

階段式魚道における底面の横断勾配がオイカワの遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学 学生会員

○井出尚之

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

河川にダムや堰が建設されると魚類等の遡上や降下が困難になるため、魚道の併設が望まれる。魚道において高い遡上率を確保するには、魚道の適切な幾何学形状の把握が求められる。国内外において最も採用例の多い階段式魚道において魚の遡上率に影響を与えると推定される幾何学条件は、プール間落差、切欠き形状、プール長、プール水深等である<sup>1)</sup>。本研究では、片側切欠き付き階段式魚道のプール底面に横断勾配を設け越流流速を系統的に変化させて、オイカワ (*Opsariichthys platypus*) の遡上実験を行い遡上特性について考察した。

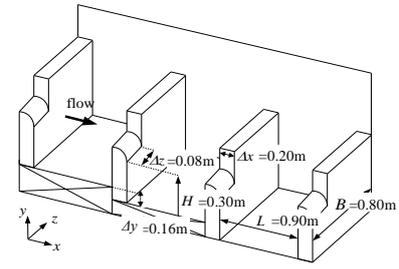


図-1 実験装置

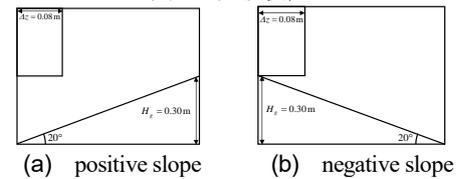


図-2 底面勾配の概要

2. 実験装置および実験条件

図-1 および図-2 に本実験で用いた片側切欠き付き階段式魚道の概要を示す。実験装置の隔壁や右岸側壁、底面は木材で作製し、左岸側壁と底面勾配のみ水平方向からの撮影のため透明なアクリル板で作製した。プール長  $L=0.90\text{m}$ 、プール幅  $B=0.80\text{m}$  の3つのプールを隔壁厚  $\Delta x=0.20\text{m}$ 、落差  $\Delta y=0.16\text{m}$ 、切欠き幅  $\Delta z=0.08\text{m}$ 、プール底面から切欠き下端までの高さ  $H=0.30\text{m}$  として連結した。また、切欠き形状はR型とした。プール番号は下流から上流に向かって昇順とし、流下方向に  $x$  軸、鉛直上向きに  $y$  軸、横断方向に  $z$  軸をとった。第2プール底面に  $y-z$  平面上で正の傾きを有する勾配と負の傾きを有する勾配を設置し正の傾きを有する勾配を positive slope、負の傾きを有する勾配を negative slope とする以降勾配については ps および ns と表記する。越流部の体長倍流速  $U_m/B_L$  (1/s) はオイカワが血合筋のみを使用して遡上できるとされている越流流速の間で系統的に 1, 3, 5, 7, 9(1/s) と5通りに変化させ、合計10ケースの実験を行った。実験に使用したオイカワの平均体長  $B_L=60\text{mm}$  とし、1ケース30尾挿入する。第2プールの鉛直方向と水平方向に設置した画素数  $1440 \times 1080$ 、撮影速度  $30\text{fps}$  のビデオカメラで20分間の撮影を行った。撮影後、10sごとの魚の遊泳位置を解析した。

表-1 実験条件

$U_m/B_L$ (1/s)	positive slope	negative slope
1	ps-1	ns-1
3	ps-3	ns-3
5	ps-5	ns-5
7	ps-7	ns-7
9	ps-9	ns-9

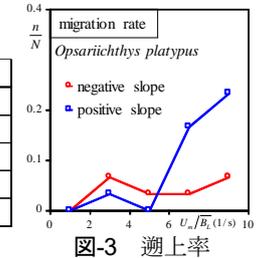


図-3 遡上率

3. 実験結果および考察

(1) オイカワの遡上率

ケースごとにオイカワが第2プールから第3プールに遡上した尾数  $n$  を計数し、実験に用いた尾数  $N=30$  で除した遡上率  $n/N$  を算出した。図-3 に遡上率  $n/N$  と体長倍流速  $U_m/B_L$  (1/s) との関係を示す。ns の各ケースでは遡上率に大きな差はみられずその値も全て 0.1 より小さいが、ps の各ケースでは体長倍流速の増加に伴い、遡上率が増加する傾向が見られる。

