

魚巢内に堆積した糸状体剥離藻類の移動の数値シミュレーション

茨城大学 正会員 ○前田 滋哉
 茨城大学 非会員 安野 悠
 茨城大学 正会員 黒田 久雄

1. はじめに

わが国の農業用排水路には、営農効率や治水面の改善を図る際に、魚類等の生物の生息環境を保全する施設が導入されている。このうち、水路側壁の凹部である人工魚巢には流速低減機能があり、魚類保全施設としての有効性が報告されている。その一方で、魚巢の機能を維持する方法は未確立である。例えば、魚巢内には堆砂が生じ、その上部に剥離した糸状体付着藻類（以下、剥離藻類）、落葉、落枝等が多量に堆積する¹⁾ことで、魚巢内の魚類生息空間が失われることがある²⁾。

一般に糸状体付着藻類は束になり、それに土砂が絡まっている。これが路床から剥離、流下し、堆積することで、魚巢内外の土砂輸送に影響を与えていると考えられる。したがって、魚巢内の堆砂量の予測や管理手法³⁾を改良するには、土砂とともに剥離藻類の魚巢への供給や魚巢からの排出も考慮することが不可欠である。そのためには、流れと土砂に、土砂以外の堆積物を加えた3者の相互作用を考慮した現象の解析が将来的に必要である。

著者らがこれまで調査してきた魚巢のある農業用排水路では、2018年¹⁾および2022年において、4月と5月の間に左岸魚巢内の路床高が急低下した。その際、堆砂上に堆積した剥離藻類や落葉・落枝の多くが魚巢外に排出されていた。本研究では、剥離藻類の魚巢外への排出がどのような水理条件で生じるか分析するため、数値実験を行う。剥離藻類を円筒状で形状変化しない「流木」に見立て、3次元流れと流木の3次元挙動の数値シミュレーションが可能なiRIC NaysCUBE (Ver. 3)⁴⁾を用いる。

2. 方法

2.1 対象地

茨城県美浦村興津地区の農業用排水路で幅3m、長さ14.9mの区間を解析対象とする（図-1）。この水路は横断面形状が矩形のコンクリート3面張り、区間中央部に長さ10.9mの魚溜がある。魚溜は設計段階で0.5m路床が掘り下げられた部分である。魚溜内に両岸各3個の魚巢（入口幅1.14m、入口高さ1.0m、奥行き0.9m）が設けられている。魚巢と魚溜には土砂が堆積しているが、水路地形高が左岸方向にやや傾斜しており、左岸魚巢で特に堆砂が顕著である（図-1）。

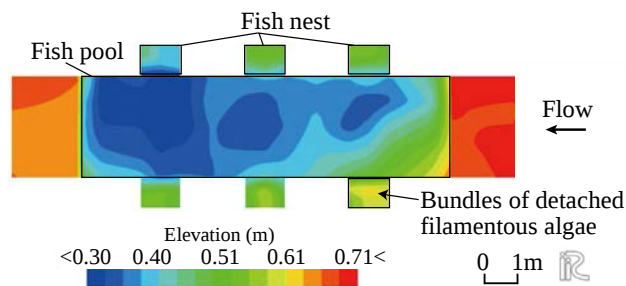


図-1 解析領域における路床高分布と剥離付着藻類の初期堆積位置

2.2 計算条件

NaysCUBEは河川流と河床変動の3次元ソルバーであり、3次元の流木挙動も推定できる。流れはオイラー的に、流木挙動はラグランジュ的に扱う。しかし本研究では河床変動は考慮せず、剥離藻類を円筒状の剛体（流木）に見立て、魚巢内の堆砂上に存在する剥離藻類の定常流における挙動を数値実験した。剥離藻類が流れに及ぼす影響⁵⁾は考慮したが、土砂輸送は対象外とした。

計算領域について、水平面は一般曲線座標系、鉛直方向はシグマ座標系が採用されている。本研究では、水

キーワード 付着藻類、流木、環境配慮型水路、数値計算

連絡先 〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3-21-1 茨城大学農学部 TEL 029-888-8601

平方向格子を主流方向 139, 横断方向 49, 合計 6,811 個の格子点に分割した。鉛直方向の層数は 10 とした。魚巣の総格子数は 72 (=8×9) であり, 水平方向の格子長さは約 0.14 m, 格子幅は 0.1 m である。

現地における 2018 年 4 月 16 日の路床高の観測値を用い iRIC で路床高分布(図-1)を求めた。当日の水深・流速の観測値と流量 0.171 m³/s を用いて流れモデルの粗度係数を決定した。

表-1 計算ケース

Case	Q (m ³ /s)	比重
1	0.171	1.1
2	0.400	1.1
3	0.800	1.1
4	0.400	1.0
5	0.400	0.9

定常流れの数値計算を 260 秒分実行した。計算ケースを表-1 に示す。流れが安定する 80 秒時点で, 左岸最上流魚巣(図-1)内の全格子に, 各格子 3 本の割合で剥離藻類を合計 216 本投入した。剥離藻類の挙動を 180 秒間推定した。平水時, 代かき期(4 月上旬～5 月上旬), 小雨時に対応し, 水路の流量 Q を 0.171, 0.400, 0.800 m³/s とした。

