

棧粗度の間隔が魚の遊泳挙動に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生会員
九州工業大学工学部 学生会員

○増元達郎
橋本将直

九州工業大学大学院 学生会員
九州工業大学大学院 正会員

緒方亮
鬼束幸樹

1. はじめに

棧粗度の間隔によって相当粗度は大きく変化する．棧間隔と棧高さとの比である相対棧間隔がおおよそ 8 で最も相当粗度が大きくなり，相対棧間隔が小さくなると棧同士の上に死水域が生じる ことが知られている．このように棧間隔の変化が開水路の流況に及ぼす影響は大きい．また，棧粗度を底面に設置した小規模魚道が小型の魚類の遡上に有用であるという報告 がある．しかし，棧粗度の間隔を変化させた際の魚の遊泳特性は明らかにされていない．本研究では，棧粗度の間隔の変化がオイカワ (*Opsariichthys platypus*) の遊泳特性に及ぼす影響について検討した．

2. 実験装置および実験条件

図-1 に示す水路長 2.6m，幅 $B=0.8\text{m}$ ，高さ 0.3m の水路を実験に用いた．流下方向に x 軸， x 軸に直角上向きに y 軸，横断方向に z 軸をとる．水路始端から 0.6m より流下方向に $L=1.4\text{m}$ の範囲において，灰色に塗装した木製の棧高さ $k=0.06\text{m}$ の正方形棧粗度を配置した．棧を配置した領域を roughness area，roughness area の上流側および下流側をそれぞれ upstream area，downstream area とした．

表-1 に実験条件を示す．河床の棧間隔 λ を 0.16，0.32，0.48 および 0.64m の 4 通りに変化させると共に，upstream area における流速をそれぞれ体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}=1, 3, 5$ および 7(1/s) の 4 通りに変化させた合計 16 ケースの実験を行った．全ケースにおいて，水深はほぼ $h=0.15\text{m}$ であり，棧は冠水状態であった．

実験には平均体長 $\overline{B_L}=70\text{mm}$ のオイカワを 1 ケース $N=15$ 尾，計 240 尾用意し，個体差による偏りが生じないように順番に使用した．roughness area の上流端から 0.7m の位置の水路中央に直径 0.1m の円形金網を設置し，1 尾のオイカワを挿入した．挿入後 10s 間馴致した後に金網を取り上げ，右岸側および水路上部に設置した画素数 1440×1080 ，撮影速度 30fps の 2 台のビデオカメラで roughness area を実験時間 $T=90\text{s}$ 間撮影した．上記の実験を各ケースで 15 回，合計 240 回行った．撮影後，0.5s ごとの魚の遊泳位置を解析した．得られた位置情報よりオイカワの位置を特定し，流下率，縦断方向停滞率，鉛直方向遊泳頻度，三軸方向それぞれの総遊泳距離を算出した．

水路中央において x, y 軸方向にそれぞれ 34, 4 点のメッシュで構成される点のうち，棧が存在する点を除いた点を，電磁流速計を用いて流速 3 成分を 0.05s 間隔で 25.6s 計測した．計測後， x, y, z 軸方向の時間平均流速 U, V, W から合成流速 $V_v = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ を算出した．なお，流速測定時には開水路にオイカワを放流していない．

3. 実験結果および考察

図-2 に最大体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}=7(1/s)$ の 4 ケース ($\lambda 16-7, \lambda 32-7, \lambda 48-7, \lambda 64-7$) の鉛直断面内の 3 次元合成流速 V_v (m/s) を $\lambda 16-7, \lambda 32-7$ および $\lambda 64-7$ について $x=0.60-1.38\text{m}$ ， $\lambda 48-7$ について $x=0.44-1.22\text{m}$ の一部区間のみベクトル表示した．いずれの棧間隔においても棧の頂部以下の領域は低流速域となっている．しかし， $y=0.08\text{m}$ の高さにおいて相対棧間隔が 8 である $\lambda 48-7$ のケースは流速が遅く，棧間隔が最も短い $\lambda 16-7$ のケースでは速い流速となっているのが分かる．

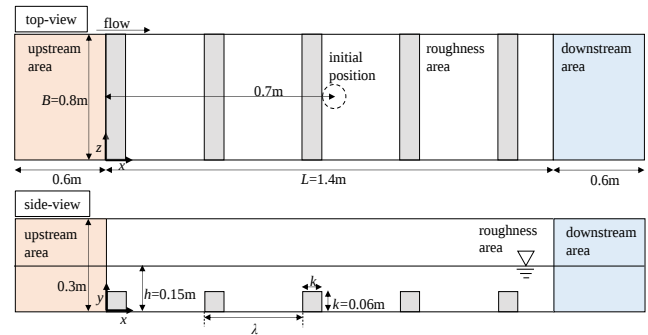


図-1 実験装置

表-1 実験条件

case name	space of strip roughness λ (m)	$U_m/\overline{B_L}$ (1/s)	case name	space of strip roughness λ (m)	$U_m/\overline{B_L}$ (1/s)
$\lambda 16-1$	0.16	1	$\lambda 48-1$	0.48	1
$\lambda 16-3$		3	$\lambda 48-3$		3
$\lambda 16-5$		5	$\lambda 48-5$		5
$\lambda 16-7$		7	$\lambda 48-7$		7
$\lambda 32-1$	0.32	1	$\lambda 64-1$	0.64	1
$\lambda 32-3$		3	$\lambda 64-3$		3
$\lambda 32-5$		5	$\lambda 64-5$		5
$\lambda 32-7$		7	$\lambda 64-7$		7

