の下流側にも輸送されていることがわかる。このように、置き土量を大きくすると、緑の場合よりもさらに河道内に広がっていることが確認された。

3.2 長期的な広がり方の傾向

図-3(1a)～(1c)は Case 1、(2a)～(2c)は Case 2 であり、(1a)、(2a)は 15 分後、(1b)、(2b)は 30 分後、(1c)、(2c)は通水終了後に当たる 480 分後に撮影されたものである。ピンクは 15 分時点では砂州全面に広がっていないものの、30 分では砂州前縁線まで色がついていることがわかる。この 30 分の砂州と黒枠で囲まれたピンクの敷設位置との相対的な関係に注目してみると、緑と概ね同じになっている。このように、通水を継続していくと、ピンクの位置に敷設しても、砂州が下流側へ移動することによって、着色砂が河道内に広がったことがわかった。

次に、河床の鉛直方向の層構造について述べる。通水終了後の河床を表したのが図-4 である。(a)は水路側方から、(b)、(c)は河床横断面を撮影したものである。(a)の砂州前縁線に当たる赤色の矢印部分では、河床材料が輸送されてきて約 35° の水中安息角を超えると斜面が崩れることによって前縁線が前進していた。一方で、トレーサー粒子には元々の河床材料より小粒径の材料を用いているため、緑色の矢印で示している洗掘部の河床表面に薄く堆積した。この着色砂が薄く堆積した層の上方に、元々の河床材料が多く含まれた砂州が前進してくることによって、赤色の矢印より上流側(写真中では左側)には、写真中の高さ方向中央部付近に着色砂の層で形成された線状のものが見える。

