

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450353

研究課題名(和文) 遊泳魚と底生魚の共存に対応した粗石・魚巢配置の最適化手法

研究課題名(英文) Optimization method for placement of blocks and fish nests considering coexistence of swimming fish and bottom fish

研究代表者

前田 滋哉 (Maeda, Shigeya)

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：00346074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：農業用排水路の魚巢と魚溜のような環境配慮工の最適な配置を決定するため、基礎研究を行った。魚巢のみが設置された排水路(単独水路)と、魚巢が魚溜と組み合わせて導入された水路(併設水路)を対象に、水理観測を行った。乱流特性と魚の消費エネルギーを魚巢、魚溜、その他(対象区)で比較したところ、魚巢は多くの乱流特性において乱れが最も小さく、魚の休息場として有効であることが示唆された。また、流れのシミュレーションと生息場適性指数モデルを組み合わせ、魚巢、魚溜での底生魚と遊泳魚の生息地適性を比較した。

研究成果の概要(英文)：Basic research has been conducted for determining optimal placements of eco-friendly physical structures such as fish nest, fish pool, etc. in agricultural drainage canals. Hydraulic variables have been observed in a section of drainage canals with fish nests and that with both fish nests and a fish pool. Comparisons in turbulence characteristics and estimated fish energy expenditure at the fish nest, the fish pool, and control revealed that the fish nest had the least turbulent conditions regarding most turbulent characteristics. Since the fish energy expenditure was significantly lower in the fish nest and the pool than in the control, it could be concluded that these eco-friendly structures certainly work as resting areas for fish. Suitability for both swimming fish and bottom fish were also evaluated by combining numerical simulation of flow in the canal and the habitat suitability index model.

研究分野：環境水理学

キーワード：生態水理 環境配慮工 数値計算

1. 研究開始当初の背景

土地改良法で「環境との調和への配慮」が原則化されて以来、農業農村整備事業では多様な環境修復技術が導入されてきた。魚類の生息地保全に関するものでは、魚道、魚巢、置き石等の環境配慮工法が実施され、一定の成果を上げてきた。しかしこれらには、近年進展している生態水理学的知見が十分には活かされておらず、改善の余地が大きい。

農業用水路の魚類保全に関する国内外の学術研究には、次の3つのタイプのものが存在する。すなわち、(1)HEP,IFIM,PHABSIMのような魚類生息地評価手法、(2)魚類が好む環境を数量化した選好性モデル、(3)魚類個体数や魚類行動の予測モデルである。しかしながら、最適な魚類生息環境の創造という観点から、生態水理学的成果を十分活用した上で再現性の高い環境配慮工法を設計する研究は無い。また、複数の魚種の保全を同時に考慮した研究はほとんど見当たらない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、農業用排水路における環境配慮工法がその効果を最大限発揮するように、魚類選好性の評価に基づいた魚類生息地の最適化を検討することである。環境配慮工法として、魚巢、魚溜、粗石の設置を想定する。水路内流速の水平分布に加えて鉛直分布も考慮する。

3. 研究の方法

(1) 魚巢、魚溜の乱流特性と魚の推定消費エネルギーについて、以下の方法で研究を進めた。

①環境配慮工のうち、魚巢が単独で設置された場合の流れ場の変化を調査するため、茨城県常陸大宮市岩崎地区の農業用排水路を調査対象地（「単独水路」と呼ぶ）とした（写真1）。この排水路は久慈川に接続する。平成11年に湛水防除工事の際、魚巢ブロックが設置されたが、当時の調査では、タモロコ、

ドジョウ等の魚類やタガメが採捕された。魚巢は幅3.68mの排水路の右岸側壁を陥没させる形で敷設されている（写真2）。魚巢開口部幅と奥行きが共に約40cmで、魚巢開口部から奥にかけて断面積が少し小さくなる。このような魚巢が等間隔に12個並んでいるが、上流側の2個の魚巢は完全に土砂で埋まっていた。その他の魚巢でも内部に砂が堆積しており、調査日では水深が浅かった。また、各魚巢は連絡管で繋がっている。12個の魚巢のうち、上流側から5個目の魚巢を集中的に調査した。



