

杭水制とウグイの挙動について

東洋大学大学院 学生員 青木宗之

 東洋大学 正会員 福井吉孝
 東洋大学 学生 染井香菜 小原 誠
 中央開発コンサルタント 栗原朋之

1. はじめに

我々は、まず、アユのような走流性の強い魚の迷入防止法の開発のために、流れを浅水流れのモデルで、その中で魚の動きはランダムウォークモデルで表すことで、良好な迷入防止法を見出すことが出来た¹⁾。次に、杭水制に対する魚の挙動を通して、その杭水制が魚の良好な生息場を提供できるのか否かについて、同じモデルを用いて解析を行ってきて、現在までのところ、概ね本解析法で挙動を再現できることが判った²⁾。ここではランダムウォークの式中の係数の内、 γ (構造物に対する反応を表す係数)と α (走流性を表す係数)、乱数で与える計算初期値 Z_0 および魚のサイズによって遊泳行動がどう異なるかについて更に行った検討結果を示す。

2. ランダムウォークによる魚の挙動解析

まず、二次元浅水流方程式と連続式を用いて、水深、および流速を求める。求めた流速 u, v の値が、ランダムに遊泳、移動すると考える魚の挙動を表すランダムウォークの式(2)を計算するとき用いられる。線形合同法により得られる乱数列 $Z=(z_0, \dots, z_n)$ 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。次に単位時間 Δt 後の仮想魚のいる地点は、次式より求める。

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

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

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す係数(β)、構造物に対する反応を表す係数(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。

3. 構造物に対する反応を表す係数(γ)について

視界範囲内に円柱群がある場合、それに対して $0 < \gamma < 1.0$ と考える。 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 の値と円柱群内に進入する匹数の関係が図-1 である。実験と比較すると $\gamma=0.66$ が最適な値となった。図-1 で縦軸は各時間の円柱群内にいた魚の数の数を総数で除した値(%)である。その挙動軌跡を図-2 に示す。流量 $Q=35$ (l/s) とした。その水路の中ほどの右岸側に直径 $d=0.5$ (cm) の木製円柱 78 本を整理に並べて模擬杭水制とした。Run5 では横方向間隔 $s=4.0$ (cm)、流下方向間隔 $l=10.0$ cm である。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。実験時の平均水深は、魚の遊泳に必要とされる 10(cm) とした。

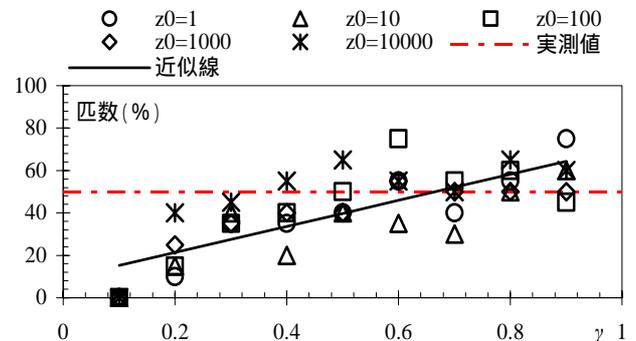


図-1 円柱群内に進入する匹数と

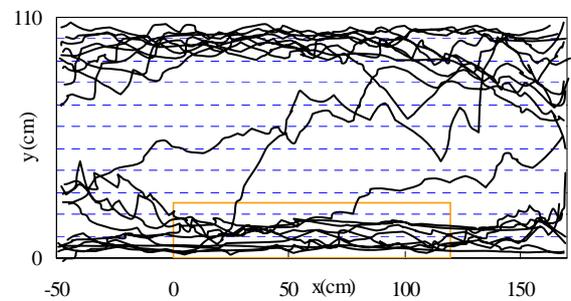
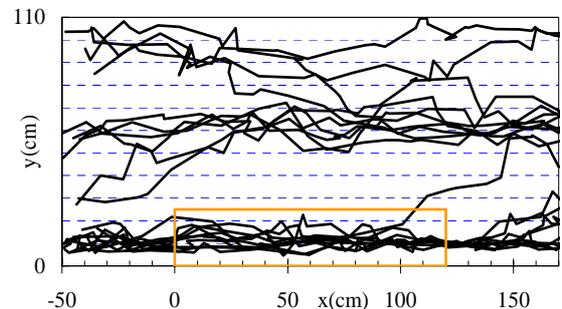