赤矢印より上流側の横断面を撮影したのが(b)、緑矢

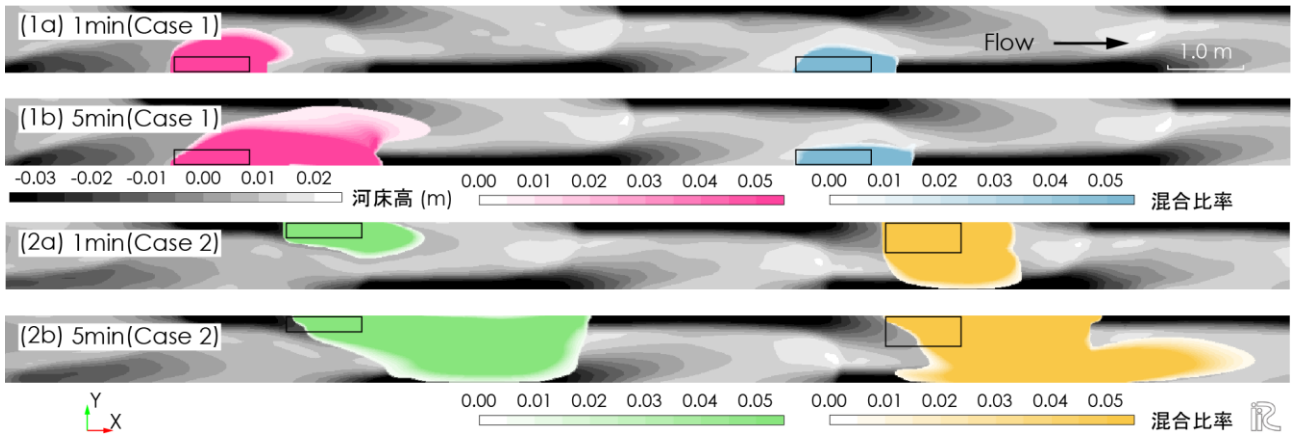


図-5 数値解析による通水開始直後の置き土材料の広がり方

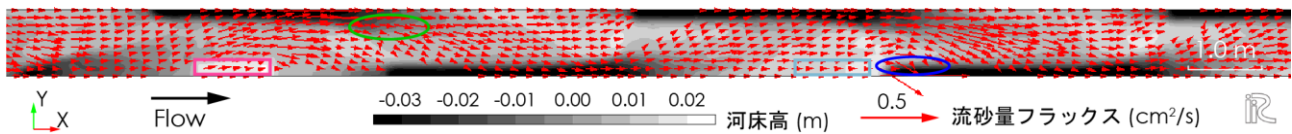


図-6 流砂量フラックスベクトルの平面分布：Case 1 の通水開始 1 分後（数値解析）

印の直下流で撮影したのが(c)である。これらの写真の右端は右岸、左端は水路中央となる。これらの写真を見ると、着色砂の層は水路中央で高く、側壁付近で低くなっている様子が確認できる。(c)の写真のように、水路側壁付近では洗掘部が現れる一方で、水路中央部の河床は相対的に高いままとまっている。そのため、水路中央部では河床表層のみにしか着色砂の層が残らなかったと考えられる。竹林ら¹²⁾は、砂州と砂礫の分級現象の関係を調べた結果、大きな砂礫が砂州の高い部分から前縁線までに広がっており、小粒径の砂礫は洗掘部に堆積する傾向を指摘している。本実験の結果はこれと整合の取れた結果であると言える。

本実験での縮尺を考慮してフルード相似則を用いると、砂州全体に色がついた 0.5 時間は 4 時間に相当するため、一洪水中でも生じる現象である。一方で、各 Case の通水時間は 67 時間に相当するため、複数回にわたって洪水を受けた状況を想定したことになる。本実験の通水時間のように長時間にわたって通水を受けると、着色砂の平面的な分布には大きな影響は見受けられなかった。

4. 数値解析の結果

4.1 通水直後の置き土材料の広がり方

図-5 は数値解析の結果であり、それぞれの図の並びは図-2 に対応している。この図は河床高コンターの上にトレーサー粒子の混合比率を重ね合わせたものである。河床高コンターは標高が低くなるにつれて黒に近

づくようにしており、光が当たったときに影になって暗くなるイメージを模している。河床高コンターの上に重ね合わせているトレーサー粒子の混合比率は交換層内の値を示しており、それぞれの色は実験時のトレーサー粒子の色と一致させている。なお、Case 1 の計算終了時の情報を引き継いだホットスタート機能を用いて Case 2 の解析を行ったわけではないため、ピンクや青のトレーサー粒子の広がり方までは Case 2 では計算していない。

図-2 と図-5 を比較すると、1 分後では数値解析の方がトレーサー粒子の広がり方は遅い傾向が見られるものの、5 分後では広がり方が概ね一致していることがわかる。具体的には、ピンクは砂州全体が色づいておらず、緑と黄は砂州全面にトレーサー粒子が広がっていることに加えて、黄の場合には黄の砂州前縁線の下流側にもトレーサー粒子が輸送されていることが一致している点として挙げられる。

このような広がり方となった要因を数値解析による流砂量ベクトルに基づいて考察する。図-6 は Case 1 の 1 分後の河床高コンターに流砂量フラックスベクトルを重ね合わせたものである。なお、この流砂量は元々の河床材料とトレーサー粒子の合計値を示している。また、図中のピンクと水色の長方形は通水開始時の置き土の敷設位置を示している。

