

プール式台形断面魚道における流速場と遊泳魚の遡上経路との関係

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○宮嶋 麻里
日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一

はじめに

近年、河川環境改善という観点から河川整備を実施するにあたって生態系保全に配慮する必要がある。国土交通省からも「魚がのぼりやすい川づくりの手引き」¹⁾が発行され、新設の落差を伴う河川横断構造物には魚道の整備が義務づけられている。北海道においては、知床半島の世界自然遺産認定に伴う河川環境整備がなされ、魚道の新設・改善がなされている。

魚道の構造は様々提案されている¹⁾が、魚道内の水理環境が十分に解明されていない。また、魚道の設計が行われているが、多様な水生生物の遡上・降河に配慮したものではない。これは、魚道における各種水生生物の遡上・降河経路の実態が把握されていないためである。

最近、遊泳魚ばかりでなく底生魚および甲殻類の遡上・降河に配慮したプール式台形断面魚道²⁾が提案され、多様な水生生物の遡上・降河が確認されている。しかしながら、遡上・降河経路と水理環境との関係が十分に明らかにされていない。

魚道内の水理環境と遡上・降河経路との関係を解明することは魚道の設計精度の向上に必要である。

ここでは、プール式台形断面魚道を対象に遊泳魚の遡上経路について模型スケールでの室内実験および原型スケールでの現地調査を通じて検討を行った。また、プール内の流速場を把握し、遡上経路との関係について考察した。

実験

実験は本学部船橋校舎テクノプレイス内の環境水理実験室で実施され、写真1,5に示すプール式台形断面魚道を使って水理環境および遊泳魚の遡上経路を検討した。実験条件は、写真1,5に付記したとおりである。遡上経路を検討するためにビデオカメラを遠方に設置し、遡上経路の映像を記録した。遡上経路を知るために体長15cm前後のウグイおよび体長10cm前後のアユを魚道内に放流した。

これまでにプール式台形断面魚道が様々な河川で整備されていることから、原型スケールでの遡上調査および物理環境の検討が可能であるため、北海道知床半島の羅臼側（東側）を流れるS河川に設置された魚道

道(写真2,3)および長崎県西海市を流れるG河川に設置された魚道を調査対象として行った。なお、流速については楯ヶネック製のI型2次元ポータブル電磁流速計を用いて計測した(計測時間30sec, 採取間隔10ms)。また、流況の観察記録を残すため、デジタルカメラおよびビデオカメラを用いた。



記号説明	
h	: 隔壁上流側の高さ
b	: 魚道幅(導流壁間の幅)
i	: 魚道勾配
m	: 側壁勾配(鉛直1に対して水平mの勾配)
Q	: 流量
S	: 隔壁間の落差

写真2 S河川に設置された半台形断面魚道 (i=1/8, b=1.5m, m=1, S=25cm, h=50cm, Q=0.24m³/s)



写真3 S河川に設置された台形断面魚道 (i=1/8, b=2.5m, m=1, S=25cm, h=50cm, Q=0.4 m³/s)



写真1 2分の1縮尺を想定したプール式台形断面魚道模型 (魚道勾配 i=1/10, b=1.4m m=1, S=9cm, h=18cm, Q=0.0315 m³/s)



写真4 台形断面魚道模型内に放流し遡上したアユとウグイ(実験条件: 写真1参照)

キーワード: プール式魚道, 台形断面魚道, 多様な水生生物, 遡上経路, 流速特性

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14; TEL&FAX03-3259-0409; Email: yokyas@cst.civil.nihon-u.ac.jp

遊泳魚の遡上経路

50%縮尺の魚道模型にアユおよびウグイを放流し、遡上経路を検討した状況を写真4に示す。この場合、アユおよびウグイのどちらも跳躍して遡上する行動は見られなかった。アユおよびウグイの遡上経路として、図1の矢印で示すように、表面の流れを利用していく経路とプール内で休息をしていく経路があることが確認できた。また隔壁を越える流れの近くでは水際付近を大半のアユおよびウグイが利用することを確認した。さらに、隔壁を遡上する前の待機場所としてプール後方の左右の空間を利用することが分かった。これは、気泡混入が生じている場所を避けているためと考えられる。この実験では、左岸側の側壁がアクリル製であったため、警戒して右岸側に集まりがちであった。なお、アユの体長は10cm前後、ウグイの体長は15cm前後である。

