

ランダムウォークを用いた杭水制内外での魚の挙動解析

東洋大学 大学院 ○ 学生員 栗原 朋之
株式会社 東京建設コンサルタント 非会員 高水 克哉
東洋大学 工学部 正会員 福井 吉孝

1. 目的

ここではランダムウォークモデル¹⁾を用いて、杭水制内外での主としてウグイの挙動を、明確に再現することを目的とする。特に、解析に用いた乱数および解析式中の構造物に対する反応を示す係数(γ)について吟味を行う。

2. 数値実験の概要

(1) 水理データについて

水深、流速は、浅水 2 次元方程式と連続の式を用いて求める。

< x 方向の運動式 >

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^3} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{g}{K^2} M \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

y 方向も同様に考える。

< 連続式 >

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

ここに、 u : x 方向の平均流速、 M : x 方向の流量フラックス、 h : 水深、 H : 水位、 ε : 渦動粘性係数、 K : 円柱群の透過係数である。(1)(2)式より求めたその場の水理量(u , v)をランダムウォークの式に用いる。

(2) 乱数について

乱数には、自然乱数、一様乱数、正規乱数などがある。ある有限の区間内を等確率で現れる様な乱数、一様乱数を採用する。コンピュータでは、最大値を持つ自然乱数列を発生させ、それを最大値で割ることで 0~1 の一様乱数を得る。本研究の乱数は、線形合同法で求める。実際には、C 言語の標準ライブラリに備わる rand() 関数を使用する。

(3) 仮想魚の存在位置

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 $Z=(z_0, \dots, z_n)$ は

$$z_n = az_{n-1} + c \quad (\text{mod } M) \quad n \geq 1 \quad (3)$$

によって生成される。計算の際は、先ず初期値 z_0 を srand() 関

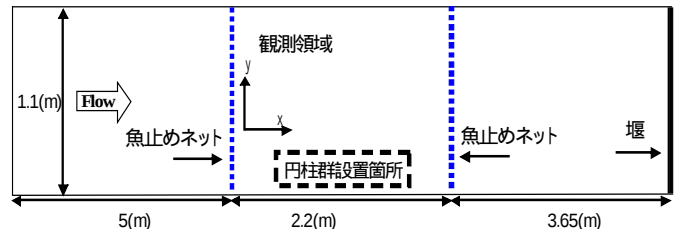


図-1 水路平面図

数を用いて求め、順次 $z_1 \sim z_n$ が求まる。ここで M は、最長周期を表し、 a は $0 < a < M$ 、 c は $0 < c < M$ の定数とする。生成された乱数 z_n に 2π をかけることで、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。

$$\theta_n = 2\pi z_n \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} X_n &= \alpha\beta\gamma \Delta t (U_m - U) \cos \theta_n + X_{n-1} \\ Y_n &= \alpha\beta\gamma \Delta t (U_m - U) \sin \theta_n + Y_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

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、 U : その場での平均流速である。走流性を表す係数(α)、壁に対する反応を示す係数(β)、構造物に対する反応を示す係数(γ)の値を(5)式へ代入することで、 X_n, Y_n を得ることができる。

3. 実験概要

図-1 に実験水路を示す。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、観測領域の下流部からウグイ 10 匹を放流し、ビデオカメラで 30 分間撮影した。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、平均水深 10 cm で実験を行った。

4. 実験と解析結果

図-2 は、杭の上流端を $x=0$ として x 軸に流下方向距離、 y 軸に円柱群に進入したウグイの個体数を全個体数で除して表している。図より、実験値、計算値ともに円柱群最後列から最も多く進入している。図-3 は円柱群最後列での流速を示す。図より実験値は、杭最後列の杭間で、流速の値が大きいことがわかる。魚は、この流れに対し走流性を発揮したと考え

キーワード ランダムウォーク、杭水制、構造物に対する係数(γ)、

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学工学部 環境建設学科 TEL: 049-239-1391 Fax: 049-231-4482

