

杭水制内への魚の進入について

東洋大学大学院 学生員 ○栗原朋之 青木宗之 内山文哉
(株)東京建設コンサルタント 正会員 高水克哉
東洋大学 正会員 福井吉孝

1. 目的

本研究は、杭水制の配列変化による魚の挙動への影響、生息場としての評価、魚の挙動を詳細に再現することを目的とする。

2. 実地調査（間伐材を用いた杭水制の実施例）

北上川水系砂鉄川には、直径 15(cm)の間伐材(松)を用いた杭水制がある(図 1)。岩手河川国道事務所一関出張所の調査によると、杭水制が設置された区間とされなかった区間の比較から、魚の生息場として適していることが判る¹⁾(図 2)。

3. ランダムウォークによる魚の挙動解析

まず、二次元浅水方程式と連続式を用いて、図 3 に示す観測領域内の水深、および流速を求める。求めた流速 u, v の値が、魚の挙動を表わす式(2)を計算するとき用いられる。魚はランダムに遊泳、移動すると考える。線形合同法により得られる乱数列 $Z=(z_0...z_n)$ を式(1)に代入することにより、流水中での仮想魚の移動方向角度 θ_n を $0 \sim 2\pi$ の範囲で得る。 θ_n は移動方向と X 座標とのなす角度とする。単位時間 t 後の仮想魚のいる地点は、次式より求める。

$$\theta_n = 2\pi z_n \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_n = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \Delta t (U_m - U) \cos \theta_n + X_{n-1} \\ Y_n = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \Delta t (U_m - U) \sin \theta_n + Y_{n-1} \end{cases} \quad (2)$$

ここに X_n, Y_n ：現在魚がいる地点の各座標、 X_{n-1}, Y_{n-1} ：前時刻の各座標、 U_m ：遊泳速度、ここでは 45(cm/s)を採用した。 $U=\sqrt{u^2+v^2}$ ：その場の流速である。走流性を表す係数(α)、壁に対する反応を表わす係数(β)、構造物に対する反応を表わす係数(γ)の値を(2)式へ代入することで、 X_n, Y_n を得ることができる。

4. 実験概要

実験水路を図 3 に示す。観測領域は 1.1×2.2 (m)、河床勾配 $i=1/500$ 、流量 $Q=35$ (l/s)とした。魚の挙動実験は観測領域下流部からウグイを 20 匹放流し、ビデオカメラで 30 分間撮影した。表 1 に実験ケース一覧を示す。水理実験は、直径 $d=0.5$ (cm)の木製円柱を模擬杭水制とし、水路右岸側に設置した。また、実験時の平均水深は、魚の遊泳に必要な 10(cm)とした。

5. 実験と解析結果

1) 魚の挙動結果

円柱群に出入りしたウグイの数(n_i)を図 4 に示す。図は、円柱群の無い Run1 の時に、円柱群の領域内にいた数(n_1)を基準にして比較している。結果、砂鉄川の水制と同様に円柱群内に入る数が多いことが判る。また図 5 は、円柱群内で滞留した時間(t_i)を示しており、図 4 と同様、円柱群の無い Run1 の滞留



図-1 北上川水系砂鉄川の杭水制（千鳥配列）

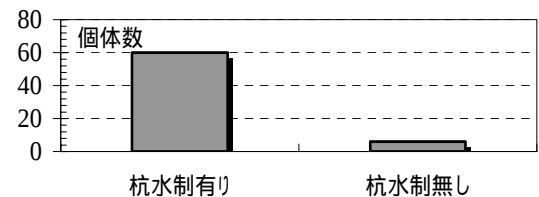


図-2 魚の生息数(砂鉄川)¹⁾

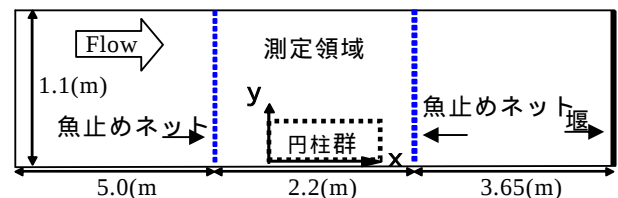


図-3 水路平面図

表-1 実験ケース一覧

	円柱本数 (本)	横断方向 設置間隔 s (cm)	縦断方向 設置間隔 l (cm)	密度度 λ	透過係数 K (m/s)
Run 1	0	-	-	-	-
Run 2	275	2	4	17.188	2.068
Run 3	150	4	4	4.688	2.800
Run 4	143	2	10	3.575	2.868
Run 5	78	4	10	0.975	3.883
Run 6	77	2	20	0.963	3.908
Run 7	42	4	20	0.263	5.292
Run 8	44	2	40	0.275	5.170
Run 9	24	4	40	0.075	7.000

