

# 礫床中小河川における浮遊砂堆積モデルの検討

愛知工業大学 正会員 ○赤堀 良介

## 1. はじめに

礫床河川中流部において、砂州や河岸の切り下げ後に河道内に進出した草本が細粒土砂の堆積を促し、数年の期間で川幅の縮小を生じる事例が知られている。このような改修後の裸地における微視的な観測から、水際との相対的な位置に近い方から砂分の堆積による自然堤防帯状の微高地が形成され、河岸に向けて離れた低い領域ではシルト分以下の粒径の細粒分が堆積する傾向が示されてきた。水際の微高地上の草本域における堆積土砂の観測より、個々の植生パッチにおける流速の急減が水平方向の浮遊砂濃度フラックス収支の不均衡を生じ、それによる砂分の堆積が生じたことが推察された。本研究では上記のフラックスの考察に基づき浮遊砂堆積量を算出するモデルを提案し、現地観測結果との比較を行った。

## 2. 対象地点と現地観測手法

本研究では、愛知県長久手市内を流れる香流川の「公園西駅」周辺を対象とした。香流川は庄内川2次支川であり、隣接する商業施設の開発と合わせて河道改修が進められてきた(2017年度~2020年度)。該当区間は勾配 1/200、河床幅 8m、深さ 3m 程度の単断面河道である。改修前に草本主体の植生が進出した状態にあったが、改修後は横断方向には平坦な裸地が形成され、30m ごとに石積み型の横断工が設置された。その後河道内の砂州上の微高地に植生が進出し、砂分を主体とした土砂堆積が進行した。

河道改修後の微高地の形成過程については、ポール設置型のカメラによる高所撮影画像に対して Structure from Motion-Multi View Stereo を適用することで、植生頂部を含む表面標高モデルである Digital Surface Model (DSM)を作成して検討した。なお地盤高の変化量の取得については RTK-GNSS 測位 (Sokkia 製, GCX3) を適用した。2018 年以降、各年 3 回程度の観測し、ここでは 2018 年 5 月 16 日、2018 年 10 月 10 日、2019 年 11 月 7 日の結果を用いた。

## 3. 解析手法

一般的な平面2次元を対象とした浮遊砂堆積量は、平衡状態における浮遊砂巻き上げ量と、移流拡散で輸送される浮遊砂の水深平均濃度  $C$  から計算される底面近傍濃度  $C_a$  に基づく沈降量との鉛直方向フラックス差により算出される。この手法については平面2次元における時空間的な  $C$  の分布が精密に評価されることから、例えば出水イベント前後における置き砂の動態を検討する場合など、高濃度の浮遊砂ソースを有する短期間の浮遊砂動態の検討には合理性を有すると考えられる。一方で浮遊砂濃度の移流拡散を解くにあたって必要となる流速等の水理量については、浅水流方程式を安定して解くための時空間的な解像度での計算が必要となるなど、数年にわたっての植生域での堆積量の算出といった検討に用いるには適していない。そこで本研究では既往の知見<sup>1)</sup>に基づいて水没条件下の植生付近での水平方向フラックス濃度の差分により浮遊砂堆積量を算出することを試みた。先に示した一般的な移流拡散に基づく浮遊砂堆積の計算と比較した場合の利点として、浮遊砂の堆積量が平均的な流れ場の構造のみに依存して算出可能であることから、定常解的な流れの情報に基づいて時間的に積分するのみで全期間にわたっての堆積量の算出が可能な点が挙げられる。

本研究では図-1 に示す概念図に基づいて水平方向の浮遊砂濃度フラックス量の差から堆積量を算出した。図-1 は既往研究<sup>1)</sup>で示された局所的な水没植生域の上流側および植生域内における流速と浮遊砂濃度の鉛直方向分布を示した模式図となる。この結果では、浮遊砂濃度分布は上流側裸地域と同等の分布を植生域内でも保持するが、流速の分布は植生域内において抗力の影響で急激にその鉛直方向分布を変化させる傾向が見られた。この場合は植生頂部高さ以下の領域で急速に減速が掛かることから、水平方向の浮遊砂濃度フラックスで見た場合に流入側のフ

キーワード 浮遊砂, 植生, 現地観測, 数値解析

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247

愛知工業大学工学部土木工学科 TEL 0565-48-8121

ラックスが卓越する。この推測に基づき、簡易な土砂堆積速度の算出法を提案した。まず浮遊砂濃度の鉛直方向分布について、植生域上流側の水理量に依存したラウス分布型の形状が植生域内でも継続すると仮定した。この場合、植生域上流端側の流速と浮遊砂濃度を掛け合わせた浮遊砂フラックスの鉛直方向積分値と、同じく植生域下流端側の浮遊砂フラックス積分値の比較では、上流側の値が卓越する。この浮遊砂濃度フラックスの差がそのまま領域内にトラップされるとし、この差を計算格子面積で除すことで植生域の1セル内の堆積速度であると見なし、浮遊砂の連続式である式(1)から堆積速度を算出する。ここで、 $x$ は流下方向座標、 $y$ は横断方向座標、 $u$ は流下方向流速、 $v$ は横断方向流速、 $C$ は浮遊砂濃度、 $z$ は河床高、 $t$ は時間、 $\lambda$ は間隙率である。

