

付着藻類を考慮した魚巣・魚溜のある農業用排水路における 路床変動の数値実験

Numerical experiment of canal bed evolution in agricultural drainage canal with fish nests and pool considering periphyton

前田滋哉*・皆川明子**・黒田久雄*

*茨城大学農学部（〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3-21-1）

**滋賀県立大学環境科学部（〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500）

MAEDA Shigeya*, MINAGAWA Akiko**, KURODA hisao*

*Faculty of Agriculture, Ibaraki University (3-21-1 Chuuo, Ami, Inashiki, Ibaraki, 300-0393)

**School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture (2500 Yasaka, Hikone, Shiga, 522-8533)

(Received 4 December 2020)

Abstract

In fish nests and fish pools that are introduced into canal to conserve the fish habitat, there exist cases where the habitat becomes narrow due to excessive sedimentation. In addition, periphyton that thrives in canals is thought to affect flow and canal bed evolution. In this study, we conducted numerical experiment of bed evolution considering periphyton in the agricultural drainage canal section where fish nests and fish pool were installed. Using Nays2DH, the shallow water equation and the continuity equation of sediment (bed load and suspended load) were numerically solved for 6 hours. As a result, a clear difference appeared in the computed bed elevation in the fish nests and the fish pool depending on the presence or absence of vegetation. This indicates the importance of appropriate modeling of flow-vegetation-bed evolution interaction when the sedimentation problem in ecofriendly canals is examined by numerical calculation.

Key words: ecofriendly canal, sediment, periphyton, numerical computation

要 旨

魚類の生息環境を保全するために水路に導入される魚巣や魚溜では、堆砂が過度に進むことにより生息域が狭くなる事例がある。また、水路に繁茂する付着藻類は流れや路床変動に影響を与えと考えられる。本研究では、魚巣と魚溜が導入された農業用排水路区間を対象とし、付着藻類を考慮した路床変動の数値実験を行った。Nays2DHを用いて浅水流方程式と流砂（掃流砂と浮遊砂）の連続式を解き6時間分の数値計算をした。その結果、植生の有無により魚巣・魚溜での計算路床高に明瞭な差が現れた。このことは、現地の環境配慮型水路の堆砂問題を数値計算で分析する際の、流れ-植生-路床変動の相互作用を適切にモデル化することの重要性を示している。

キーワード: 環境配慮型水路, 堆砂, 付着藻類, 数値計算

1. はじめに

農業農村整備事業では環境に配慮した施設として、農業用水路に魚溜や魚巣などがしばしば導入される。これにより水路の流速低下、水深増加などの変化が生じる。これは施工前にある程度予測可能であるが、水理環境変化に伴う環境配慮工への土砂の堆積がどの程度なのか、事前に評価することは難しい。例えば、魚巣や魚溜への過度な堆砂により、想定していた魚類の生息域が狭くなった事例が報告されている（例えば、土屋ら、1986；皆川ら、2020）。したがって、環境配慮工を長期間効果的に用いるには、泥上げのタイミングや規模の推定のような、事後管理を補助する手法が必要である。また、施工前の段階で、管理労力を軽減するような施設設計のための方法論の開発が重要である。流れや路床変動の数値計算は、適切に実施することで環境配慮工設置後の水路の土砂水理を予測でき

るため、有望な方法の一つと考えられる。

著者らは茨城県の魚巢と魚溜が設置された農業用排水路を対象に、路床高を 2016 年 5 月から 2019 年 11 月の期間中 12 回測り、その空間分布を推定した (Maeda et al., 2020)。その過程で、夏季に付着藻類が路床全面に繁茂し、後に枯死し、それが剥離して魚巢や魚溜に堆積する状況を見てきた。したがって、本対象地で路床変動を予測するには付着藻類が流れと流砂に及ぼす影響を数値計算で考慮することが必要と考えられる。そこで本研究では、成長段階の付着藻類に着目し、付着藻類のモデル化の有無が魚巢・魚溜の堆砂にどのように影響するかを、流れと路床変動の数値実験により調べた。

