

階段式魚道の潜孔設置位置が魚の連続遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部

学生会員

○寺島大輔

九州工業大学大学院

学生会員

松田孝一郎

九州工業大学大学院

正会員

鬼束幸樹

九州工業大学大学院

フェロー会員

秋山壽一郎

1. はじめに

魚道は水位落差を分割し魚類の遡上および降下を助ける役割を果たすものである。日本に設置されている魚道の大半は階段式である¹⁾。階段式魚道の隔壁には切欠きだけでなく堆砂を防ぐために潜孔が設置されるが、潜孔は魚の遡上経路としても有益である²⁾。鬼束ら³⁾は階段式魚道の潜孔位置を右岸側および中央で底部、中段、上部のそれぞれ6箇所に設置し、潜孔内流速を系統的に変化させてオイカワの遡上実験を行った。その結果、遡上に最適な潜孔の横断位置および上下位置は中央および底部であることを示した。しかしこの実験はプール下流側隔壁が全断面越流であり、潜孔を連続して配置した場合の潜孔位置と魚の遡上特性については議論していない。

本研究では、階段式魚道の潜孔位置を右岸側または中央に連続して配置し、さらに潜孔内流速を系統的に変化させてカワムツの遡上実験を行い、潜孔設置位置および潜孔内流速が魚の連続遡上特性に及ぼす影響を解明した。

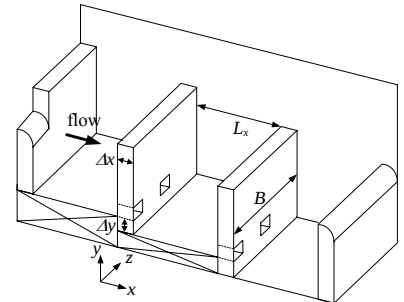


図-1 実験に用いた魚道の概略図

表-1 実験条件

$U_m/\overline{B_L}$ (1/s)	3	5	7	10
Edge orifice	E3	E5	E7	E10
Center orifice	C3	C5	C7	C10

2. 実験装置および実験条件

図-1 に示すプール長 $L_x=0.9\text{m}$ 、魚道幅 $B=0.8\text{m}$ の3つのプールを、落差 $\Delta y=0.15\text{m}$ 、隔壁厚 $\Delta x=0.2\text{m}$ で連結させた階段式魚道を実験に用いた。流下方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとる。ここで潜孔、隔壁およびプール番号は下流から上流に向かって昇順と定義する。

一辺 10cm の潜孔を右岸側または中央の底部に連続して配置し、さらに潜孔内流速をカワムツの平均体長 $\overline{B_L}=6.0\text{cm}$ の3倍、5倍、7倍、10倍に変化させた8ケースの実験を行った。第2プールの水深 L_y は潜孔内流速および潜孔位置の変化によって $0.60\sim 0.63\text{m}$ の範囲で変化する。第2隔壁、第3隔壁ともに越流はなく潜孔のみの通水である。実験条件を表-1に示す。ケース名は潜孔設置位置と潜孔内流速を示し、潜孔設置位置はE(Edge)が右岸側底部、C(Center)が中央底部を表し、例えばE3は潜孔設置位置が右岸側底部、潜孔内流速が平均体長の3倍を意味する。2台のビデオカメラを用いてカワムツ20尾の挙動を30Hzで30分間撮影した。

中村ら⁴⁾は潜孔がある魚道の場合、アユは底部を広範囲で遊泳すると指摘している。本実験においてもカワムツは主にプール底部を広範囲で遊泳しており同様の傾向が見られた。このため半水深以下の範囲($y=0.00\sim 0.30\text{m}$)において、 x 、 y 、 z 軸方向にそれぞれ $7\times 7\times 7$ のメッシュで構成される合計343点で、3次元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。

