

魚道下流域での流れと魚の行動

東洋大学大学院 学生員 ○青木 宗之
東洋大学理工学部 正会員 福井 吉孝

1. はじめに

階段式魚道には、魚を魚道下流入口に集める目的で、しばしば呼び水水路が魚道に隣接して設置される（図-1）。しかし、この呼び水は、ときとして魚道下流域に循環流を形成させてしまう。循環流が形成されると、魚がその流れに乗り、その場に滞留し続けてしまう¹⁾。なお、循環流対策として、導流壁が用いられることもある。このような魚道下流域での流れは、二次元浅水流モデルに干渉によるせん断力項を付加したモデルで、良好に再現することができた¹⁾。

本報告では、魚道下流域での魚の行動を、ランダムウォークモデルを用いて再現することを目的とし、魚の遊泳特性である、走流性を表す係数 α 、壁に反応を示す係数 β の妥当性の検証を行った。

2. ランダムウォークモデルを用いた魚の行動解析

魚の遊泳行動は、水理条件や環境条件に左右されるが、微小時間における移動は、本質的にランダムな動きと考えられる。そこで、魚の行動追跡には、ランダムウォーク法を使用した。具体的には、ある地点にいる仮想魚が次の瞬間に移動する方向をランダムに選択させ、移動速度をその場の水理量（流速 u , v ）にあわせ、変化させるものとした。本研究では、線形合同法により得られる乱数列 $Z=(z_0...z_n)$ を使用した。仮想魚の存在箇所は、次式により求めることができる。

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

ここに、 X_n, Y_n ：現時刻に仮想魚が存在している箇所の x, y 座標、 α ：走流性を表す係数、 β ：壁に反応を示す係数、 γ ：構造物に反応を示す係数、 U_m ：仮想魚の遊泳速度(m/s)、 $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ ：その場の流速値(m/s)である。なお、 U_m, U はスカラー量で与えており、 U は見かけの流速である。つまり、仮想魚の遊泳行動に対する抵抗とみなしている。 X_{n-1}, Y_{n-1} ：前時刻に仮想魚が存在していた箇所の x, y 座標である。 θ_n は魚の移動方向と x 座標とのなす角度であり、

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

であり、 $0 \leq \theta_n \leq 2\pi$ の範囲で与えられる。

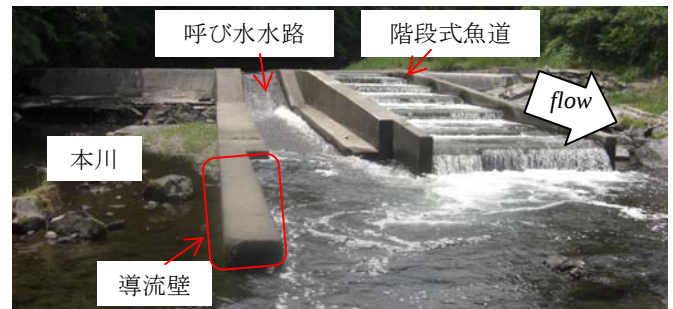


図-1 階段式魚道と呼び水水路

なお、通常は構造物に反応を示す係数 γ を $0 \leq \gamma \leq 1$ の範囲で与えている²⁾。魚道は構造物であるため、 γ を考慮する必要があるが、ここでは先ず、魚道の呼び水がつくり出す流れと魚の行動のみに着目しているため、 γ を考慮しないことにした。

3. 走流性を表す係数 α について

(1)式中の α は、次式によって求める。

$$\left. \begin{aligned} |\phi - \theta_n| \leq 180^\circ \text{ のとき } \alpha &= \frac{|\phi - \theta_n|}{180^\circ} \\ |\phi - \theta_n| \geq 180^\circ \text{ のとき } \alpha &= \frac{360^\circ - |\phi - \theta_n|}{180^\circ} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに、 ϕ ：流れの角度である。 $\alpha=0$ のとき、仮想魚が流れに背を向けているときである。これを(1)式に代入すると、 X_n, Y_n は「0」であり、仮想魚がその場に留まってしまうことになる。そこで、 α の妥当性を検証するために、ウグイを使用し実験を行った。実験は、直径 1.2(m)の円形水槽に回転流を発生させた。なお、水深は 10(cm)である。この条件下で、水槽中に 5 尾のウグイを放流した。その後、ウグイが流れに向かってどのように遊泳しているかを観察した（図-2）。なお、図-2 の縦軸は、ウグイが存在した箇所の流速 u (cm/s)である。解析方法は、ある 1 尾のウグイを対象とし、その存在箇所と遊泳方向を 10 秒ごとに解析した。このとき、流れに向かっていたときを正とし、流れに背を向けたときを負とした。その結果、ウグイは流れに向かって遊泳しているケースが多く、その割合は約 95(%)であった。また、流れに背を向けたケース、つまり、 $\phi \neq \theta_n$ の場合においては、すぐに体勢を整え、流れに向

キーワード 階段式魚道、呼び水、循環流、ランダムウォーク

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 TEL 049-239-1404 E-mail: dd061001x@toyonet.toyo.ac.jp