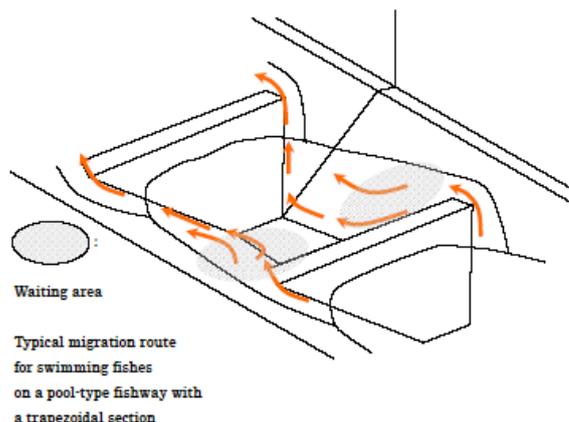


図1 遊泳魚の遡上経路の概略図

図中→：遡上経路

長崎県西海市を流れるG河川に設置された魚道においてアユの遡上調査を行なったところ、隔壁を越える流れの周辺では水際付近を遡上することを確認した。この場合の水力条件は、魚道勾配 $i=1/7.8$, 魚道幅 $b=2.8m$, 側壁勾配 $m=1$, 隔壁間の落差 $S=30cm$, 隔壁上流面側の高さ $h=30cm$, 流量 $Q=0.18 m^3/s$ である。

北海道知床半島の羅臼側を流れるS河川に設置された魚道(写真2, 3)においてカラフトマスおよびシロザケの遡上時期に調査を行なった。

S河川には写真2, 3に示す両タイプの魚道が設置されている。どちらの場合も、隔壁を越える流れの近くではシロザケが遡上することを確認している。遡上経路は図1に示すとおりである。また、水力条件は写真2, 3に付記したとおりである。

長崎県東彼杵町を流れるS河川に設置されていた台形断面魚道の62%縮尺を想定した魚道模型を用いて、流量を変化させ、流量規模による遡上行動の違いの観察を行った(写真5)。その結果、魚道内に流入する流量がある程度の規模に達した段階で、遡上行動を確認することが可能になり、図1に示す遡上経路を利用することが分かった。その一方、流量を極端に小さくすると、写真5(b)に示されるように、アユの遡上は確認できなかった。この時アユの遊泳行動はプール内で様々であり、遡上行動をとる様子が見られなかった。これは、魚道プール内の流れが弱く、遊泳魚にとって休息しやすい環境になっているため、積極的な遡上行動をとらなかったものと考えられる。

以上のことから、魚道模型を通してプール内および遡上行動を明確に把握することができた。また、原型においても室内実験の結果を踏まえて遡上行動を注意深く観察することで遡上経路を検証することができた。さらに、遊泳魚が遡上するためには、魚道内にある程度の流量を確保し、プール内部に乱れ発生させ、遊泳魚をプール内に停滞させないことが必要であることが把握できた。

魚道プール内の平面流速ベクトル

50%縮尺の魚道模型第2プール(写真6)内の平面流速ベクトルを図2に示す。図に示されるように、側壁傾斜面上の流向は流下方向を示していることが多い。また、横断方向にも流速が変化し、水際近くでは流速が小さくなっている。この場合、プール底面幅がプール長から見て相対的に広いことから、潜り込んだ流れ