写真1 単独水路の対象区間



写真2 単独水路の調査対象魚巢

水理調査は2016年に合計4回行った。観測点の数および位置を、右岸魚巢内に3点(S1~S3)、魚巢の入口に3点(S4~S6)、魚巢の周辺に3点(S7~S9)、魚巢ブロック外では、水路上流に5点(S10~S14)設定し、3次元の流速成分と水深を測定した。流速は、観測点ごとに毎秒80個、30秒間観測し、各観測点に

において1回の測定につき、合計で2,400個のサンプルを得た。

水理、水温データを用い、乱流特性である乱れエネルギー、乱れ度、レイノルズ応力、平均渦径、相対乱れ強度と魚の消費エネルギーを推定した。

②環境配慮工のうち、魚巣が魚溜内部に設置されている茨城県美浦村興津地区の農業用排水路も対象地（「併設水路」と呼ぶ）とした（写真3）。水路幅は3m、魚巣（写真4）のスケールは幅1.14m、高さ1m、奥行き0.9mで岩崎地区の魚巣ブロックの約9倍の空間体積である。調査区間の排水路の両岸側壁に3つずつ、両岸で合計6つの魚巣が設置されている。また、魚巣の設置された区間は魚溜として30cm深く路床が掘り下げられ、他の場所よりも水深が大きくなっている（図1）。

魚溜内には礫が敷かれ、その上には砂が堆積している。魚巣ブロック内部にも砂泥や流



写真3 併設水路の対象区間



写真4 併設水路の調査対象魚巣

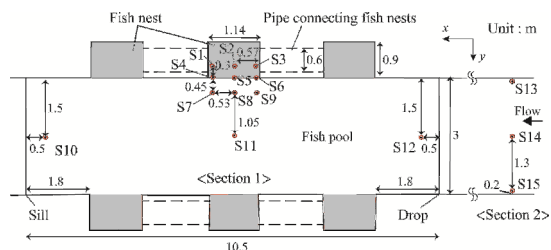


図1 併設水路での魚巣・魚溜配置と観測点

されてきた植物性沈下物などが堆積している。また、それぞれの魚巣は岩崎地区と同様に連絡管でつながっているものの、管の内には砂泥が厚く堆積しており魚が行き来できるかどうかは不明である。魚溜の施工区間外はコンクリート3面張りの水路となっており、河床に砂礫などの堆積はほとんど無かった。

図1に示すように、右岸魚巣ブロック内・周辺で9点(S1～S9)、魚溜内で3点(S10～S12)、魚溜外で3点(S13～S15)観測点を設定し、2013～2015年で計8回調査を行った。流速は測点S1～S3およびS13～S15で6割水深、測点S4～S12においては水面に近い2割水深と河床に近い8割水深で測定した。

データは単独水路のものと同様に、乱れ特性等を計算した。次に、それらの値を他の研究論文の値と比較し、魚の生息に影響を及ぼさない範囲であるか調べた。また、魚巣内・周辺(G1)、魚溜内(G2)、その他(対照区)(G3)で変数をグループ分けし、グループ中央値に有意差があるかどうかをMann-WhitneyのU検定で調べた。この検定には、IBM SPSS Statistics 22を使用した。