この図を見ると、側壁付近の砂州前縁線では洗掘部に向かって土砂移動が生じていること(図中の青の丸)、ならびに洗掘部から徐々に河床が高くなっていく位置

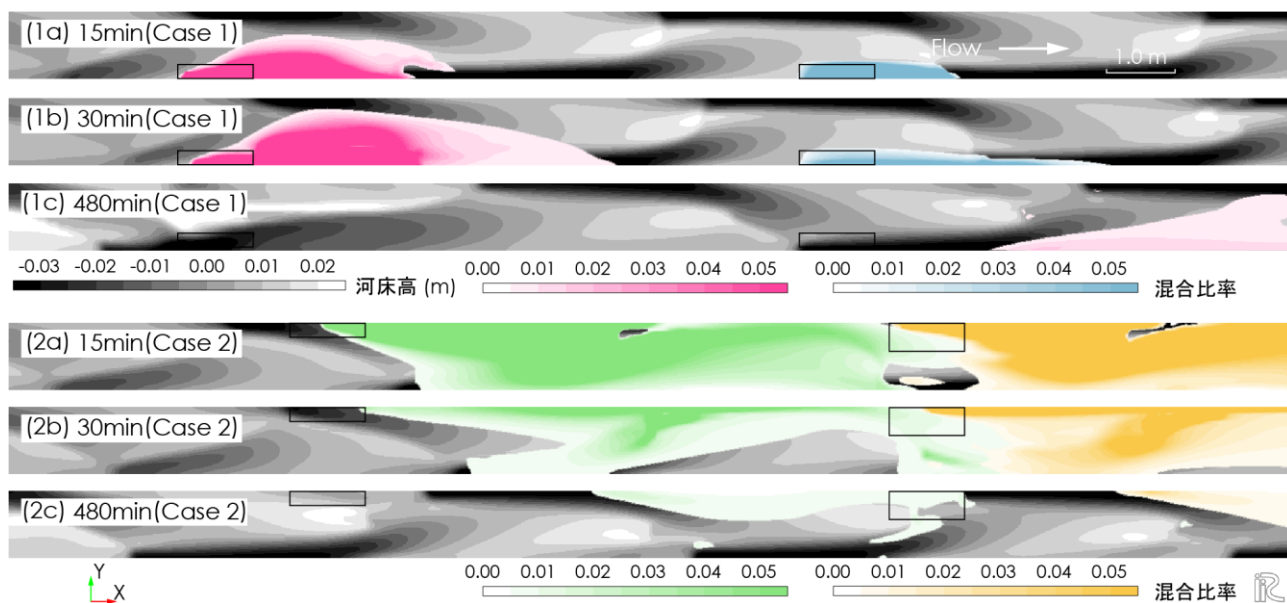


図-7 数値解析による通水開始 5 分後以降の置き土材料の広がり方

(緑の丸)では斜め方向の流砂量成分があることなどがわかる。また、この斜め方向成分の流砂量は側壁付近よりも横断方向中央部の方が大きくなっている。そのため、水路中央部付近まで材料が敷設されている黄色の置き土の場合に最も河道内に材料が広がることになったと推察される。また、砂州前縁線付近では洗掘部に向かって土砂が移動しているため、本実験でも青色の置き土は洗掘部に堆積する結果となったと考えられる。なお、矢野ら¹³⁾は本実験と同じ水路を用いて砂州上の流れを PIV 解析により計測した。このときに得られた流速ベクトルの傾向と図-6で得られた傾向は一致しており、上記の考察を裏付ける結果となっている。

4.2 長期的な広がり方の傾向

数値解析結果の 15 分以降のトレーサー粒子の広がり方を見てみる。図-7 は、図-3 に対応する時刻のトレーサー粒子の広がり方を表している。色の凡例に関しては図-5 と同様である。(1a)を見るとピンクの置き土は砂州全体には広がっていないものの、(1b)では砂州全体がピンクに色づいていることがわかる。また、(1b)の青に注目すると洗掘部に堆積していた。以上のように、トレーサー粒子の広がり方が概ね再現されていることがわかった。

Case 2 に注目すると、黄色に関しても数値解析の結果は実験結果を良好に再現していることが見て取れる。一方で、実験結果を示している図-3 では緑のトレーサー粒子は置き土を敷設した砂州とその直下の洗掘部に堆積しているのみであるものの、数値解析結果では置き土敷設砂州の 1 つ下流側の砂州にもトレーサー粒

子が広がっている様子が見られる。この要因としては、数値解析による砂州の移動速度が実験よりも速くなっていることが挙げられる。砂州の移動速度を過大評価してしまった一因は、標高値をマッピングする際に砂州波高が過小評価されてしまったためと推察している。具体的には、計測された河床標高は横断方向には 5 mm 毎、縦断方向には 100 mm 毎にデータが取得されているものの、数値解析を行う際には 50 mm 四方のメッシュに対して 1 つの標高値を入力値としてデータをマッピングするため、実際の地形の詳細な標高データよりも粗くなってしまう。このような問題は残されているものの、トレーサー粒子の広がり方の傾向は概ね捉えられているものと考えている。

5. 現地の河川への予測モデルの適用

本予測モデルを現地の河川に適用した結果について説明する。以下の二点の理由から札内川を対象とした数値解析を実施した。一つ目は、1 章で説明したように、札内川では、GPS を埋め込んだ礫や元々の河床材料には存在しない黒色の礫などを置き土材料に混合し、フラッシュ放流を実施し、放流後にその材料がどこまで移動したかを調査するという貴重なデータを集めていることが挙げられる。二つ目は、一般的には地形計測を詳細に行うとしても、LP データのみの計測結果しかない例が多いものの、LP データでは水面下の河床高が正確に計測できない。一方で、札内川の本対象区間では低水路内の河床高がレベルなどにより測量されており、水面下の河床高についても信頼の高いデータが