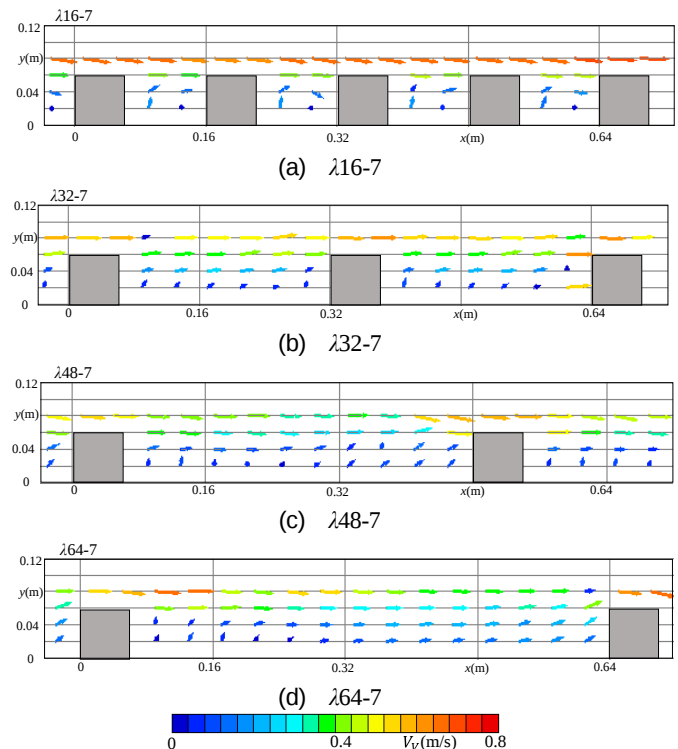


図-2 開水路鉛直断面内の流況 ($U_m/\overline{B_L}=7(1/s)$)

また、棧の頂部以下の領域は低流速域について、 $\lambda 32-7$, $\lambda 48-7$, $\lambda 64-7$ のケースでは水流が上流側から棧の前面に衝突した際に棧を乗り越えるよう上方に流れる。これに対し、 $\lambda 16-7$ のケースでは下方に流れ、渦を形成している。

ケースごとにオイカワが頭部を上流方向に向けた状態で downstream area に進入した尾数 n_d を数え、実験に用いた尾数 $N=15$ で除した流下率 n_d/N を算出した。図-3 に棧間隔 $\lambda(m)$ 別に体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ とオイカワの流下率 n_d/N との関係を示す。いずれの棧間隔においても、体長倍流速が大きくなるに従いオイカワの流下率は上昇していることが分かる。 $\lambda 16$

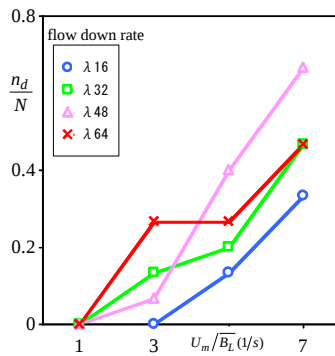


図-3 流下率

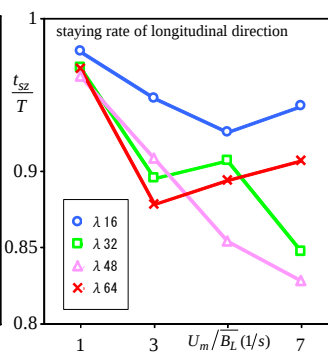


図-4 縦断方向停滞率

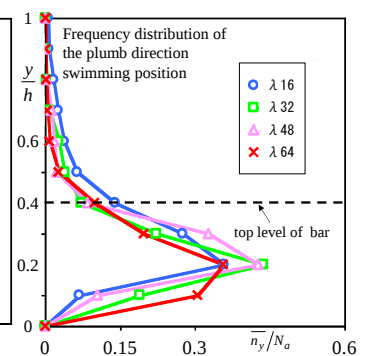
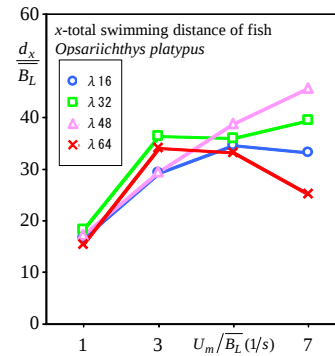
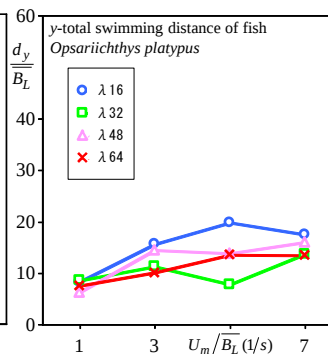


