

農業用排水路における魚巢と魚溜での乱流特性と魚の推定消費エネルギー  
 Estimation of turbulent characteristics and fish energy expenditure  
 in fish nest and pool in agricultural drainage canal

○ 前田 滋哉・曲渕 光・吉田 貢士・黒田 久雄

Shigeya Maeda, Kou Magaribuchi, Koshi Yoshida and Hisao Kuroda

### 1 はじめに

農村地域における環境配慮工として、魚道、魚巢、魚溜などがしばしば設置されている。一方、それらの有効性の評価やより良い設計法は十分に研究されていない。近年、魚道における魚の遡上経路選択や魚の魚巢利用には、時間平均流速だけでなく乱流が影響していることがわかってきた。例えば、乱れエネルギー<sup>1)</sup>、乱れ強度<sup>2)</sup>、レイノルズ応力<sup>3)</sup>などの乱流特性が重要な場合があり、一般に乱れが強すぎる状況を魚は好まないとされている。しかし、乱流特性に対する魚の行動はその流水性・止水性の別や空腹度等の要因に左右される<sup>4)</sup>ため、乱流特性を環境配慮工の有効性評価の指標とするには、更なる研究を要する。また、これらの知見は実験的に得られたものであり、実際の農村地域の水路における調査例はほとんど無い。一方で、魚の存在量は魚の純獲得エネルギーと強い相関がある<sup>5)</sup>ことが知られており、エネルギーの観点からの環境配慮工の有効性評価は汎用性の面から有望な方法の一つと考えられる。

以上を踏まえ、著者らは魚巢と魚溜が設置された農業用排水路を対象に、乱流特性の実態調査と魚の消費エネルギーの推定を行ってきた。本報では前報<sup>6)</sup>に新たなデータを加え、結果を考察する。

### 2 調査方法

茨城県稲敷郡美浦村興津地区の農業用排水路にて、魚巢が合計6個水路側壁に付設されている区間 (Section 1) と、そこから約100m上流の魚巢無区間 (Section 2) を調査対象とした (図1)。この排水路は霞ヶ浦南部に広がる谷津田地帯にあり、下流端で高橋川に接続後霞ヶ浦へ至る。Section 1は高橋川河口より3.9km上流に位置し、霞ヶ浦より魚が遡上する。本研究の対象魚はヌマチチブ成魚 (全長6.3cm, 体高1.0cm) とした。魚巢は図1のように排水路の側壁から0.9m陥没するよ

うにあり、開口部は幅1.14m、高さ1mの矩形である。

水理調査は8回 (2013年10月10日, 2014年4月24日, 6月16日, 10月8日, 2015年4月20日, 5月11日, 7月27日, 9月30日) 実施した。水理調査では図1のように排水路内に15の観測地点S1~S15を設け、水深を計った。各地点で鉛直方向に1~2個の観測点を設定し、そこで瞬間流速を観測した。3次元電磁流速計VP3500 (ケネック) を使用し、80Hzで30秒間 (ただし第1回目は25秒間) 流速観測を行った。

図1に示すように Section 1の上・下流側には落差があり、路床が1段下がった状態 (魚溜) になっていた。排水路はコンクリート3面張矩形水路だが、魚溜の路床には礫が敷かれ、その上に砂が堆積した状態であり、路床の場所的变化が大きかった。魚巢内のS1~6では、魚巢内奥に向かって堆砂量の増加がみられた。一方 Section 2に堆砂はほとんど見られなかった。

### 3 乱流特性と魚の消費エネルギー

排水路内の観測点において、水の瞬間流速を一定の時間間隔で記録する。このとき、乱れによる運動エネルギー (乱れエネルギー) TKE<sup>3)</sup>は

$$TKE = \frac{1}{2} (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}) \quad (1)$$

と表される。ここで、 $u, v, w$  = 乱れ速度ベクトルの $x, y, z$ 成分であり、変数のオーバーラインは時間平均操作を表す。TKEは絶対的な乱れの程度を表している。

時間平均流速ベクトルの大きさ $V_0$ に対する瞬間流速の標準偏差ベクトルの大きさを表す指標として、乱れ度 $K$ を次式<sup>4)</sup>で定義できる。

$$K = \frac{\sigma}{V_0} \quad (2)$$

$K$ は相対的な乱れの程度を表している。

次のレイノルズ応力も乱流の強度を表す指標として計算する。

$$\tau_{xy} = -\rho\overline{uv}, \tau_{yz} = -\rho\overline{vw}, \tau_{xz} = -\rho\overline{uw} \quad (3)$$