(2) オイカワの遡上経路

遡上に成功したオイカワの遡上前5s間の遡上経路を解析した。図-4 にオイカワが遡上に成功したケースの内、最小および最大流速の合計4ケースの遡上経路を示す。遡上経路をケース毎に見ていく。ns と ps を比較すると、ns では第2プールの下流左岸側から切欠きまで対角線を描くように進入する経路が多いのに対して、ps では切欠きから側壁に平行となるように進入する経路、もしくは上流隔壁側から切欠きへ進入する経路が多い。ns では主に左岸下流側を遊泳する個体が中流部で切欠きからの流れに反応して遡上し、ps では上流隔壁側を遊泳する個体が切欠きからの流れに反応して遡上、もしくは第2プール下流側中央付近を遊泳する個体が上流隔壁側へ移動する際に切欠きからの流れに反応し遡上していると考えられる。

(3) オイカワの遊泳位置

遡上に成功した個体を含むケースの内、ns および ps それぞれの最小および最大流速の計4ケースの水平方向遊泳位置を図-5 に示す。同様に、鉛直方向遊泳位置について図-6 に示す。図-5 より、ns のケースを比較すると、ns-3 では  $0.6 < z/B < 1$  付近に分布しているが、ns-9 では分布が第2プール全体に広がっていく傾向が見られる。同様に ps のケースを比較すると、ps-3 では  $0.5 < x/L < 1$ 、 $0 < z/B < 0.6$  付近に分布しているが、ps-9 では流下方向の分布が  $0 < x/L < 0.4$  と  $0.6 < x/L < 0.8$  付近の2つに分かれており、この2つを往来する個体が存在する。以上、図-3~5 より ns と比較して、ps は体長倍流速の増加に伴い多くのオイカワが上流側隔壁付近に分布し、そのまま上流側隔壁に沿うよ

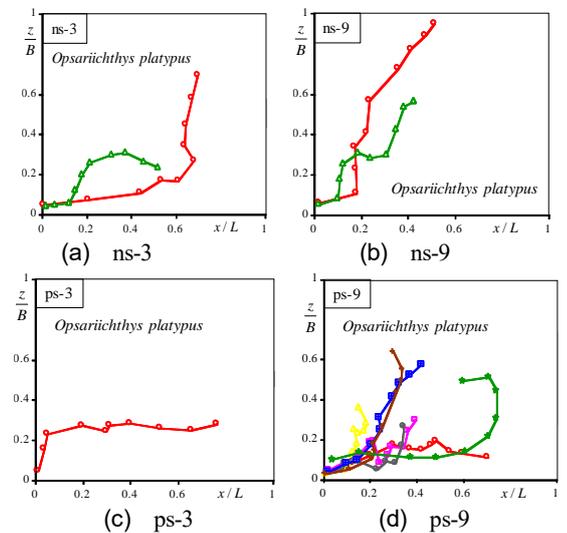


図-4 遡上に成功したオイカワの遡上前5s間の遡上経路

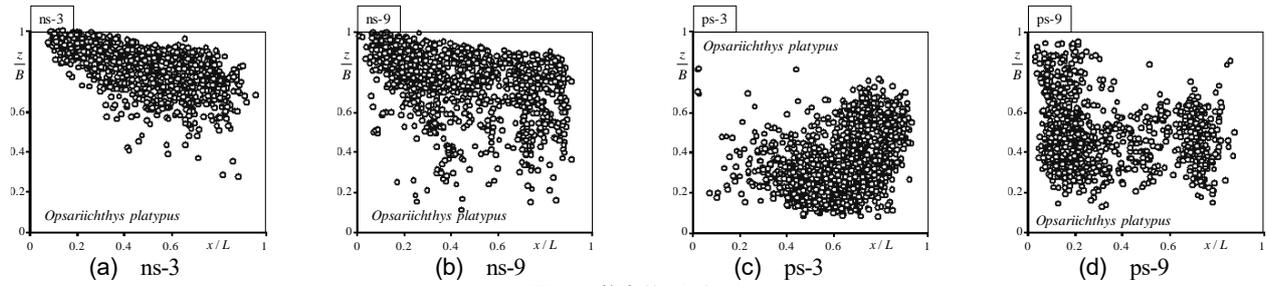


図-5 遊泳位置(水平)

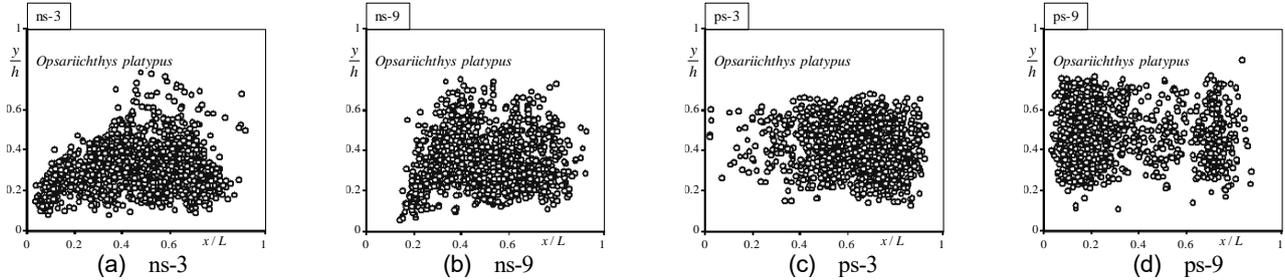


図-6 遊泳位置(鉛直)