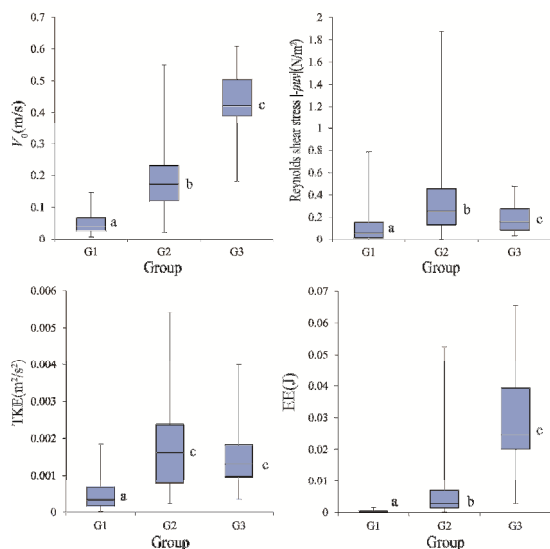
(2) 魚巣・魚溜区間での排水路流れの数値解析と生息地評価について、以下の方法で研究を進めた。

併設水路内と上流端、下流端で水理観測し、水平2次元流れ解析を行った。ソルバーとしてNays2DH (iRIC Corporation)を使用した。遊泳魚と底生魚の生息場に関する選好を、HSIを用いて定量化した。魚巣サイズを変化させ、

流況とHSIの変化を調べた。

4. 研究成果

魚巢、魚溜の乱流特性と魚の推定消費エネルギーについて、下記の結果が得られた。図2に3グループの時間平均流速、乱流特性、消費エネルギーの比較結果の一例を示す。



abc: Significant differences were found between groups with different characters at $p < 0.05$ by Mann-Whitney's U-test.

図2 併設水路における時間平均流速、乱れエネルギー、レイノルズ応力、推定消費エネルギーの箱ひげ図

併設水路の全8回の調査において、流量は $0.08 \sim 0.31 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水深は $0.12(\text{S13}) \sim 0.54(\text{S10})\text{m}$ 、時間平均流速は $8.1 \times 10^{-4}(\text{S1}) \sim 0.61(\text{S15})\text{m/s}$ の範囲にあった。魚巢、魚溜では消費エネルギーEEが対象区に比して有意に小さく、それぞれ $1/146$ 、 $1/9$ に低下していることがわかった。この低下の主要因は魚巢、魚溜での時間平均流速の低下であり、乱れがEEに与える影響は小さかった。魚巢では乱れエネルギー、レイノルズ応力が共に有意に小さく、この点からも対象魚にとって魚巢は好ましいと考えられる。一方、乱れ度は魚巢、魚溜の順に対照区より有意に大きく、これが魚の行動に及ぼす影響の分析が今後必要である。

次に、単独水路と併設水路の変数を比較する。

時間平均流速に関して、単独水路ではx軸方向のみ魚巢内で有意に小さくなったが、併設水路においては、x、z軸方向の流速が対照区、魚溜、魚巢内・周辺と徐々に小さくなった。また、y軸方向の流速も魚巢内で有意に小さくなった。このことから、水路中央部から魚巢内にかけて時間平均流速の低減効果は併設水路の方が高かった。

渦について、単独水路においては、魚へ影響を及ぼす規模の渦はなかったと考えられる。一方、併設水路においては、魚巢内・周辺で全長10cm以下の魚の遊泳を妨げる可能性のある渦が発生していた。

相対的乱れ度は、流向に関らず、魚巢内で大きくなった。同様に、魚溜内でも相対的乱れ度は増加傾向にあった。

レイノルズ応力については、併設水路のみ領域間で有意差が見られ、その大きさは対照区、魚溜、魚巢内・周辺の順に徐々に低下した。

魚の消費エネルギーは両水路において、魚巢内で最も小さくなり、魚の休息場として有効と考えられる。しかし、消費エネルギーの低減率を比較すると、併設水路の方が高いことがわかった。

排水路の流れ解析においては、路床標高を19横断面で測量することにより、現地の流向・流速を良く再現できた。また、底生魚、遊泳魚の流速・水深に関する水路でのHSI分布は傾向が大きく異なった。魚巢規模の変化もHSI分布に影響を及ぼすため、設計時に考慮することの重要性が明らかになった。

