

魚巢に堆積した剥離藻類の排出過程の数値シミュレーション

Numerical simulation of the expulsion process of detached algae deposited in a fish nest

○前田 滋哉*・林 暁嵐*・黒田 久雄*

Shigeya Maeda*, Xiaolan Lin*, and Hisao Kuroda*

1. はじめに

農業用排水路の路床に水生植物や藻類が過剰繁茂し、路床から剥離したそれらがゲートの通水障害や魚巢内堆積りを引き起こす問題が報告されている。魚巢内に土砂や路床から剥離した糸状体藻類（以下、「剥離藻類」）が多量に堆積することで魚巢内の魚類生息空間が失われることがある²⁾。したがって、これを抑制できる適正な規模や形状の魚巢の設計が重要と考えられる。

剥離藻類の水路内の動きは、河川における流木挙動^{3,4,5)}と類似性がある。しかし、水路における剥離藻類の挙動のモデル化はほとんどなされていない。著者ら⁶⁾は、剥離藻類形状として円筒を仮定し、魚巢内に堆積した剥離藻類の排出過程を、魚巢規模を変化させて数値実験した。しかし現地の水中動画撮影より、剥離藻類は塊状でその形状を時間変化させることがわかっている。そこで本研究では、剥離藻類を直方体でモデル化し既報と同様の数値実験をすることで、剥離藻類形状の違いに基づく魚巢からの剥離藻類排出率の相違を分析する。

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 3 m、長さ 14.9 m 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 面張りで、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（入口長さ 1.14m、奥行き 0.9m、入口高さ 1.0m）が設けられている。魚巢と魚溜には土砂が堆積しており、左岸魚巢で特に堆砂が顕著である（図-1）。

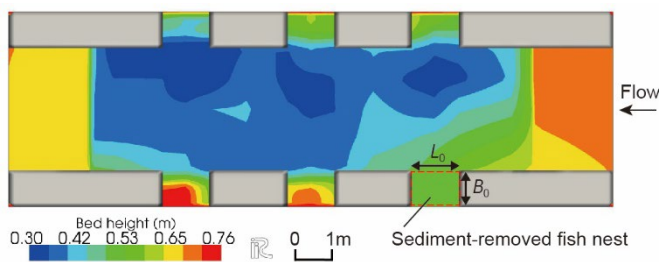


図-1 計算区間の路床高と対象魚巢 (Case A)

2.2 流れと剥離藻類挙動のモデル

流れと剥離藻類挙動の数値計算には iRIC NaysCUBE (Ver. 3)を用いる。流れ場は非定常 3次元レイノルズ方程式、剥離藻類挙動は 3次元並進運動のラグランジュ方程式（回転も考慮）を解いて決定する⁴⁾。なお、剥離藻類が流れに及ぼす抗力を考慮した Two-way モデルを採用する。

剥離藻類を直方体（各辺 0.1m, 0.05m, 0.05m）としてモデル化する。剥離藻類の位置は、計算ステップごとに、直方体の角と長辺上に配置した 12 個の球体（直径 0.01m, 比重 1.0）の球体運動として決定した後、直方体に形状を戻すことで定める。剥離藻類の静止摩擦係数、動摩擦係数、反発率、比重はそれぞれ 0.5, 0.4, 0.5, 1.0 とした。

計算区間（図-1）について、水平方向格子を主流方向 139、横断方向 49、合計 6,811 個

*茨城大学 Ibaraki University, キーワード：剥離藻類, 魚巢, 流木, 開水路流, 数値計算

の格子点に分割した。鉛直方向の層数は10とした。

2.3 数値実験

魚巢内に剥離藻類が既に堆積している状態を設定し、その状態から剥離藻類が水路流によって魚巢外に自然に排出される割合を「自然排出率」と定義する。

現地の魚巢形状は平面形が矩形(「矩形魚巢」と呼ぶ)であり、これを水路主流方向に8個、横断方向に9個の計72個の矩形格子で表した。数値実験ではこの魚巢形状 L0B0(魚巢入口長さ L_0 と魚巢奥行き B_0 , 図-1) を基準の Case A とした。これに魚巢奥行きのみを変化させた2パターンを加え、合計3ケースを設定した(表-1)。