乱流下で魚が流水中に定位するために消費するエネルギー EE は、魚体に水流が作用することで生じる抗力から次式<sup>4)</sup>で表される。

$$EE = \frac{\rho C S V_0^3 T}{2} (1 + 3K^2) \quad (4)$$

ここで  $\rho$  = 流体密度;  $C$  = 魚体抗力係数;  $S$  = 抗力作用面積 (時間平均流速の向きに垂直な面に魚体を投影した面積);  $T$  = 時間長である。消費エネルギー EE が小さいことは、魚の摂餌行動によるエネルギー獲得労力の軽減に繋がる。したがって EE は魚の生息しやすさの指標の一つと考えられる。ここでは 30 秒間の消費エネルギーを推定した。

#### 4 結果と考察

全 8 回の調査において、流量は 0.08~0.31m<sup>3</sup>/s, 水深は 0.12(S13)~0.54(S10)m, 時間平均流速は  $8.1 \times 10^{-4}$ (S1)~0.61(S15)m/s の範囲にあった。魚巣と魚溜の効果の評価するため、観測地点を 3 つのグループ G1:「魚巣内とその周辺」(S1~9), G2:「魚溜内」(S10~13), G3:「対照区」(S13~15) に分類した。グループ G1, 2, 3 のサンプル数はそれぞれ, 113, 45, 24 だった。魚体抗力係数は対象魚を細長物体と仮定し、全長に基づくレイノルズ数から観測点ごとに推定した。グループ G1, 2, 3 における各特性値の中央値に有意差があるかどうかを、Mann-Whitney の  $U$  検定により調べた。図 2 に箱ひげ図と検定結果を示す。魚巣、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巣、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。魚巣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巣は好ましいと考えられる。一方、乱れ度は魚巣、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。

#### 5 おわりに

排水路に設置された魚巣、魚溜での乱流特性の実態調査を行った。魚巣、魚溜による魚の消費エネルギーの低減効果が示唆されたが、乱流特性の解釈には今後更に研究が必要である。

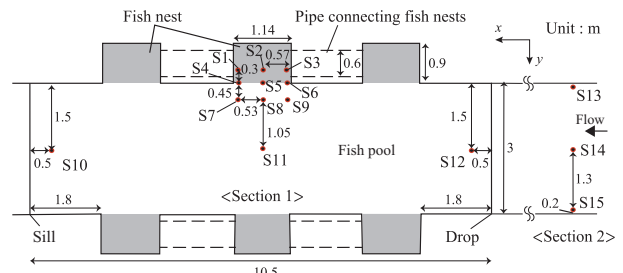
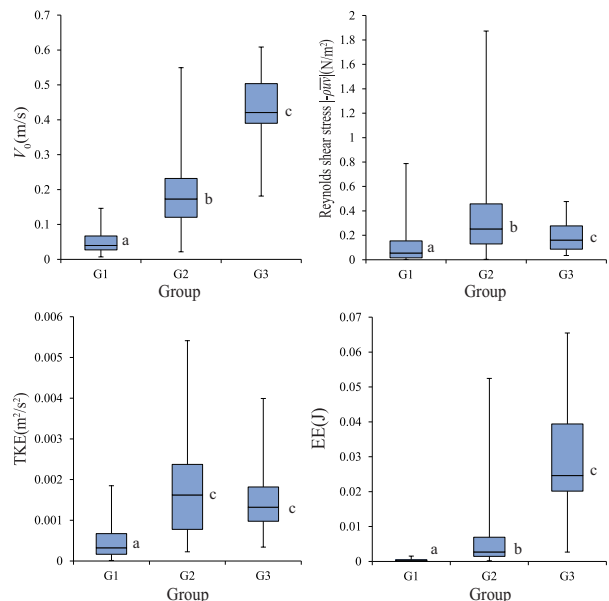


図 1 排水路内の魚巣、魚溜、観測地点

Fig.1 Fish nests, pool, and monitoring spots



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

図 2 水理変数と魚の消費エネルギーの箱ひげ図

Fig.2 Box plots of hydraulic variables and fish energy expenditure

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 (基盤研究 C) 25450353 の助成を受けた。

引用文献 1) 中村ら (2008): 室内実験による護岸ブロックの魚類保全効果の検討, 環境工学研究論文集, 45, 507-514. 2) 鬼束ら (2009): アユの休息場所の水理特性とその挙動との関係, 水工学論文集, 53, 1225-1230. 3) Silva et al. (2012): Cyprinid swimming behaviour in response to turbulent flow, *Ecological Engineering*, 44, 314-328. 4) Pavlov et al. (2000): The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish, *Journal of Ichthyology*, 40(2), S232-S261. 5) Kawai et al. (2014): Combining energetic profitability and cover effects to evaluate salmonid habitat quality, *Environmental Biology of Fishes*, 97, 575-586. 6) 前田ら (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巣の有効性評価, 平成 27 年度農業農村工学会講演会講演要旨集, 290-291.