うな経路で遡上する個体数が増加したことにより、遡上率も増加したと考えられる。また図-6より、nsのケースでは第2プール底部付近で流下方向にほぼ一様に分布しており、体長倍流速の違いによる顕著な差異は認められなかった。psのケースではnsと比較して $0.2 < y/h < 0.8$ の第2プール中央付近に分布することから、遊泳位置が水深方向にnsよりも切欠きに近い場合、オイカワの遡上が誘発されたと考えられる。

(4) オイカワの遡上前対地速度

図-4に示す遡上経路の解析で用いたデータより、遡上に成功したオイカワの遡上前5s間の対地速度 $\overline{U_m} / B_L (1/s)$ を算出した。ただし、ns-1およびps-1, 3では遡上に成功した個体が存在しないため対地速度は示していない。図-7に対地速度 $\overline{V_G} / B_L (1/s)$ と体長倍流速 $U_m / B_L (1/s)$ との関係を示す。体長倍流速の増加に伴いnsの対地速度は増加傾向にあり、psの対地速度は減少傾向にある。通常、主流方向を向いて遊泳する個体はその流速の大きさに伴い対地速度が減少するであろうと予測できる。しかし、nsの個体は遡上の直前まで切欠きからの流れを認識しておらず、第2プール内に勾配の影響で発生した横断方向や鉛直方向の流れ等に押し流されたり、様々な方向を向いて回遊したりするため対地速度は増加したと考えられる。一方、図-4および図-5よりpsの個体は体長倍流速の増加に伴い上流側隔壁付近から遡上を開始する傾向があることがわかる。psで遡上した個体はnsで遡上した個体よりも切欠き付近を遊泳しているため切欠きからの流れを認識しやすく、主流方向を向いて遡上を開始することにより対地速度は減少したと考えられる。図-3と図-7とを比較すると、nsとpsどちらのケースにおいても対地速度 $\overline{V_G} / B_L \leq 3$ で遡上率は大きくなる傾向がある。このことから、ns-1~3間で遡上を試みた個体の対地速度は変化せず、ps-1~3およびps-3~5間においても対地速度の変化はないと推察する。また、ns-3とns-9では対地速度にほとんど差はないが、ps-3とps-9では対地速度に $0.5(1/s)$ 程度の差があった。以上より、nsよりpsの方が流速の影響を受けやすく、正の向流性により対地速度を要さず効率的な遡上を行っていると考えられる。

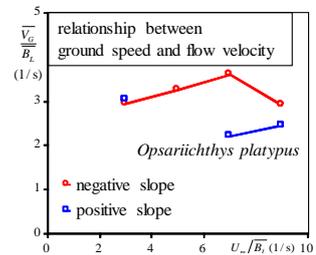


図-7 遡上前5s間における遡上に成功したオイカワの平均対地速度

4. おわりに

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 切欠き側側壁隅角部から対岸側壁まで上り勾配の断面形状において、オイカワは遡上する直前に上流側隔壁および切欠き側の側壁付近を遊泳する傾向がある。オイカワが遡上する直前の遊泳位置と切欠きとの距離が近い場合、遡上に要する対地速度が小さくなり遡上率が大きくなったと考えられる。
- (2) 切欠き側側壁から対岸側壁隅角部まで下り勾配の断面形状において、オイカワは遡上する直前まで切欠きからの流れを認識しておらず、遊泳位置と切欠きまでの距離が遠い。そのため、第2プール内に発生した主流以外の流れに押し流されたり、様々な方向を向いて回遊したりすることで、遡上に要する対地速度が大きくなり遡上率が小さくなったと考えられる。
- (3) 階段式魚道プール底面の横断勾配はオイカワの遊泳位置と遡上経路を限定することができ、特に切欠き側側壁の隅角部から対岸側壁まで上り勾配を有する形状は遊泳位置を切欠き付近に限定できるため、オイカワの遡上を誘発することができる。

参考文献

1) (財)ダム水源環境整備センター編：最新魚道の設計，信山社サイテック，1998。