2. 方法

2.1 解析領域と現地の路床変動

茨城県美浦村興津地区の農業用排水路の幅 3m、長さ 18.6m の区間を数値計算の対象とした (Fig. 1)。コンクリート 3 面張りの矩形断面水路に長さ 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。魚溜区間内に兩岸各 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。これら環境配慮工は 2002 年に茨城県の排水改良事業の際に導入された。この排水路は谷津田地域内にあり、下流部で高橋川に接続し、霞ヶ浦（西浦）に至る。

Fig. 2 は 2018 年 4 月から 2019 年 11 月までの対象地における路床高分布である (Maeda et al., 2020)。魚巢内では 1 年周期で堆砂と洗堀を繰り返した。魚溜の上・下流部のコンクリート路床では 4 月頃から新たな付着藻類が繁茂し始め、7 月頃に生物量がピークに達し、付着藻類による土砂の捕捉が進んだ。その後出水時に枯死藻類の剥離が顕著になったと考えられる。主に水路周辺農地からの土砂供給により、5 月から 11 月に、魚溜と、特

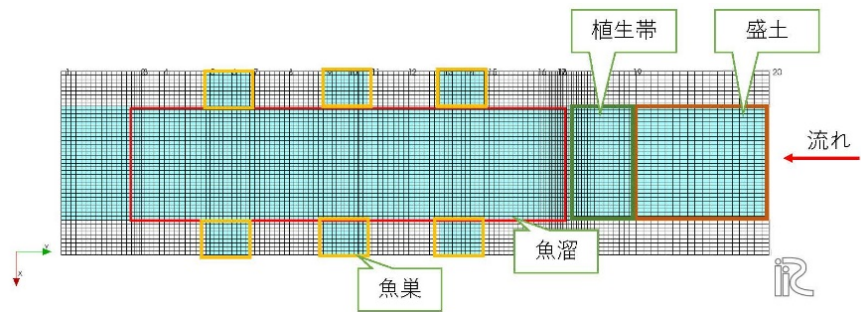


Fig. 1 解析領域（水色部）と計算格子

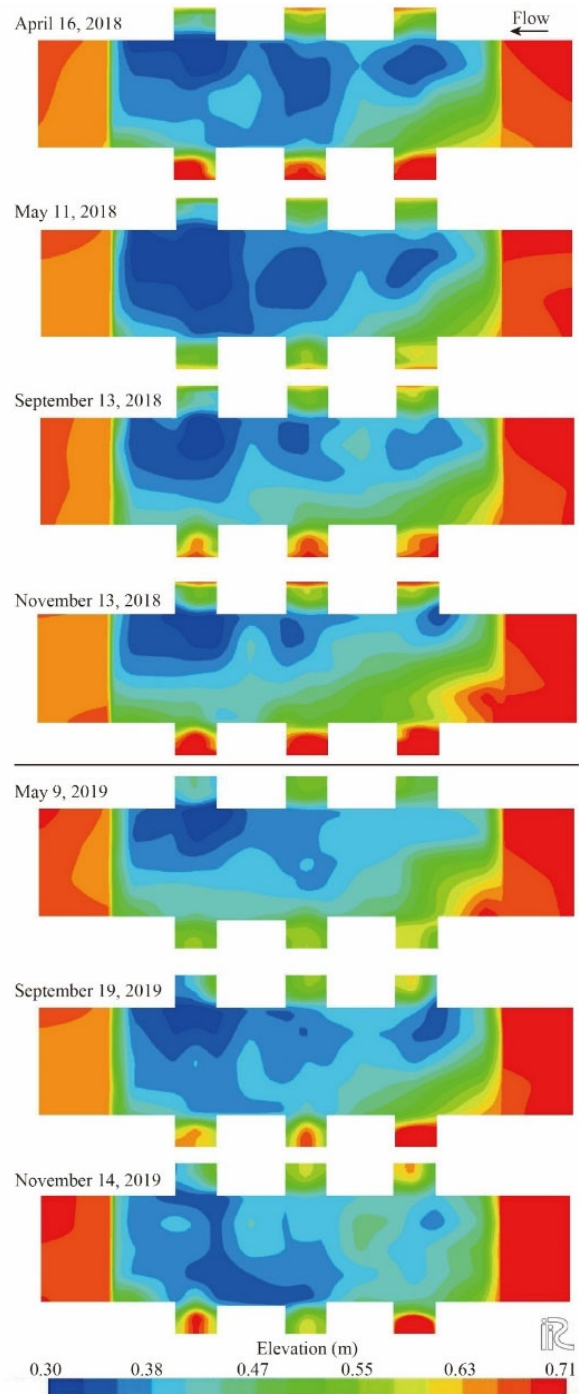


Fig. 2 2018～2019 年の路床高分布

に左岸魚巣において、土砂と付着藻類の堆積が進行したようである。

Table 1 数値実験のケースと主な設定条件

Case	植生の有無	流量 (m ³ /s)
1	有	0.14 定常
2	無	0.14 定常
3	有	0.22～0.366 非定常
4	無	0.22～0.366 非定常

2.2 数値計算

ソルバー iRIC Nays2DH Ver.3 (Nelson et al., 2016) を用いて平面 2 次元流れと路床変動を数値実験した。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。

Harada and Yanda (2018) は Nays2DH の前モデルである Nays2D による路床変動の再現性を検証しており、蛇行水路における数値計算結果が水路実験結果に概ね一致する結果を示している。そのため、本研究では Nays2DH の対象地への適用が妥当であるとして数値実験を進めた。解析領域を **Fig. 1** のように 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現地の水深・流速観測結果と流れ計算結果が一致するように、魚巣内、魚溜内、魚溜上流部、同下流部の 4 箇所異なる値を与えた。