3. 実験結果および考察

(1) 潜孔内流速および潜孔設置位置と遡上率および降下率との関係

図-2に潜孔内流速に対する第1遡上率 n_1/N の変化を示す。ここで n_1 は第1遡上を行った魚の尾数である。両潜孔状態において n_1/N は潜孔内流速の増加に伴い減少する。これは潜孔内流速の増加に伴い遡上するために遊泳力が必要となるため、遊泳力の低い個体は遡上に失敗するからである。また、潜孔を右岸側に設置した場合と比較して中央に設置した方が、第1遡上率 n_1/N は潜孔内流速に関わらず高い値を示している。鬼束ら³⁾はオイカワを用いて遡上実験を行い、中央底部に潜孔を設置した場合遡上率が高くなることを示した。本研究の第1遡上においても同様の傾向が見られた。

図-3に潜孔内流速に対する連続遡上率 n_2/n_1 の変化を示す。 n_2 は第2遡上を行った魚の尾数である。 n_2/n_1 の変化は潜孔内流速の変化に対して緩慢である。一方、潜孔設置

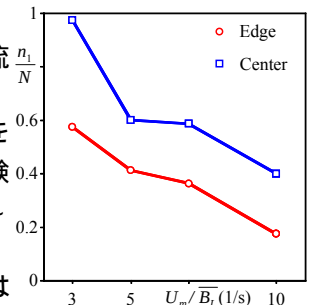


図-2 第1遡上率

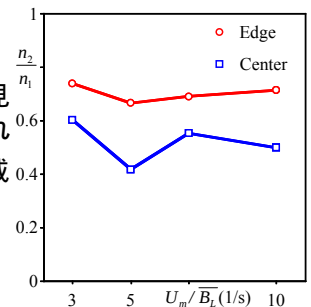


図-3 連続遡上率

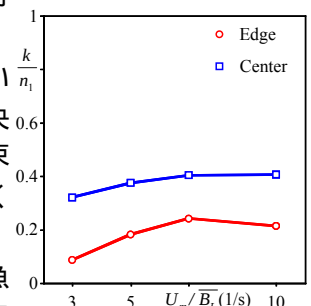


図-4 降下率

位置について観察すると n_2/n_1 は潜孔を右岸側に設置した場合の方が高い値を示している。

図-4 に潜孔内流速に対する降下率 k/n_1 の変化を示す。 k は第1遡上後に第2プールから第1プールへ降下した魚の尾数である。 k/n_1 は潜孔を中央に設置した場合の方が高い値を示している。図-3において潜孔を右岸側に設置した場合の方が連続遡上率 n_2/n_1 が高くなるのは、潜孔を中央に設置した場合降下率 k/n_1 が右岸側に設置した場合と比較して高くなるからである。以下に潜孔を中央に設置した場合、降下率が高くなる要因について述べる。

(2) アユのプール内の遊泳軌跡と流速ベクトル

図-5 に第2プール内のアユの遊泳軌跡を示す。両潜孔状態において魚はプール全体を広範囲で遊泳している。

図-6 に第2プール内の流速ベクトルを示す。上流側潜孔の面積を x 軸方向に投影した領域で流速が速くなっている。またその他の領域は比較的流速が遅く、魚の巡航速度 ($U_{fc}/\bar{B}_L = 2 \sim 4$) 程度あるいはそれ以下の流速となっている。図-5 と比較すると、潜孔を右岸側に設置した場合において魚は低流速域を多く遊泳している。潜孔を中央に設置した場合は右岸側に設置した場合と比較して高流速域を多く遊泳している。

(3) 潜孔下流領域への魚の進入箇所

以下の潜孔下流領域とは、両潜孔状態において上流側潜孔の面積を x 軸方向に投影し、これをさらに y 軸方向に投影した領域のことである。また潜孔下流領域を図-6 のようにそれぞれ x 軸方向に5等分し右岸側においては FE1 ~ FE5、中央においては FC1 ~ FC5 と上流側から順に領域名をつける。図-7 に潜孔下流領域に進入した魚の内図-6 中に示した各領域から進入した魚の割合 m_i/M を示す。 $m_i (i=1,2,\dots,5)$ は各領域内へ進入した魚の尾数、 M は潜孔下流領域に進入した魚の総尾数である。図-7 において FE5 と FC5 に着目すると m_i/M は FE5 よりも FC5 のほうが高い値を示している。これは潜孔を右岸側に設置した場合と比較して中央に設置した場合、プール内をランダムに遊泳する魚は下流側潜孔に比較的近い位置から潜孔下流領域内に進入する傾向にあることを示している。また、FE5 および FC5 へ進入した魚のうち遡上欲のない魚は高流速に乗り降下する。以上より潜孔を中央に設置した場合下流側潜孔に近い位置から潜孔下流領域に進入する魚の割合が高いため降下率が増加する。

