

数値計算を用いた環境配慮工における堆砂の分析

Analysis of sedimentation in eco-friendly physical structures using numerical simulation

○前田滋哉・黒田久雄

Shigeya Maeda and Hisao Kuroda

1. はじめに

農業用水路の魚類保全施設である魚巢や魚溜では、過度の堆砂により魚類がそれらを利用しにくくなる事例が報告されている^{1,2)}。そこで著者ら^{3,4)}は魚巢・魚溜が導入された農業用排水路を対象に、路床高の観測や数値計算を行ってきた。水路の路床変動の数値シミュレーション例はあまりなく、河川を対象としたもの^{5,6)}でも、2次元モデルを用いた場合では計算時間が数時間～数日と短いのが一般的である。この理由として、路床変動計算は計算負荷が大きいこと、土砂供給量が未知⁶⁾なことなどが考えられる。そこで本研究では、魚巢・魚溜のある対象排水路の履歴流量から複数の水準の定常流量、流量増・減ケースを設定し、2通りの土砂供給量を仮定して路床変動計算を行った。これにより、環境配慮工における路床変動の傾向がどの程度再現できるかを分析した。

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（幅3m、矩形断面コンクリート3面張り）において、魚巢と魚溜が設置された18.6m区間（図1）を調査対象とした。魚巢は開口部幅1.1m、高さ1.0m、奥行き0.9mであり、左右両岸に3個ずつある。魚溜は設計段階では路床が0.5m掘り下げられ、礫が敷かれていたが、堆砂により路床の場所的な差が大きい。魚溜以外の水路床では付着藻類が繁茂している。

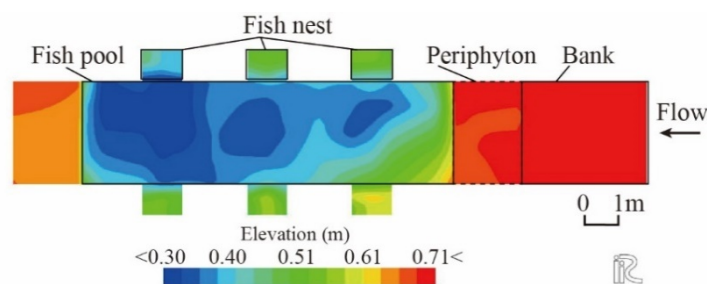


図1 対象水路区間と初期路床高

あり、左右両岸に3個ずつある。魚溜は設計段階では路床が0.5m掘り下げられ、礫が敷かれていたが、堆砂により路床の場所的な差が大きい。魚溜以外の水路床では付着藻類が繁茂している。

2.2 計算条件

iRIC Nays2DH Ver.3 を用いて平面2次元流れと路床変動を数値計算した。流れ計算では浅水流方程式、路床変動計算では流砂の連続式を使用した。流砂は混合砂、解析領域全域で移動床とし、掃流砂と浮遊砂を対象とした。掃流砂ベクトルは芦田・江頭・劉の式、浮遊砂浮上量は Lane-Kalinske 式で推定した。

計算対象区間を7,497 (= 153×49) 個の格子点から成る四辺形格子に分割した。格子サイズは一般に流下方向約11cm、水路横断方向約10cmである。マンニングの粗度係数は既往研究³⁾から、魚巢内、魚溜内、魚溜上流部、同下流部の4箇所異なる値を与えた。

対象地の魚巢・魚溜において、2018年5月11日と9月13日の実測路床高分布³⁾より、両日間の土砂純増量は4.43m³と推定された。対象区間への土砂供給を仮定するため、区間上流部に高さ2.5cm (0.261m³)、6cm (0.627m³)の2ケースの盛土を設けた（図1）。盛土以外の部分は初期路床として2018年5月11日の路床高を用いた。

粒度分析結果³⁾を踏まえ、魚巢(中央粒径0.17mm)、魚溜左岸上流部(中央粒径1.4mm)、

その他魚溜（中央粒径 0.56 mm）、盛土（中央粒径 0.50 mm）で異なる粒径加積曲線を設定した。魚溜左岸上流部には他と異なり大礫が多く堆積していたため、魚溜を 2 領域に分けた。魚溜上流側のコンクリート路床に付着藻類が繁茂していたため、直径が均一な円柱が等間隔に直立した植生モデルを仮定し、植生の抗力項を浅水流方程式で考慮した。