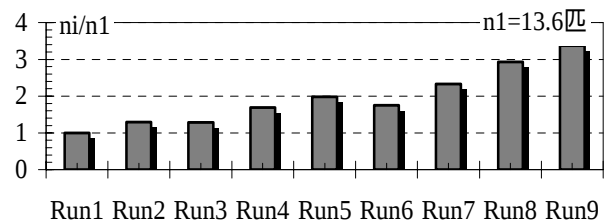


図-4 円柱群内に入ったウグイの数

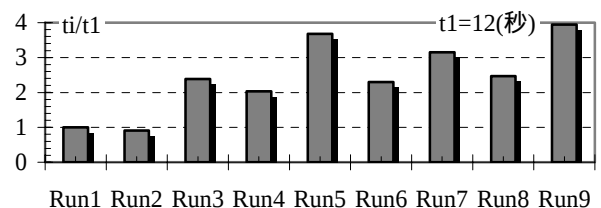


図-5 ウグイが円柱群内で滞留した時間

キーワード 杭水制、ウグイ ランダムウォーク、

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学工学部 TEL: 049-239-1404 E-mail: kuri_jim@hotmail.com

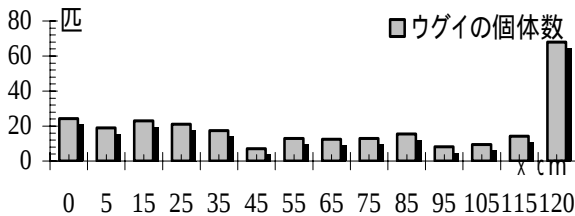


図-6 円柱群内への進入箇所と個体数 (Run9)

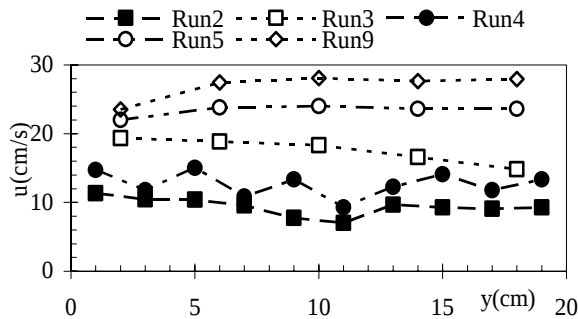


図-8 円柱群最後列の横断方向流速変化

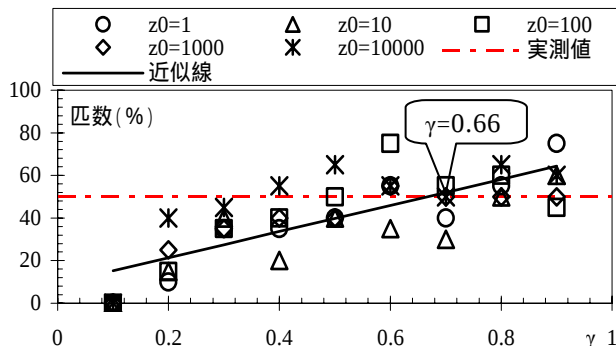


図-10 円柱群内に進入する匹数の割合

時間(t1)を基準として比較している。結果、円柱群を有する場合に滞留時間が長いことが判る。次に、円柱群内への進入匹数が多く、滞留時間が長かったRun5, Run9について検討する。ウグイの円柱群内に進入した箇所と個体数を図6, 7に示す。円柱群際先端部の横からの進入は、流下方向に顕著な差はみられないが、円柱群最後列からの進入が両ケースで最も多いことが判った。次に、円柱群最後列の流速を図8に示す。Run5, 9は、他のケースと比べ流速が大きい。このことから、ウグイは円柱群最後列からの速い噴流状の流れに対して、走流性(流れに逆って泳ぐ習性)を発揮し、円柱群最後尾から進入したと考えられる。