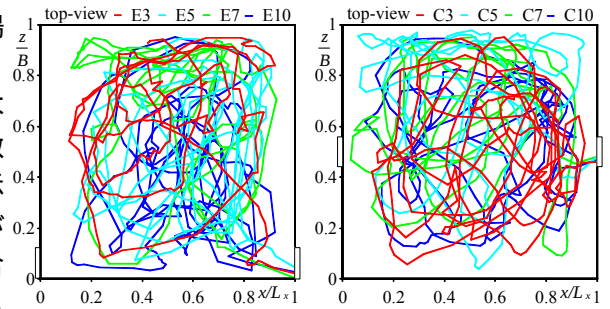


図-5 プール内の魚の遊泳軌跡

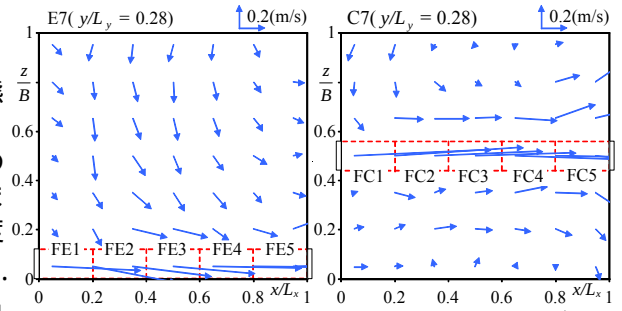


図-6 流速ベクトルと潜孔下流領域の分割および名称

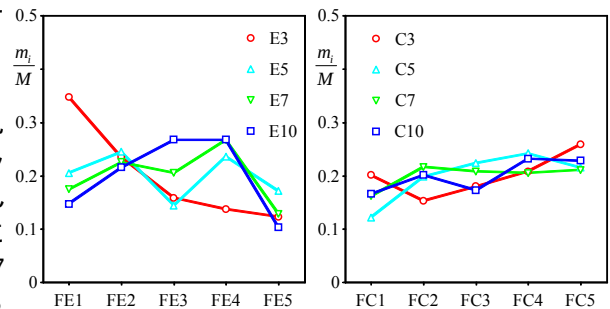


図-7 潜孔下流領域への魚の進入箇所の割合

4. おわりに

本研究は階段式魚道の潜孔位置を右岸側または中央に連続して配置し、潜孔内流速を変化させてカワムツの遡上実験を行い、遡上特性に及ぼす潜孔位置および潜孔内流速の影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 潜孔を右岸側に設置した場合の方が中央に設置した場合よりも連続遡上率は高い。これは潜孔を中央に設置した場合、降下率が比較的高いためである。
- (2) 潜孔を中央に設置した場合の方がプール内をランダムに遊泳する魚が下流側潜孔に近い位置から潜孔下流領域に進入する割合が高くなる。また、下流側潜孔に近い位置から潜孔下流領域に進入した魚の内遡上意欲のない魚は高速流に乗り降下する。これらより潜孔設置位置が中央の場合比較的高降下率が高くなる。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。
- 2) 泉完，高屋大介，工藤明，東信行：赤石第2頭首工のアイスハーバー型魚道隔壁における魚類の遡上行動，水工学論文集，第47巻，pp.763-768，2003。
- 3) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，関強志，森悠輔：階段式魚道の潜孔位置が魚の遡上特性に及ぼす影響，環境工学研究論文集，第47巻，pp.31-38，2010。
- 4) 中村俊六，高嶋信博，伊集院博：階段式魚道模型内でのアユの挙動，Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu，pp.361-366，1990。