表 1 のように Case 1~3 の上流端流量、盛土量、計算時間を設定し、路床変動計算した。流量 0.14, 0.2m³/s は平水時流量であり、0.22~0.37 m³/s は田植え直後の流量の例である。0.6, 0.8m³/s は降雨時に生じ、台風の際には 3~10 m³/s 程度になった。計算時間刻みは 0.005 秒とし、路床変動計算は流れ計算開始から 600 秒後に始めた。

3. 結果と考察

数値計算により、流量が増大するにつれ左岸魚巣、右岸魚巣の順に堆砂が進行することがわかった。流量が 0.4 m³/s を超えると魚溜内の中央と左岸側で洗掘が顕著になる一方、魚溜右岸沿いで土砂輸送が大きくなり、右岸魚巣内でも堆砂量が増えた。また、盛土量が 0.627 m³ の場合は、魚溜右岸側の堆砂がより顕著になった。

図 2 左に 2018 年 5 月 11 日~11 月 13 日の横断測量に基づき推定した路床高分布を示す。図 2 右に Case 3 の計算路床高を示す。図 2 右より、洪水時（0.8 m³/s）に魚巣への土砂輸送と魚溜内の洗掘が進み（ $t = 6$ h）、平水時（0.2 m³/s）に魚溜への堆砂が進んだ（ $t = 18$ h）。このような過程の繰り返しにより、図 2 左のような左岸魚巣と魚溜左岸側での堆砂という長期的傾向が生じたと推測される。魚巣内の堆積土砂の洗掘を再現することが今後の課題である。

謝辞：iRIC プロジェクトの Nays2DH を使用した。JSPS 科研費 20H03095 の助成を受けた。

引用文献：1) 土屋ら（1986）：第 14 回環境問題シンポジウム講演論文集，92-99. 2) 皆川ら（2020）：農業農村工学会論文集，310，I_77-I_84. 3) Maeda *et al.*（2021）：Paddy Water Environ, 19, 189-198. 4) 前田（2021）：令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会講演要旨集. 5) Iwasaki *et al.*（2016）：Advances in Water Resources, 93, 118-134. 6) Inoue *et al.*（2020）：Water, 12, 1881; doi:10.3390/w12071881.

表 1 路床変動計算のケース

| Case | 流量 | 盛土 | 計算時間 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|
| 1 | 0.14, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8m ³ /s 定常 | 0.261, 0.627 m ³ | 6 h |
| 2 | 0.22~0.37 m ³ /s (2018 年 5 月 12 日 午前 6 時~11 時 50 分実測値) | 0.261, 0.627 m ³ | 6 h |
| 3 | 0.8 m ³ /s ($t = 0 \sim 6$ h), 0.8~0.2 m ³ /s 単調減少 ($t = 6 \sim 7$ h), 0.2 m ³ /s ($t = 7 \sim 12$ h) | 0.261 m ³ | 18 h |

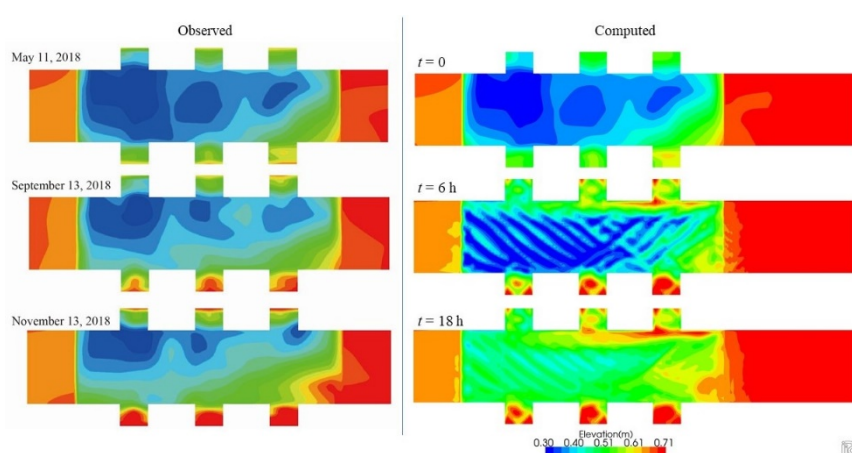


図 2 路床高の実測値³⁾と計算値 (Case 3)