a) $Q=0.0475m^3/s$ $dc/s=0.50$



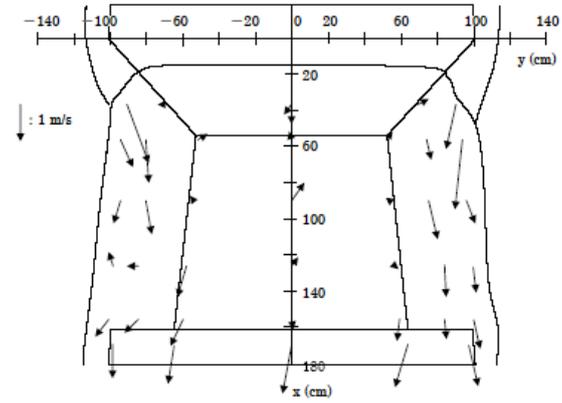
b) $Q=0.0074m^3/s$ $dc/s=0.27$

写真5 魚道プール内でのアユの様子 (魚道勾配 $i=1/7$, $b=1.24m$, $m=1$, $S=13.3cm$, $h=24.8cm$)

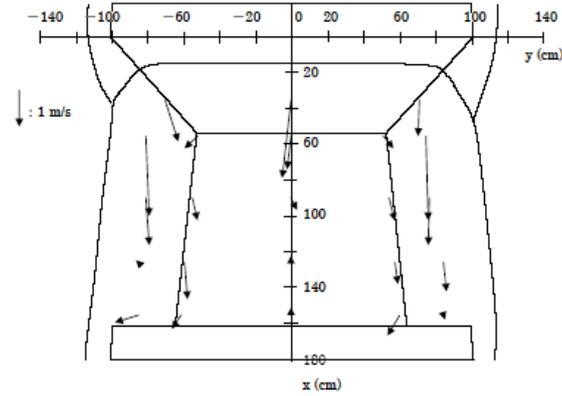


写真6 プール内での流況(実験条件：写真5参照)

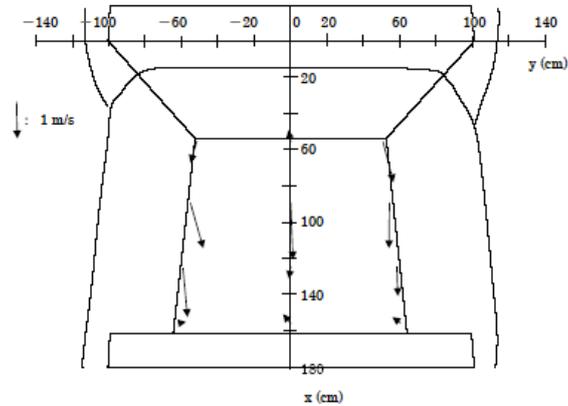
は中央部で集中することはない。なお、遡上の観察から、側壁の傾斜面上が主な遡上経路であることが確認できている(図1参照)。S河川に設置された半台形断面魚道(写真2)における平面流速ベクトルを図3に示す。図3に示されるように、隔壁からの流れが潜り込み、その主な流が鉛直側壁側に衝突していることが推定される。また、側壁が傾いている側の流速ベクトル



a) 表層 (水面下 6cm)

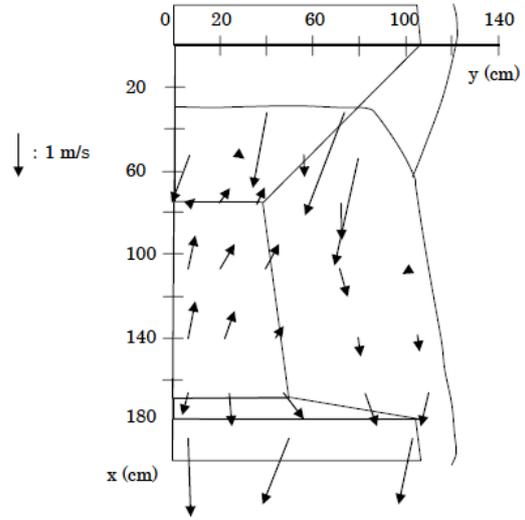


b) 中層 (プール底面より 20cm から 22cm 上方)