図-2 遊泳実験軌跡(Run5)

4. 初期値 Z_0 について

式(1)の θ_n を求める乱数列の初期値 Z_0 の相違により、円柱群内に進入する匹数に違いが見られるかどうかを検討した。結果を図-1 に γ の変化と共に載せている。初期値 $Z_0=10000$ で $\gamma=0.66$ を採用した場合の遊泳軌跡の計算結果は図-3 である。円柱群内に進入した匹数は、50% となり、図-1 の一点鎖線を示したウグイの挙動結果を再現できたといえる。

図-3 挙動解析軌跡 Run5 ($\gamma=0.66, Z_0=10000$)

この係数 γ は円柱の密度・配列と密接な関係を持っていると考えられるので、 γ と密度 ($\lambda = N \Sigma a_i / A$, ただし N は円柱本数, a は円柱の断面積) の関係を求めた(図-4)。密度ごとに γ を定めることで、計算を行うことが出来る。

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: dd061001@cc.eng.toyo.ac.jp

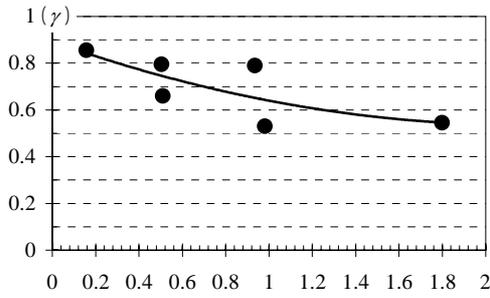


図-4 密度 (× 10²)

5. 走流性を表す係数 について

ウグイはアコほどではないが走流性を持っているので、実験の範囲内では、外部からの刺激・脅威を受けない限り、流れに背を向けることは殆どない。したがってαが0になることはない。ただし、流速が大きくなると、例えば流速が巡航速度より大になると、突進速度でもって瞬時は遡上できるが、その流速の状態が続くと、流れに流されることが多い。しかし、この時も流れを背にする、つまり向きは変えることは殆どない。つまりαは正のままである。

6. 流速UとUmの関係

1) Uと魚の存在位置の関係

流量(流速)の変化にウグイがどのような対応をするのを見るため水路幅80cmの開水路を使用して、10匹のウグイを30分間遊泳させて、その存在位置の累積度数をカウントした。実験ケースは先に行った円柱群なしのケース Run1 と有りの Run5 で行った。使用したウグイの平均体長は約7.6(cm)である。図-5はRun1での円柱群があると想定した場所にいた魚の総数であり、図-6はRun5で円柱群内にウグイが実際にいた総数である。図から判ることは円柱群内に魚はよく入る。これは円柱群内では流速が減少し、いずれのケースでも巡航

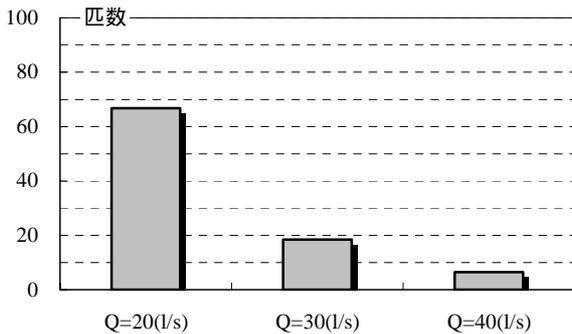


図-5 円柱群があると想定した場所にいた魚の総数 (Run1)