粒度分析結果を踏まえ、魚巣（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 0.56mm）で異なる粒径加積曲線を設定した。魚溜内を 2 つに分けて粒度分布を与えた理由は、魚溜内左岸上流部には他と異なり大礫が多く堆積しており、これが当該部分で路床高が低下しにくい (**Fig. 2**) 要因と考えられたためである。

Table 1 のように、植生の有無と上流端流量を変化させた 4 個の場合 (Case 1～4) を設けた。植生域は **Fig. 1** のように、魚溜上流側のコンクリート路床に付着藻類が繁茂した状況を仮定して設けた。区間上流部に盛土を設け、ここから流れによる土砂輸送を生じさせることで土砂供給をモデル化した。

直径が均一な円柱が等間隔に直立した植生モデル (関根, 2005) を仮定し、植生の抗力項を浅水流方程式で考慮した。対象地の 2020 年 5 月の付着藻類の繁茂状況を踏まえて植生密生度 0.17m⁻¹、植生高さ 0.02m を与えた。また植生抗力係数は 1.2 とした。流量については、Case 1, 2 では水位計で計測できる最小水深に対応する流量 0.14m³/s を、Case 3, 4 では 2018 年 5 月 12 日午前 6 時から 11 時 50 分までの 10 分間隔流量観測値 (最小 0.22 m³/s, 最大 0.366 m³/s でほぼ単調に増加) を与えた。

対象地の魚巣・魚溜において、2018 年 5 月 11 日から 9 月 13 日までの土砂純増分は 4.43m³ と推定された (Maeda et al., 2020)。この間の大規模出水は 8 回であったこと、急な大量の土砂輸送を仮定すると計算が破綻するリスクがあること等を踏まえ、盛土量は 0.261m³ とした。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 (**Fig. 2**) を基本的に用いた。

計算時間は 6 時間、計算時間刻みは 0.005 秒とし、路床変動計算は流れの計算を開始して 600 秒経過後に始めた。

3. 結果と考察

Fig. 3 に計算終了時の流速と水深の分布を、**Fig. 4** に路床高を、**Fig. 5** に路床変動量 (6 時間後の路床高から初期路床高を引いたもの) を示す。植生がない場合の Case 2 は植生有の Case 1 に比べ魚溜の上流部で右岸から左岸方向へ流れが偏向しており、土砂輸送も顕著であることが見てとれる。また、右岸沿いの流れも Case 2 のほうがやや速いため、土砂が魚溜下流部まで、より遠くに運ばれていることがわ