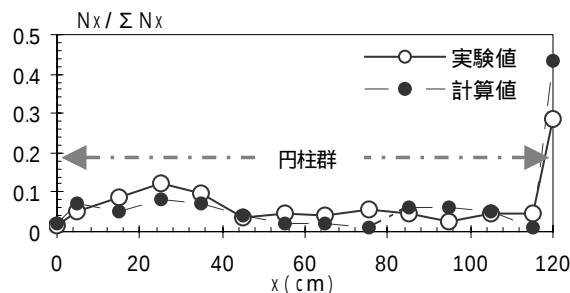


図-2 魚が進入した場所と個体数

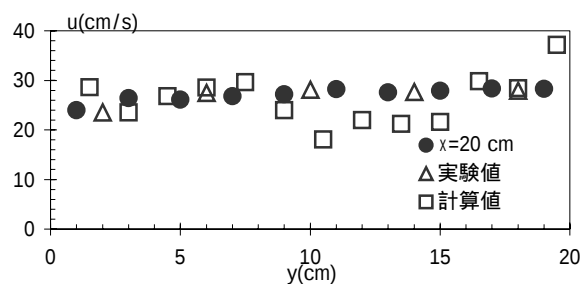


図-3 円柱群最後列杭間の流速

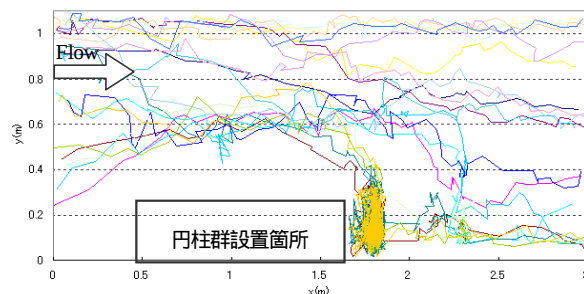
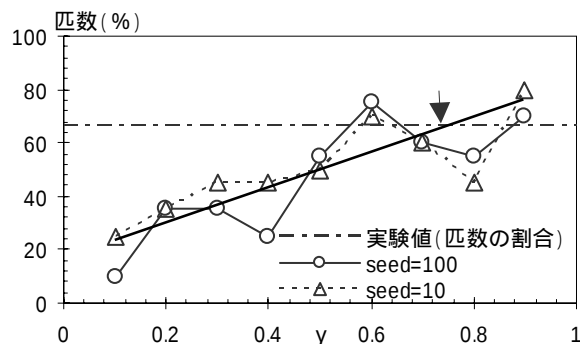
図-4 解析結果 ($\gamma=0.1$ $Z_0=12$)

図-5 円柱群内に進入する匹数

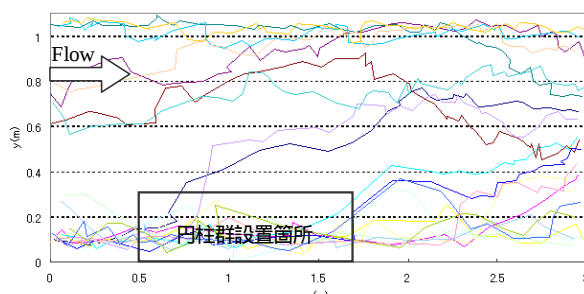
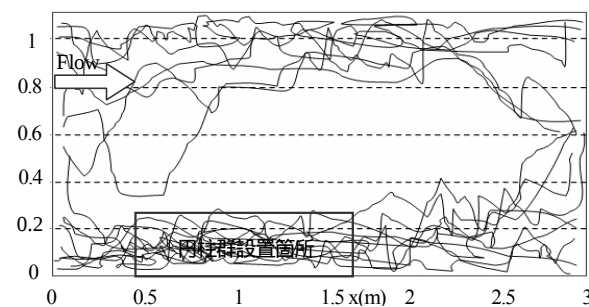
図-6 解析結果 ($\gamma=0.75$ $Z_0=12$)

図-7 魚の挙動実験結果

られる。計算値は、流速、魚の個体数ともに再現できていることが確認できた。

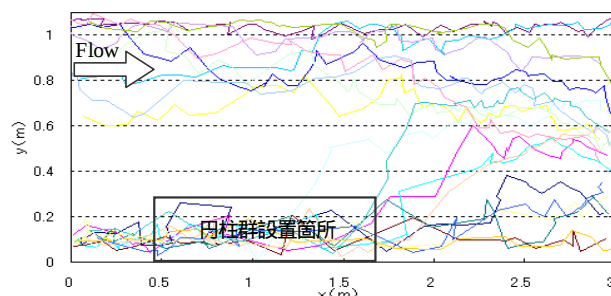
(1) 構造物に対する反応を示す(γ)について

係数(γ)は、視界範囲内に円柱群がある場合、 $0 < \gamma < 1.0$ の範囲内で(5)式に与える。図-4は、 γ の値を0.1とし場合の計算結果である。 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。

図-5は γ を変化させた時の円柱群内に進入する匹数を示す。実験では、円柱群内に進入する匹数が全体の66.3%を占めた。そこで実験値と計算値の交点である $\gamma=0.75$ を採用した。その計算結果を図-6に示す。実験結果図-7と比較すると、魚の挙動を明確に再現できていることが判る。なお、 $\alpha \cdot \beta$ については、既に魚の挙動実験より妥当な値を得ており、その値を解析に取り入れている。²⁾

(2) 初期値 z_0 の変更

(3)式を用いて z_n を順次計算していくのであるが、初期値 z_0 をどう定めるのが1つの問題である。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のが図-6,8である。図より、初期値の違いによる挙動の違いは大きくないことがわかる。

図-8 解析結果 ($\gamma=0.75$ $Z_0=100$)

5. まとめ

ランダムウォークの式を用いて挙動解析を行った結果

- 1) 図-5で得た γ の値(0.75)を用いることにより、ウグイの挙動を再現できた。つまりウグイは、杭水制群を嫌っていない
- 2) 乱数列の初期値は結果に大きな影響を与えない、つまり初期値はrand()関数を任意に用いてよい。
- 3) 以上の結果より実魚の挙動を明確に再現することができた。

参考文献

- 1) 関谷明, 福井吉孝, 下村充, 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) 青木宗之, 福井吉孝: 杭水制群と魚類の遊泳特性について: 第59回年次学術講演会, 第 部門, 2004