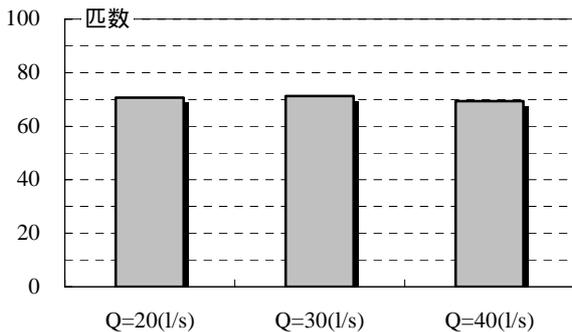


図-6 円柱群内にウグイが実際にいた総数 (Run5)

速度以下になっていたからである。したがって流量が増すと、円柱群外では大きな流速になるが、円柱群内では遊泳に適した流れとなり、その場にウグイが居つくことになる。

2) (U_m-U)の変化と挙動

図-7はある流速の下で、移動速度(U_m-U)が変化するとした時の計算結果である。この図から(U_m-U)の値が計算結果を支配していることがわかる。

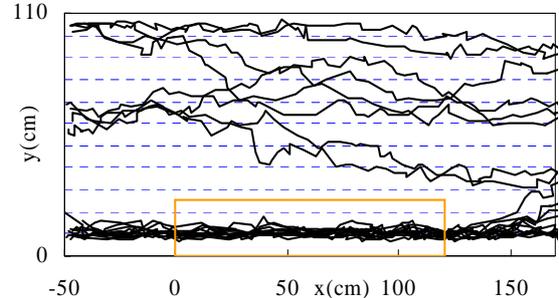
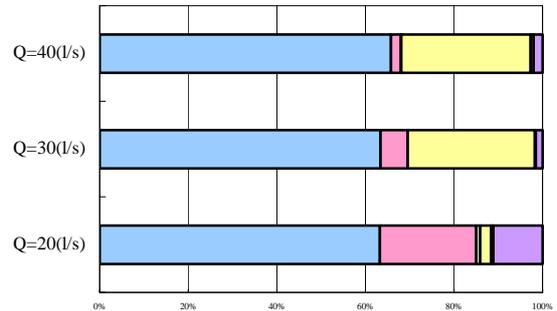


図-7 挙動解析軌跡 Run5(α=0.66, Z₀=10000, U_m=20~45cm/s)

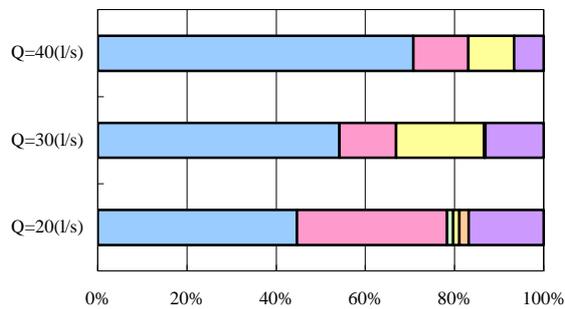
3) 体長と流量変化と存在位置との関係

大きな魚(体長約13.0cm)も用いて、円柱群のないときの魚の存在箇所と遊泳速度の検証を行った(図-8)。

小さい魚の巡航速度が65(cm/s)突進速度が120(cm/s)であったのに対して、それぞれ80(cm/s)と160(cm/s)となった。体長の大小に係らず流速の小さい側壁を好することが判った。したがって図-6の傾向は大きい魚でも生じる。



a) 平均体長約7.6(cm)



b) 平均体長約13.0(cm)

側壁 円柱群 円柱群際 上流部 下流部 その他

図-8 魚の存在箇所 (Run1)

参考文献

- 1) 関谷, 福井, 下村, 打田剛: 魚類の迷入とその防止法, 土木学会論文集, No.782, pp. 81-91, 2005
- 2) 高水, 栗原, 青木, 内山, 福井: 杭水制内外の流れと魚の挙動, 土水工学論文集, 第51巻, pp.1247-1278, 2007