剥離藻類は一般に糸状体緑藻の束である。そのため, NaysCUBE の特性も踏まえ剥離藻類束を直径 0.01 m, 長さ 0.1 m の円筒剛体としてモデル化した。剥離藻類の静止摩擦係数, 動摩擦係数, 反発率はそれぞれ 0.5, 0.1, 0 とした。現地の剥離藻類には土砂が絡んでいるため, 藻類は底面付近を動くと考えられることから, Case 1～3 で剥離藻類の比重を 1.1 とした。比較のため, それより比重が小さい場合 (Case 4, 5) も設定した。

3. 結果と考察

3.1 流れモデルの検証

2018 年 4 月 16 日の 15 地点の水理観測値に対する計算値の 2 乗平均平方根誤差は, 水深で 0.050 m, 水路主流方向流速(6 割水深点)で 0.092 m/s となり, 図-2 左岸上流魚巣での剥離藻類の移動と 8 割水深点での流速ベクトル(Case 2)の時の粗度係数を以後

の計算で用いた。粗度係数は, 魚巣内, 魚溜内, 魚溜上流側(付着藻類有), 魚溜下流側(付着藻類無し)でそれぞれ 0.023, 0.025, 0.030, 0.008 s/m^{1/3} とした。計算した魚巣内の循環流位置, 魚巣内水平レイノルズせん断応力の分布は実験結果と同傾向⁶⁾を示した。

3.2 剥離藻類の移動

剥離藻類の比重が 1.0, 0.9 のときは計算終了時点で魚巣内に留まる藻類がほとんど無く, 現地の状況と明確に異なった。一方, 比重が 1.1 の場合はどの流量でも, 魚巣内に堆積した剥離藻類の移動は短時間でほぼ停止した(図-2)。剥離藻類の大部分が魚巣内の内奥隅に留まるか, 魚巣入口から内奥に向かって路床高が急上昇する直前に集積する傾向が見られた。

4. おわりに

定常流量で剥離藻類の一部が魚巣外に移動し, 残りが魚巣内にとどまる現地の状況にある程度再現できた。一方剥離藻類の大部分が 4 月から 5 月にかけて排出される状況は, 計算で再現できていない。今後は, 剥離藻類の挙動に影響する因子のさらなる分析, 剥離藻類の移動の実験等を用いたモデルの改良が必要である。

謝辞

JSPS 科研費 20H03095 の助成を受けた。iRIC プロジェクトの NaysCUBE を使用した。記して謝意を表する。

参考文献

1) Maeda et al. (2021) : Spatiotemporal variation of sedimentation in an agricultural drainage canal with eco-friendly physical structures: a case study, Paddy and Water Environment, 19, 189-198. 2) 土屋ら (1986) : 水環境管理のための基礎的調査研究(その 2) - 生態環境からみた河川改修 -, 第 14 回環境問題シンポジウム講演論文集, 92-99. 3) 前田ら (2022) : 流れ・路床変動モデルを用いた魚巣における泥上げ効率の評価手法, 土木学会論文集 B1 (水工学), 78(2), I_1087-I_1092. 4) 木村 (2020) : NaysCUBE Ver. 3.1 Solver Manual 第 7 版. 5) Kimura et al. (2020) : Effects of the driftwood Richardson number and applicability of a 3D-2D model to heavy wood jamming around obstacles, Environmental Fluid Mechanics, 20, 503-525. 6) 山上ら (2014) : 開水路における長方形ワンド内の循環流構造に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 70(1), 1-10.

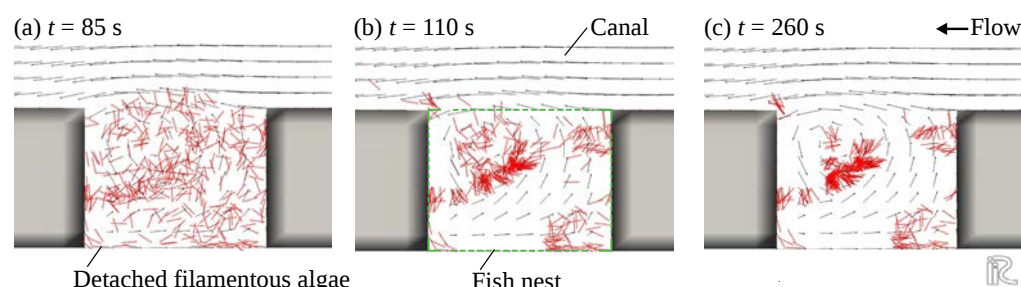


図-2 左岸上流魚巣での剥離藻類の移動と 8 割水深点での流速ベクトル(Case 2)