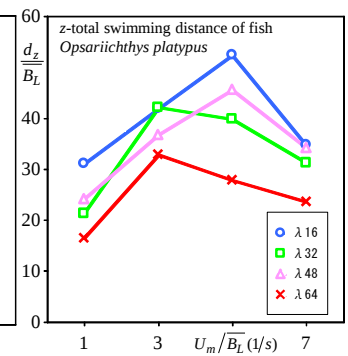
図-5 鉛直方向遊泳頻度



(a) x 軸方向



(b) y 軸方向



(c) z 軸方向

図-6 体長倍総遊泳距離

のケースでは、他のケースと比べてオイカワの流下率は体長倍流速が速い $U_m/\overline{B_L}=5, 7(1/s)$ において低くなっている。一方で、オイカワの流下率が高いのは $\lambda 48$ である。したがって、棧間隔が $\lambda 16$ のケースだと流下しにくく、 $\lambda 48$ であると流下しやすくなることが推測される。

オイカワの水平方向の遊泳位置より 0.5s 間の縦断方向成分の移動距離を求め、0.5s 間の縦断方向成分の移動距離がオイカワの平均体長 $\overline{B_L}$ の $1/2$ 以下であるときを停滞と定義した。オイカワが停滞した時間 t_{sz} (s) を実験時間 T で除し、オイカワの縦断方向停滞率 t_{sz}/T を求めた。図-4 に棧間隔 λ 別に体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ とオイカワの縦断方向停滞率との関係を示す。全ての体長倍流速において、 $\lambda 16$ の棧間隔の縦断方向停滞率は他の棧間隔よりも高く保たれ、最大体長倍流速の $U_m/\overline{B_L}=7(1/s)$ では $\lambda 48$ の棧間隔が最も縦断方向停滞率が低下しているのが分かる。これは図-3 で示されたオイカワの流下率と対応しており、縦断方向の停滞率の高さがオイカワの流下を抑制する要因だと考えられる。

各棧間隔で鉛直方向の遊泳位置ごとのオイカワの尾数 n_y を 0.5s ごとにカウントして時間平均尾数 $\overline{n_y}$ を算出し、各棧間隔で用いたオイカワの尾数 $N_a=60$ で除した鉛直方向遊泳頻度 $\overline{n_y}/N_a$ を求めた。図-5 に棧間隔 λ ごとの鉛直方向遊泳頻度 $\overline{n_y}/N_a$ を示す。いずれの棧間隔においても鉛直方向遊泳頻度は棧高さの中央である $y/h=0.2$ がピークとわかる。以上のことから、オイカワは主に棧の頂部以下の低流速域を遊泳していると考えられる。

x, y, z 軸方向成分のオイカワの総遊泳距離 d_x, d_y, d_z をそれぞれ平均体長 $\overline{B_L}$ で除したオイカワの体長倍総遊泳距離 $d_x/\overline{B_L}, d_y/\overline{B_L}, d_z/\overline{B_L}$ を求めた。図-6 に体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ とオイカワの体長倍総遊泳距離 $d_x/\overline{B_L}, d_y/\overline{B_L}, d_z/\overline{B_L}$ との関係を示した。図-6(a)より、 $\lambda 16$ の棧間隔において体長倍流速が速い 5, 7 のケースでは他の棧間隔と比べて x 軸方向の体長倍総遊泳距離がやや低い。また、図-6(b), (c) で示すように y, z 軸方向の体長倍総遊泳距離に関して、オイカワは $\lambda 16$ のケースでは他の棧間隔よりも長い距離を遊泳していることが分かる。以上よりオイカワは $\lambda 16$ の場合、体長倍流速が増加したとき、他の棧間隔のケースよりも x 軸方向の移動を制限し流下を防ぎつつ、 y, z 軸方向へ自由に移動することを可能としていることを示唆している。

4. おわりに

本研究で得られた結論を以下に示す。

棧間隔が 0.16m の場合、より大きな棧間隔のケースに比べて体長倍流速が増加したときの流下率が低いことが判明した。これは、棧間隔が 0.16m のケースにおいて縦断方向の停滞率が高いことから、体長倍流速が増加したとき棧間隔が 0.16m のケースは他の棧間隔よりもオイカワの x 軸方向の移動を制限し流下を防いでいるためである。一方、 y, z 軸方向への移動は他の棧間隔よりも活発で、自由に遊泳することが可能であることが判明した。

参考文献

- 1) 富永晃宏：棧粗度の相対棧間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響，水工学論文集，第 36 巻，pp.163-168, 1992.
- 2) 鈴木正貴，水谷正一，後藤章：水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発，農業土木学会誌，第 68 巻，第 12 号，pp.1263-1266, 2000.