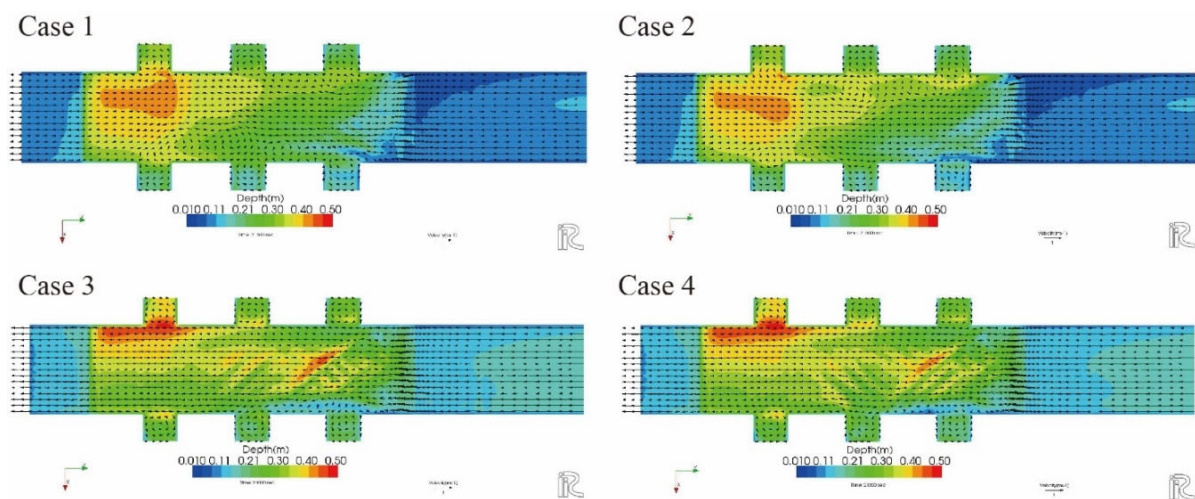


Fig. 3 計算開始 6 時間後の水深 (コンター) と流速 (ベクトル)