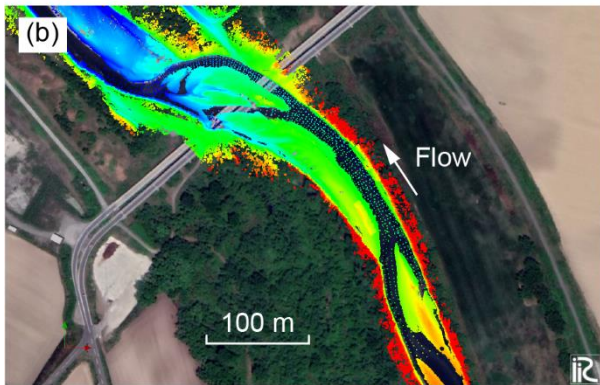
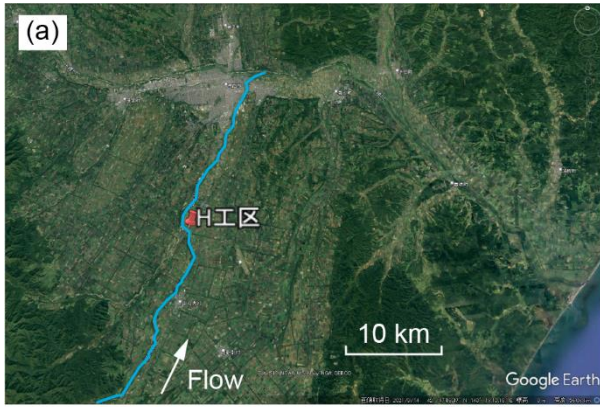


図-8 数値解析の対象区間（Google Earth より引用）

得られている。通常の出水時にはその直前と直後に測量データを集めることは難しいと考えられるが、フラッシュ放流時には直前と直後で詳細な様々なデータを集めることが可能であるため、実河川で大規模な実験を実施したことに近いデータが存在する。

解析の対象としては図-8 (a)に示す礫河原再生の H 工区の箇所とし、この区間を拡大したのが(b)である。(b)の図中で低水路内にプロットが見えるものがレベルなどによる計測値である。この初期河床高を用いて数値解析を行った。計算の条件などの概要は 2.2.2 と概ね同様であり、異なる点としてはメッシュが一辺 1m、河床材料の平均粒径が 70mm 程度、粗度係数は Manning-Strickler の式に基づいて $n = 0.031$ ということが挙げられ、検討対象期間は 2015 年 6 月 23 日 9 時から 24 時までである。この期間の流量ヒドログラフを図-9 に示し、図中の赤色に塗られた部分の時間帯を対象に解析を行った。

上記の条件下で解析を行った結果を示したのが図-10 である。(a)は初期状態（2015 年 6 月 23 日 9 時）、(b)はピーク流量付近まで流量が上昇した 3 時間後（2015 年 6 月 23 日 12 時）、(c)はピーク流量に到達した 8 時間後（2015 年 6 月 23 日 17 時）の置き土材料の広がり方を示したものである。これを見ると、置き