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{1-\lambda} \left[ -\frac{d}{dx} \left( \int_0^h u(z)C(z) dz \right) - \frac{d}{dy} \left( \int_0^h v(z)C(z) dz \right) \right] \quad (1)$$

実際の計算時は、流速  $u, v$  は平面 2 次元流れの水深平均の定常解とみなせる値から下記の手順で鉛直方向に展開した値を用いた。

i) 対象河道において、地盤高のみの DSM と植生頂部を含む DSM を用意し、両者の差から植生高さを算出する（ここでは両者の差の 50% を植生高とした）

ii) 後者の植生高さを含む DSM を河床高とした平面 2 次元流れ（地盤高と植生高さの間を止水域とみなした）の定常時の計算結果を、低水から年間最大程度までの流量の間で多段階のクラスで用意する

iii) ハイドログラフの流量に基づいて、時間ステップごと該当する流量クラスの計算結果を参照し、格子ごと平面 2 次元の水深平均値の結果から対数分布を仮定した流速の鉛直分布を算出する。この際、水没植生域では植生高さを仮想的な河床とする。なお鉛直分布は設定層数に応じ離散的に算出する

iv) 同様に格子ごと算出した摩擦速度から底面近傍の基準面浮遊砂濃度を算出し、該当粒径の河床での占有率を 1% として、レーン-カリンズ式から基準面濃度を算出する。この結果から浮遊砂濃度の鉛直方向分布を同様に離散的に算出する。この際、濃度の鉛直方向分布については植生高さからではなく、

河床面から水深の 5% 程度の位置を基準面とする

v) 離散化した式(1)に上記の結果を代入し、各計算格子における単位時間の河床高の変化量を求める。

vi) 上記 iii) から v) をハイドログラフに応じ反復なお計算期間を 2018 年 5 月 16 日から 2019 年 11 月 7 日まで、対象粒径を 0.3mm とした。

#### 4. 解析結果

図-2 に計算された河床高の変化量をコンター図で示した。また図-2 中のマーカーは、同期間の地盤高変化量の実測値を示す。これらの示す結果からは、砂州上の微高地上で堆積した砂分の堆積量について、比較的良好な再現結果が得られたと考えられる。

#### 参考文献

- 赤堀良介, 山口里実, 佐藤大介: 冠水した植生域における浮遊砂の鉛直方向濃度分布の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.5, 1949-1954, 2018.

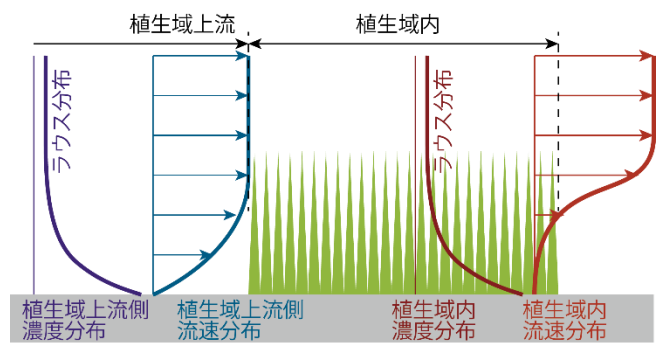


図-1 冠水植生付近の流速と浮遊砂濃度の模式図<sup>1)</sup>

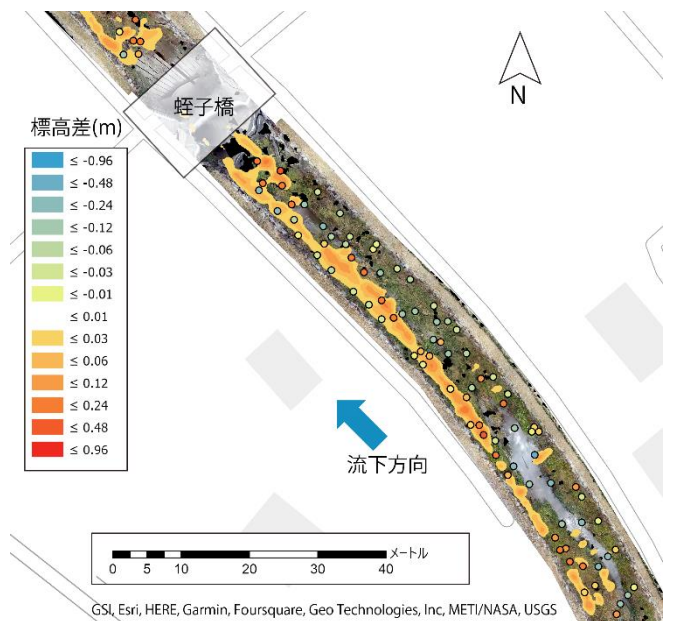


図-2 浮遊砂モデルによる堆積量コンターと実測値(マーカー)の比較