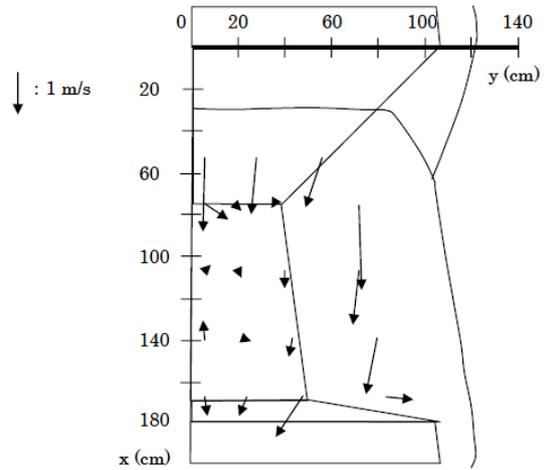


c) 底層(プール底面より 1cm 上方)

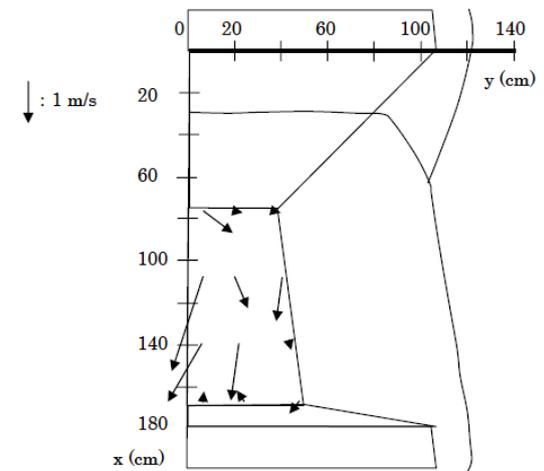
図2 台形断面模型の平面流速ベクトル (寸法および流速の大きさは原型に換算)
 $Q = 0.178 \text{ m}^3/\text{s}$, dc [(水理水深で表示)= A_c/T_c ; A_c : 流積, T_c : 水面幅] = 8.79 cm, $S = 18 \text{ cm}$, $h = 36 \text{ cm}$, 魚道勾配 $i = 1/10$, $dc/S = 0.49$, $h/S = 2.00$, 第2 プール (上流側から 2 番目のプール)



a) 表層 (水面下 10cm)



b) 中層 (プール底面より 27cm から 30cm 上方)



c) 底層 (プール底面より 1cm 上方)

図3 半台形断面魚道内の平面流速ベクトル
 $Q = 0.233 \text{ m}^3/\text{s}$, $dc = 15.5 \text{ cm}$ (水理水深で表示), $S = 25 \text{ cm}$, $h = 50 \text{ cm}$, 魚道勾配 $i = 1/8$, $dc/S = 0.620$, $h/S = 2.0$, 第2 プール

から側壁の斜面上の流向が流下方向を示している場合が多く、かつ多様な流速場が形成されていることが理解される。このことは正の走流性を有する遊泳魚にとって遊泳遡上しやすい環境であることが推定される。

左右対称の台形断面魚道(写真 3)の場合、図 4 に示されるように、隔壁から越えた流れが潜り込み、流れが中央部に向っている。また、側壁傾斜面上の流向については順流方向を示す場合が多い。これは遡上する遊泳魚にとって遡上経路が見つかりやすく、流速の大きさを選択して遡上できる環境であることが推定され

る。なお、左右対称の流速場にはなっていないが、遡上経路の環境として右岸側および左岸側の違いは小さいものと推論される。

現地で計測した流速ベクトルの結果と縮尺模型で計測した流速ベクトルの結果から、魚道勾配、プール深さ、魚道幅、魚道内の形状・寸法などが異なるが、どの場合も側壁の傾斜面上で遡上経路が確保できることが推定される。