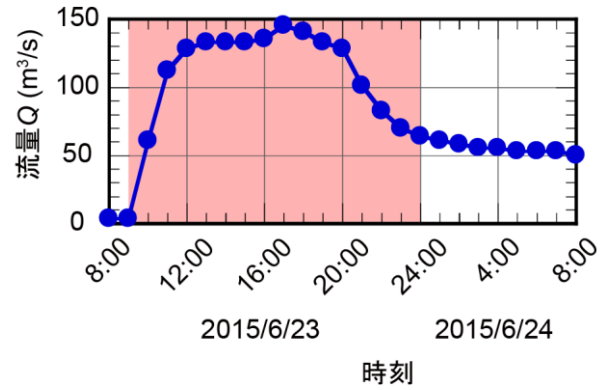


図-9 解析対象期間の流量ヒドログラフ

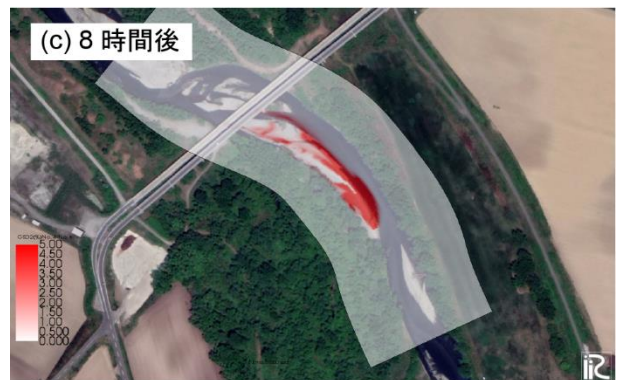
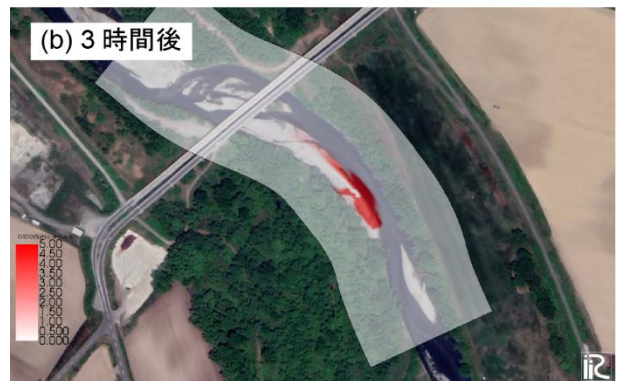


図-10 時間経過に伴う置き土材料の広がり方

土材料が下流側に輸送されていく状況を把握することができる。

図-11 は、移動した礫の位置に関して数値解析結果

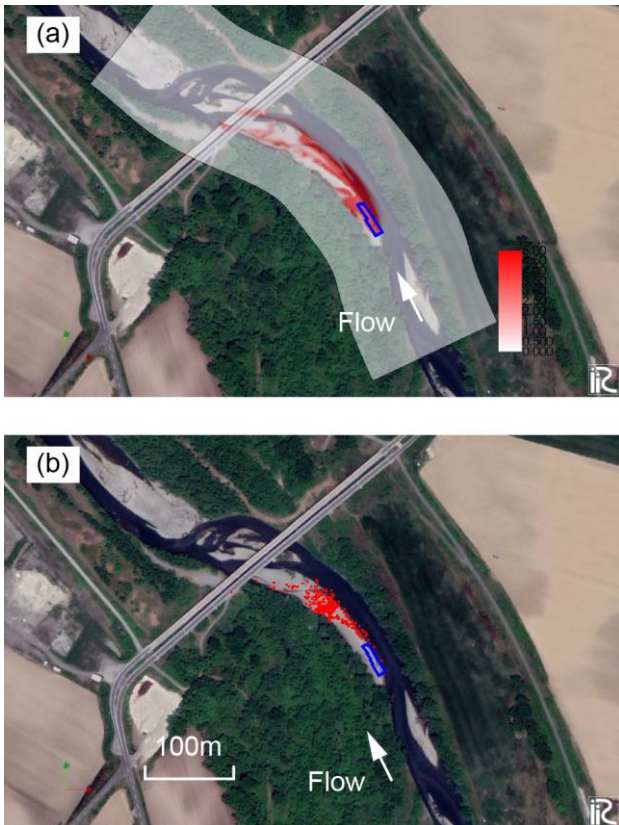


図-11 移動した礫の移動範囲の比較：(a) 計算終了時の数値解析結果、(b) 現地での礫の移動追跡調査結果

と現地調査結果の比較を行ったものであり、(a)は計算終了時の輸送状況、(b)は現地調査の結果に基づいて移動した礫の位置を図示したものであり、青線で囲われた部分は置き土が敷設された位置を示している。なお、フラッシュ放流後に現地視察を行ったところ、置き土材料の全てが輸送されたわけではなく、一部の材料は取り残されていた。しかし、現地調査の結果に基づいた(b)の図中には、移動せずに取り残された材料の位置は反映されていない。そのため、数値解析の方が敷設位置に材料が留まっているように見えるが、必ずしもそうではない。この二つの図を比べると、移動した礫が橋付近まで移動しているという点で移動範囲が概ね一致していることが見て取れる。

以上より、室内実験規模の現象の再現性だけでなく、現地河川に本予測モデルを適用した際にも妥当な結果が得られることがわかった。

6. まとめ

本研究では河道内に還元された土砂の輸送過程を把握することを目的とした検討を実施した。得られた主

な成果を以下に記してまとめとする。

- 1) 従来の河床変動解析では、河床材料と置き土材料の粒径が同じ場合には、置き土材料の輸送過程を表現することができなかった。そこで、本研究では置き土材料の移動状況を予測・可視化できるモデルを開発した。
- 2) このモデルの妥当性の検証をするため移動床水理実験を実施し、これと同一の水理条件下で本予測モデルによる数値解析を行った。その結果、置き土材料が下流側に輸送される過程を再現することができた。
- 3) これらの検討を踏まえて、現地河川に本予測モデルを適用し、実河川においてもモデルの有効性が確認された。