本研究で得られた成果は、魚類捕獲を基礎とした高精度の環境配慮工の有効性評価が困難な現状において、流況観測と流れ解析に基づく手法の有効性を基礎的に検討したものと位置付けられる。今後は研究成果の実用化に向けた課題を解決する必要がある。具体的には例えば、(i)洪水時の流況とその際の生息地適性評価、(ii)魚巢内外の実際の魚の生息

状況と乱流特性、消費エネルギー、餌密度等との対応関係の調査などが次の研究項目として挙げられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Maeda, S. (2013): A simulation-optimization method for ecohydraulic design of fish habitat in a canal, *Ecological Engineering*, 61, pp.182-189, 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① Maeda, S., Iida, M., Yoshida, K., Kuroda, H. (2016): Turbulence and energetic characteristics of water regions created by eco-friendly physical structures in an agricultural drainage canal, 12th International Conference on Hydroscience & Engineering, 2016 年 11 月 6 日, 台湾・台南
- ② 前田滋哉・谷川響・吉田貢士・黒田久雄 (2015): 魚の推定消費エネルギーを用いた農業用排水路における人工魚巢の有効性評価, 農業農村工学会講演会, 2015 年 9 月 2 日, 岡山大学 (岡山県)
- ③ Lin, X., Yoshida, K., Maeda, S., Kuroda, H. (2015): The study on the relation between the thickness of oxidation layer and denitrification, PAWEES-INWEPF joint international conference 2015, 2015 年 8 月 20 日, マレーシア・クアラルンプール
- ④ Kuroda, H., Lin, X., Maeda, S., Yoshida, K. (2015): Study on the water resources recharge of the deterioration of water source for irrigation in traditional paddy field area, PAWEES-INWEPF joint international conference 2015, 2015 年 8 月 20 日, マレーシア・クアラルンプール
- ⑤ Tanaka, K., Yoshida, K., Maeda, S. and Kuroda, H. (2015): Modeling of rice harvested area and its impact on rice yield and production in Mekong river basin, PAWEES-INWEPF joint international conference 2015, 2015 年 8 月 20 日, マレーシア・クアラルンプール
- ⑥ Maeda, S., Tanigawa, H., Yoshida, K. and Kuroda, H. (2015): Evaluation of ecohydraulic effectiveness of an artificial fish nest in an agricultural drainage canal, 36th IHAR World Congress, 2015 年 6 月 28 日, オランダ・ハーグ
- ⑦ Yoshida, K., Tanaka, K., Hariya, R., Azechi, I., Iida, T., Maeda, S. and Kuroda, H. (2014): Evaluation of automatic irrigation system in paddy for water and energy saving and environmental conservation, 11th International Conference on Hydroscience & Engineering, 2014 年 10 月 2 日, ハンブルク大学 (ドイツハンブルク州)
- ⑧ Maeda, S., Yoshida, K. and Kuroda, H. (2014): Grey fuzzy optimization of total nitrogen load allocation to nonpoint sources in watershed, 11th International Conference on Hydroscience & Engineering, 2014 年 10 月 2 日, ハンブルク大学 (ドイツハンブルク州)
- ⑨ 前田滋哉・吉田貢士・黒田久雄(2014): 区間計画法を用いた面源排出負荷量の多目的最適化, 農業農村工学会講演会, 2014 年 8 月 26 日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (新潟県新潟市)
- ⑩ Maeda, S. (2013): Optimal ecohydraulic design of fish habitat in canal under ambiguity in preference curve, 35th IAHR World Congress, 2013 年 9 月 10 日, Century City International Convention Center (中国四川省成都)

- ⑪ 前田滋哉(2013): 選好曲線のあいまいさを考慮した魚類生息場の最適設計支援手法, 農業農村工学会大会講演会, 2013年9月4日, 東京農業大学世田谷キャンパス (東京都世田谷区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 滋哉 (MAEDA SHIGEYA)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号: 00346074

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し

(4) 研究協力者

無し