ここで、Run9は魚の動き易さを考慮したケースである。Run5は水理模型実験に対して推奨されている縮尺模型1/10~1/30²⁾のケースであり、実魚の動きを再現する計算をこのケースで行う。実魚の遡上軌跡を図9に示す。ウグイは遡上する際、側壁、円柱群内部を好んで移動することが確認できた。

2) 構造物に対する反応を表わす係数(γ)について

係数(γ)は、視界範囲内に円柱群がある場合、それに対して $0 < \gamma < 1.0$ の範囲内で(2)式に与える。γの値が0に近い場合、移動距離が減少し円柱群内へ進入しにくくなる。1に近い場合は、この逆となる。γ

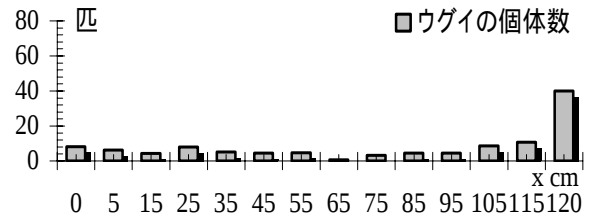


図-7 円柱群内への進入箇所と個体数 (Run5)

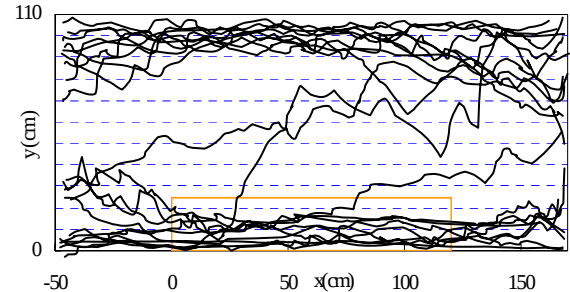


図-9 遊泳実験軌跡 Run5

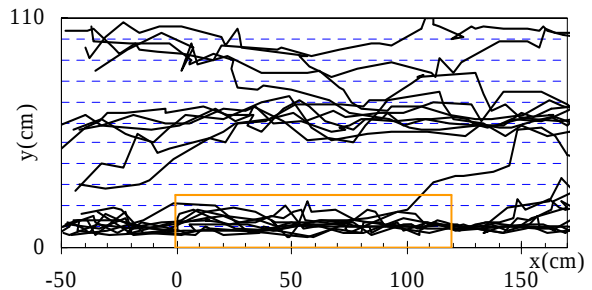


図-11 挙動解析軌跡 Run5(γ=0.66, Z0=10000)

の値と進入する匹数の関係が図10である。実験と比較すると $\gamma=0.66$ が最適な値となり、その挙動解析結果を図11に示す。また、図10に乱数列の初期値 z_0 の変更結果をγの変化と共に載せている。 z_0 の相違により円柱群内に進入する匹数に若干の違いが見られた。そこで、この初期値 z_0 の違いが解析結果にどのような影響を与えるのかを見た。今回の実験軌跡、解析軌跡を比較すると、円柱群内に進入した匹数に着目した場合、初期値 $z_0=10000$ (任意に決めた値)で50%となり、ウグイの挙動を再現できたといえる。

5. まとめ

1) 間伐材を用いた杭水制が、実施例から見て魚の生息に適していることが判った。このことは、実魚を用いた模型実験でも同様の結果を得た。2) 杭水制に進入するウグイの個体数は、配列に影響することが判った。特に $s=4\text{cm}$ のケースで滞留することが判った。3) ランダムウォークモデルに魚の特性(γ)を入れることによって、流水中の魚の挙動を的確に表わすことが出来た。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：平成18年度東北地方整備局管内技術研究発表会ホームページ，
<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/happyoukai/H18/2bikoku/2-18.pdf>, 2006/8/15
- 2) 山本晃一：護岸・水制の計画・設計 - 一歩先そして一歩手前 - , 山海堂, pp. 238, 2003.