総合土砂管理の取り組みを実施している実河川では、置き土が長期間にわたって継続的に実施されており、土砂還元による下流河道への影響などの把握のための調査、検討が行われている。この置き土の移動範囲や影響範囲を調べるため、本予測モデルが用いられている。

本技術の今後の活用の可能性としては、本モデルは置き土材料の輸送過程の把握のみに限らず、ダム排砂や出水時における河道内の土砂輸送状況（例えば、ある砂州上の土砂の輸送状況）を把握することにも応用できる。

また、平成 28 年 8 月北海道豪雨では大量の土砂が山地部で生産されている。本モデルは、生産された土砂が下流に及ぼす影響を評価することや、安全かつ適切に下流域に生産された土砂を流下させるための評価技術にも応用することができる。

参考文献

- 1) 高橋輝好、法村賢一、横濱秀明：札内川における礫河原再生の取り組みについて、第 59 回北海道開発技術研究発表会、環 16、2015。
- 2) 濱木道大、岩崎理樹、井上卓也、佐藤大介、サムナー圭希、清水康行：着色流砂実験によるトレーサーの移動分散現象に関する実験と数値計算、土木学会論文集、B1(水工学)、Vol.74、No.4、pp.I_1033-I_1038、2018。
- 3) 濱木道大、岩崎理樹、井上卓也、清水康行：土砂トレーサーの鉛直方向の分散を考慮した数値計算、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.74、No.5、pp.I_955-960、2018。
- 4) 岩崎理樹、Gary Parker、清水康行：自由砂州の影響を受けるトレーサーの移動分散に関する数値計算、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.71、No.4、pp.I_877-I_882、2015。

- 5) 秋山瑤貴、渡邊康玄：砂州による河道攪乱に着目した効果的な置土位置の検討、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.74、No.5、pp.I_379-I_384、2018.
- 6) 櫻井寿之、福島雅紀、箱石憲昭：置土侵食過程の実験及び現地観測による考察、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.67、No.4、pp.I_805-I_810、2011.
- 7) 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、第 342 号、pp.87-96、1984.
- 8) 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、土木学会論文報告集、第 206 号、pp.59-69、1972.
- 9) 渡邊明英、福岡捷二、安竹悠、川口広司：河道湾曲部における河床変動を抑制する樹木群水制の配置方法、河川技術論文集、第 7 巻、pp.285-290、2001.
- 10) Engelund, F.: Flow and Bed Topography in Channel Bend, Jour. of Hydr. Div., ASCE, Vol.100. HY11, pp.1631-1648, 1974.
- 11) 浅田宏、石川晴雄：水流による河床砂礫の分級機構に関する研究(III)、電力中央研究所報告、第 71015 号、1972.
- 12) 竹林洋史、江頭進治、金海生：交互砂州河床上の流砂と砂礫の分級、水工学論文集、第 41 巻、pp.895-900、1997.
- 13) 矢野雅昭、渡邊康玄、井上卓也、山口里実、渡邊和好、平井康幸：岩河床河川における覆礫厚が自由砂州形状に及ぼす影響、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.71、No.4、pp.I_1003-I_1008、2015.

A STUDY ON RIVERBED EVOLUTION PROCESS UNDERSTANDING BY SEDIMENT TRANSPORT PREDICTION MODEL

Research Period: FY2018-2021

Research Team: River Engineering Research Team,
Cold-Region Hydraulic and
Aquatic Environment Engineering
Research Group

Author: OGUSHI Hiroya,
YABE Hiroki
MAEDA Shunichi
KAWAMURA Satomi
HIRAMATSU Yuki
YAMADA Takashi
IWASAKI Toshiki

Abstract: In recent years, sediment has been supplied into the river channel in order to improve river environment. A method for quantitatively evaluating the effect has not been established. In this study, we developed a numerical prediction model that tracks the sediment. Laboratory-scale experiments were conducted in order to verify the validity of this model. We also applied to actual rivers, and our results shown the effectiveness of application to actual rivers.

Keywords: Sediment transport, In-Channel Sediment Supply, Numerical Simulation, Laboratory-Scale Experiment