まとめ

側壁勾配が 1 : 1 を有する台形断面魚道における遊泳魚の遡上経路および流速場との関係を縮尺模型および原型の両面から検討した結果を以下に示す。

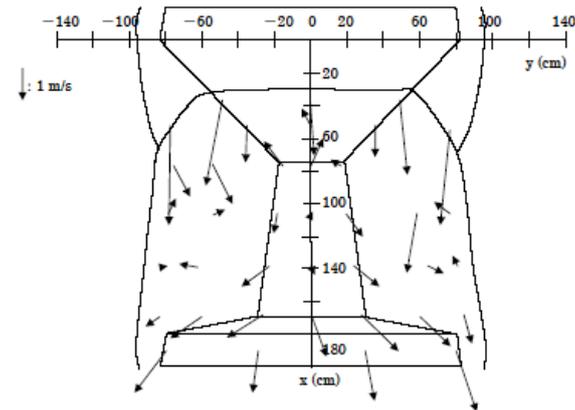
- 1) 縮尺模型を用いることによってプール内および遡上行動を明確に把握することができた(図 1 参照)。また、原型においても室内実験の結果を踏まえて遡上行動を注意深く観察することで遡上経路を検証することができた。
- 2) 魚道内の平面流速ベクトルについて室内実験および現地調査によって明らかにし、側壁傾斜面上の流向については順流方向を示す場合が多いことが分かった。
- 3) 流速ベクトル結果と遡上経路の観察記録との対応を検討した結果、プール式台形断面魚道の場合、遡上する遊泳魚にとって遡上経路が見つかりやすく、流速の大きさを選択して遡上できる環境であることが分かった。

参考文献

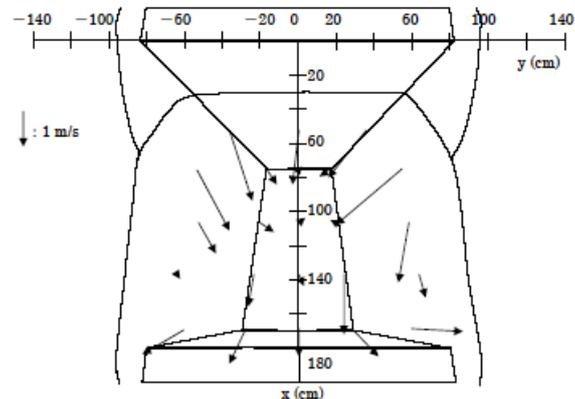
- 1) 国土交通省河川局(2005), 魚がのぼりやすい川づくりの手引き, 160 pages.
- 2) 安田陽一, 高橋正行, 大津岩夫, 三村進二, 原口哲幸(2005), 長崎県千綿川に設置された台形断面魚道の効果, 河川技術論文集, 土木学会, 第 11 巻, pp435 - 440.
- 3) 高橋直樹, 大西貴, 安田陽一(2008), プール式台形断面魚道における流速特性に対する側壁勾配の影響, 第 63 回土木学会年次学術講演会, 第 2 部門, CD-ROM.

謝辞

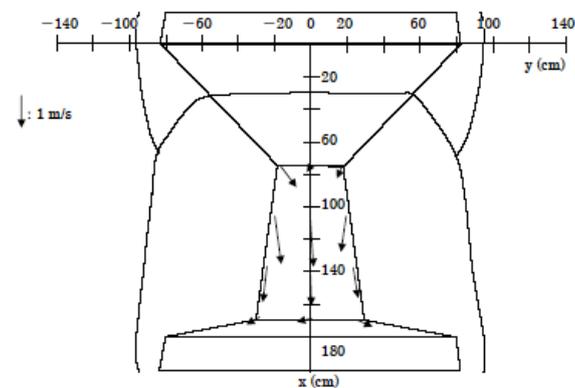
この研究は北海道庁水産林務部治山課および北海道根室支庁水産林務部, 長崎県大瀬戸土木事務所の協力を得た。ここに記して謝意を申し上げる。



a) 表層(水面下 10cm)



b) 中層(プール底面から 22cm から 32cm 上方)



c) 底層(プール底面から 1cm 上方)

図 4 台形断面魚道内の平面流速ベクトル
 $Q = 0.400 \text{ m}^3/\text{s}$, $dc = 17.4 \text{ cm}$ (水理水深で表示),
 $S = 25 \text{ cm}$, $h = 50 \text{ cm}$, 魚道勾配 $i = 1/8$, $dc/S = 0.696$, $h/S = 2.0$, 第 4 プール