計算区間の路床高は2018年4月16日の現地観測値を用いた(図-1)。定常流れの数値計算を200秒間実行した。流れが安定する80秒時点で、左岸最上流魚巢内の24格子に、各格子1本の割合で剥離藻類を1回だけ投入した。その後剥離藻類の挙動を120秒間計算した。小雨時を想定し、水路の流量を $Q=0.8\text{ m}^3/\text{s}$ とした。なお、剥離藻類の初期 yaw 角は乱数で与えているため、各ケースの計算を10反復し、自然排出率をそれぞれ算出した。

3. 結果と考察

図-2に魚巢からの剥離藻類の自然排出率を示す。Case CはAより自然排出率の中央値が小さいことがわかった(U検定, $p=0.00025$)。Case Cでは剥離藻類形状が円筒⁶⁾の場合でも自然排出率が小さい。また、直方体藻類は円筒の場合より自然排出率が大きい傾向にあった。したがって、魚巢における剥離藻類の堆積を抑止する観点で魚巢形状を設計する場合は、剥離藻類形状として条件の厳しい円筒を用いて分析することが有効と考えられる。

4. おわりに

数値実験を用いることで、魚巢内に剥離藻類が相対的に堆積しにくい魚巢サイズを比較検討可能と考えられる。今後は、モデルパラメータの感度解析を行うと共に、流量変化を想定して自然排出率を算出する予定である。

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。

参考文献 1) 前田ら(2022): 流れ・路床変動モデルを用いた魚巢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. 2) 土屋ら(1986): 水環境管理のための基礎的調査研究(その2) 一生態環境からみた河川改修一, 第14回環境問題シンポジウム講演論文集, 92-99. 3) 初田ら(2012): 蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する実験と数値解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 68(2), I_415-I_422. 4) 木村(2019): 3D-3D カップリングモデルを用いた橋脚による流木捕捉過程の再現性, 土木学会論文集 B1 (水工学), 75(2), I_601-I_606. 5) Ruiz-Villanueva et al. (2020): Numerical modeling of instream wood transport, deposition, and accumulation in braided morphologies under unsteady conditions: sensitivity and high-resolution quantitative model validation, Water Resources Research, 56, e2019WR026221. 6) 前田ら(2024): 数値実験を用いた魚巢内に堆積する剥離藻類の自然排出率の推定, 土木学会第80回年次学術講演会要旨.

表-1 数値実験で設定する矩形魚巢の諸元

Case	A	B	C
魚巢形状	L0B0	L00.66B0	L00.33B0
魚巢入口長さ (m)	1.14	1.14	1.14
魚巢奥行き (m)	0.900	0.600	0.300
魚巢面積 (入口長さ×奥行き)	1.03	0.68	0.34
アスペクト比 (入口長さ/奥行き)	1.27	1.91	3.81

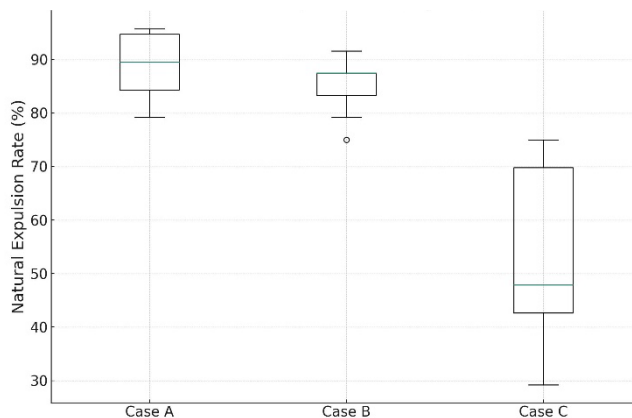


図-2 剥離藻類の自然排出率の箱ひげ図