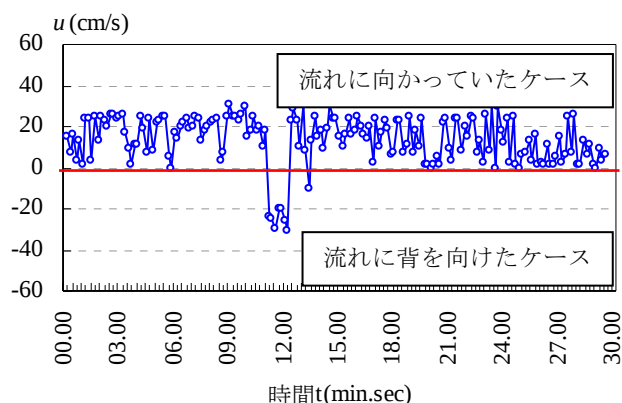


図-2 α の妥当性の検証実験結果（ウグイの存在した箇所の流速と流れに対するウグイの向き）

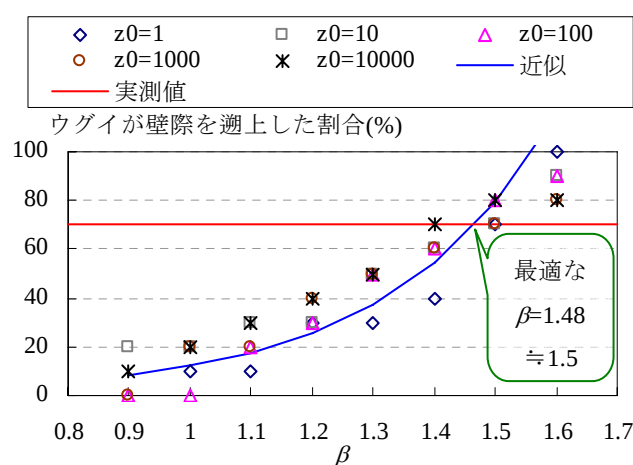


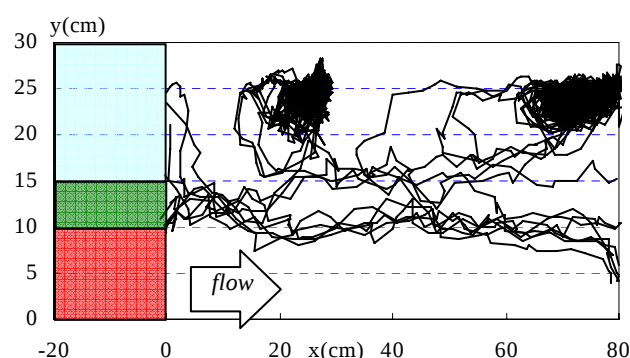
図-3 適切な β の検証結果

かって泳ごうとし、その場に留まる様を実験より確認した。よって、 $\alpha=0$ であり、(3)式の妥当性を示すことができた。

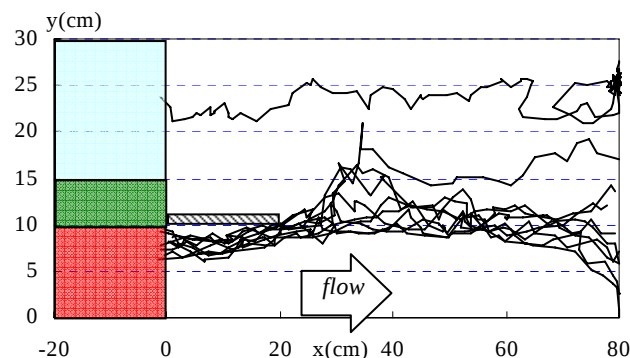
4. 壁に反応を示す係数 β について

(1)式中の β は、魚が壁に反応を示す係数である。仮想魚が壁を認識した場合に 1.5 を代入し、これにより壁に早く到達し、その結果、側壁選好性が表現できる。

この β の値の妥当性を検証するために、幅 0.8(m)の亚克力製矩形断面水路を用いて実験を行った。流量 Q は 28(l/s)であり、水深は 10(cm)である。この条件下で、水路中に 10 尾のウグイを放流し、ウグイが壁際を遡上した割合を観察した。これを 10 回繰り返した結果、壁際を遡上したウグイの割合は、約 70(%)であった。この実験結果をもとに、適切な β の値の算出を試みた。検証結果を図-3 に示す。このとき、乱数列の初期値 z_0 を変更し、いくつかの異なる乱数列を生成させて計算を行った。その結果、 $\beta=1.48 \div 1.5$ が得られた。よって、 $\beta=1.5$ は妥当であることが分かる。



a) 導流壁なし



b) 導流壁あり

右岸側から■魚道 ■呼び水水路 ■主水路 ■導流壁

図-4 ランダムウォークモデルを用いた魚の行動軌跡図

5. 解析結果

図-4 に、ランダムウォークモデルを用いた魚の行動軌跡図を示す。仮想魚は、水路左岸側で滞留していることが分かる。また、仮想魚が、主水路へ進入してしまっている。その結果、魚道下流入口に辿り着けていない。また、導流壁があることによって循環流が抑制されるため、魚が魚道下流入口へ辿り着きやすくなっている様を再現できている。

6. おわりに

1)魚の遊泳特性である、走流性を表す係数 α 、壁に反応を示す係数 β の妥当性を示すことができた。

2)ランダムウォークモデルを用いて魚道下流域での魚の行動を良好に再現できた。

今後は、構造物に反応を示す係数 γ を考慮し、より精度の高いランダムウォークモデルを構築していく。

参考文献

- 1)青木, 吉野, 福井: 呼び水式魚道下流における流れとそれに対する魚の挙動, ながれ, 第 28 巻 6 号, pp.485-494, 2009
- 2)高水, 栗原, 青木, 内山, 青木: 杭水制内外の流れ魚の挙動, 水工学論文集, 第 51 巻, pp.1273-1278, 2007