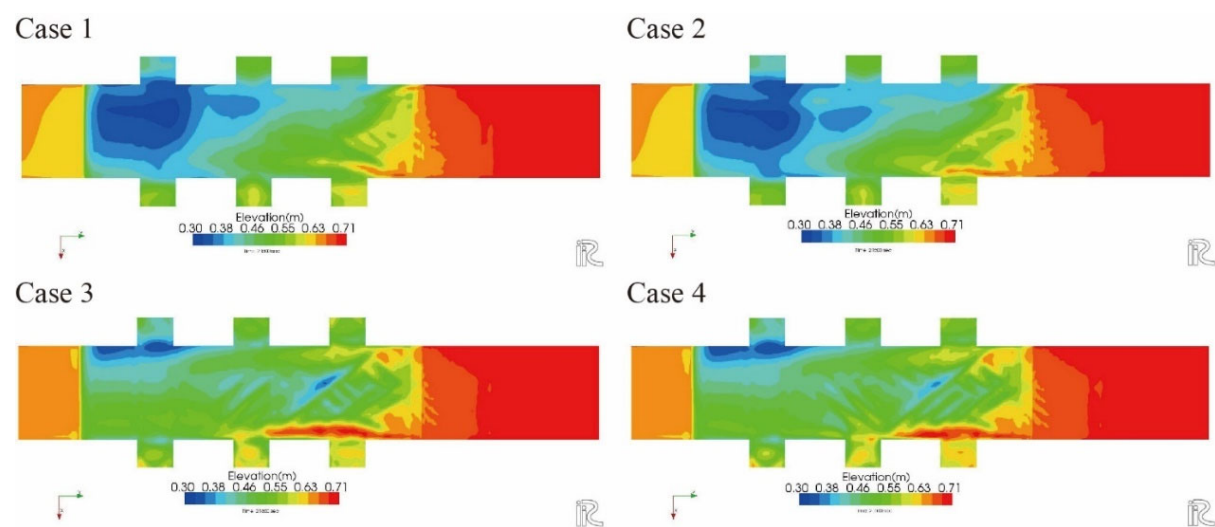


Fig. 4 計算開始 6 時間後の路床高

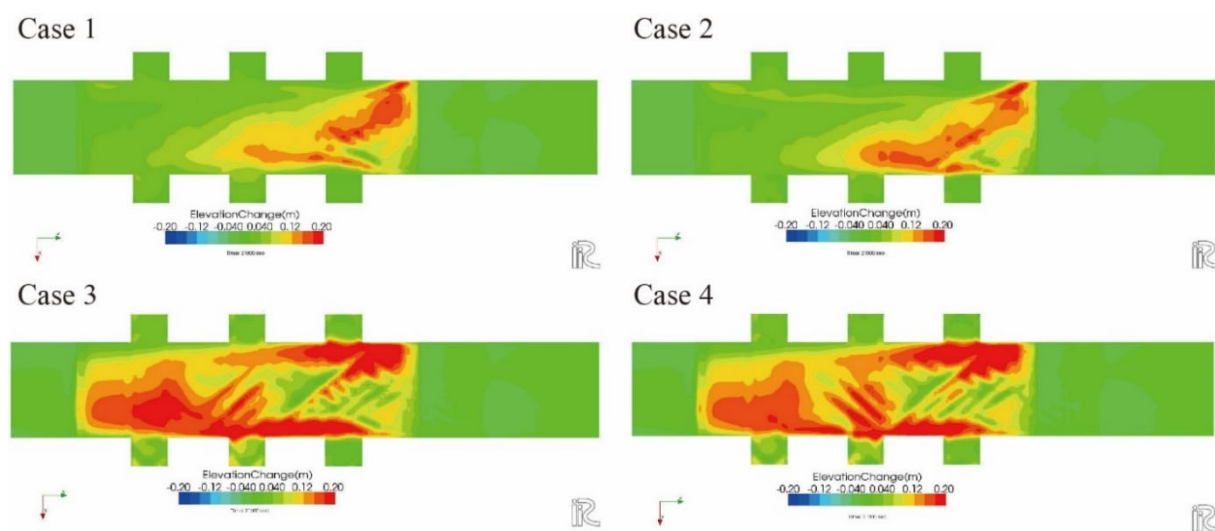


Fig. 5 計算開始から 6 時間後までの路床変動量

かる (Fig. 5).

Case 3, 4 では Case 1, 2 より魚溜での堆砂は進行しているが、すべて左岸側でより変化が大きい。これは 5 月から 9 月にかけての実際の路床高変化傾向 (Fig. 2) と一致している。植生の有無による流れと路床高の変化の相違は Case 3 と 4 の比較においても見られ、特に魚溜中央部と左岸中央魚巣で違いが明瞭である。

本研究は計算時間が 6 時間と短いため路床変動の再現はできていないものの、付着藻類が魚巣・魚溜の路床変動に少なからず影響を与えていることが分かった。

4. おわりに

魚巣と魚溜が導入された農業用排水路区間において、付着藻類を考慮した路床変動の数値実験を行った。藻類の付着を仮定した領域は限定的であり、短時間の計算であったものの、植生の有無により魚巣・魚溜での計算路床高に明瞭な差が現れた。このことは、環境配慮工の堆砂問題を数値計算で扱う場合に流れ-植生-路床変動の相互作用を適切にモデル化することの重要性を示している。今後は長時間の路床変動計算ができるよう、計算条件を工夫する必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 20H03095 の助成を受けた。記して謝意を表する。

引用文献

- Harada, M., Yanda, R. (2018) : Development of the numerical simulation model aiming at direct habitat evaluation of riverbeds of gravel-bed rivers, Proc. 12th ISE 2018.
- Maeda, S., Takagi, S., Yoshida, K., Kuroda, H. (2020) : Spatiotemporal variation of sedimentation in an agricultural drainage canal with eco-friendly physical structures: a case study, Paddy Water Environ, DOI 10.1007/s10333-020-00831-6.
- 皆川明子, 中林真由, 藪田暢也, 饗庭俊, 大久保卓也 (2020) : 排水路の魚溜工における施工後 3 年間の土砂堆積状況, 農業農村工学会論文集, pp.I_77-I_84.
- Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., Watanabe, Y. (2016) The international river interface cooperative: public domain flow and morphodynamics software for education and applications, Adv Water Resour, 93, pp.62-74.
- 関根正人 (2005) : 移動床流れの水理学, 共立出版, p.192.
- 土屋十圀, 和泉清, 柳田吉彦, 泉浩二 (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, pp.92-99.