階段式魚道における水理量とカワムツの跳躍遡上特性の関係

九州工業大学大学院　学生会員　○森悠輔
（株）大気社　非会員　小林達也
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が階段式である[1)]．既設の階段式魚道の中には水位落差が大きく，魚が跳躍せざるを得ない魚道が少なからず存在している．そこで水位落差を小さくし，魚が遊泳して遡上できるように魚道を改修する必要があるが，魚道長の延長等が必要となるため多くの費用がかかる．一方，部分的な改修のみで遡上率を改善できれば費用を低減できる．部分的な改修を行う場合，跳躍遡上特性を考慮した魚道設計をする必要があるそこで，本研究ではプール間落差および流量を系統的に変化させ，カワムツの跳躍遡上特性と水理量の関係を検討した．

2．実験条件および実験装置

プール長 L_x =0.9m，魚道幅 B =0.8m，プール底面から切り欠き下端までの高さ H_u =0.7mの3つのプールを，落差 Δy =0.15mで連結させた片側切り欠き付き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 軸をとる切り欠き形状はWadaの推奨する傾斜角60°のR型を採用した．

6通りのプール間落差 h_0 (=0.05m～0.425m)と5通りの流量 Q (=1 ℓ/s ～13 ℓ/s)を組み合わせた30ケースの実験を行った．実験条件を**表-1**に示す．側壁および水路上部にそれぞれ設置したビデオカメラを用いてカワムツ80尾(平均体長 $\overline{B_L}$ =6.2cm)の挙動を30分間撮影した．撮影された画像から跳躍開始位置および跳躍軌跡を解析した．

表-1　実験条件

h_0 (m)	Q =1(ℓ/s)	Q =4(ℓ/s)	Q =7(ℓ/s)	Q =10(ℓ/s)	Q =13(ℓ/s)
0.05	0.05Q1	0.05Q4	0.05Q7	0.05Q10	0.05Q13
0.125	0.125Q1	0.125Q4	0.125Q7	0.125Q10	0.125Q13
0.2	0.2Q1	0.2Q4	0.2Q7	0.2Q10	0.2Q13
0.275	0.275Q1	0.275Q4	0.275Q7	0.275Q10	0.275Q13
0.35	0.35Q1	0.35Q4	0.35Q7	0.35Q10	0.35Q13
0.425	0.425Q1	0.425Q4	0.425Q7	0.425Q10	0.425Q13

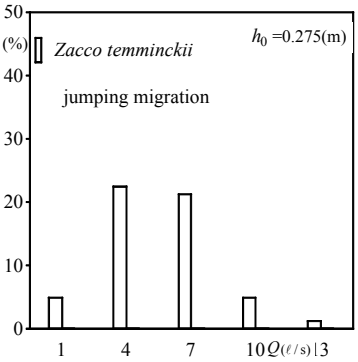

図-1(a)　遡上率(h_0 =0.275m)

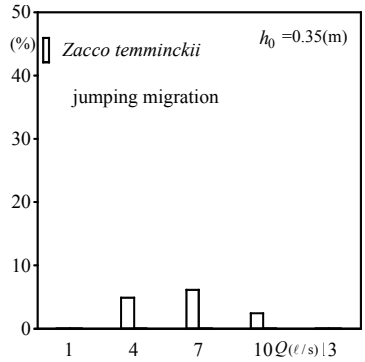

図-1(b)　遡上率(h_0 =0.35m)

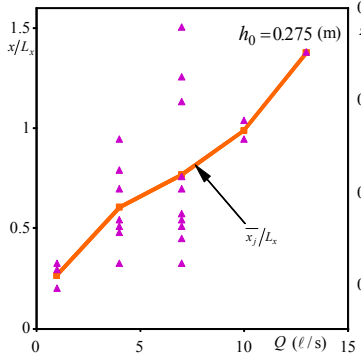

図-2(a)　x 座標と流量の関係

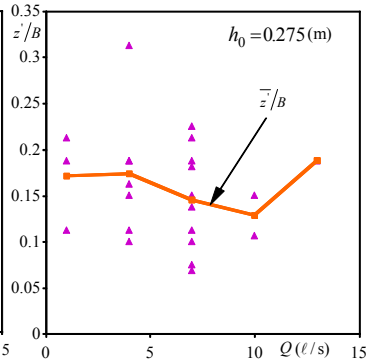

図-2(b)　z' 座標と流量の関係

3．実験結果および考察

プール間落差 h_0 =0.275m (Q =1 ℓ/s ～13 ℓ/s)，0.35m(Q =4 ℓ/s ～10 ℓ/s)においてカワムツは跳躍遡上を行った．**図-1(a)**，**(b)**に遡上率を示す．隔壁の切り欠き部を越流した流れと隔壁の下流面との間に剥離が生じ，魚が遊泳遡上することが困難になったために切り欠き部付近で跳躍行動したと考えられる．以下には遡上率が高いプール間落差 h_0 =0.275mのケースについて解析を行うものとする．

(1)　跳躍開始位置

隔壁下流側(x =0)から跳躍遡上開始位置までの流下方向距離 x をプール長 L_x で無次元化した値と流量 Q との関係を**図-2(a)**に，右岸側壁(z' =0)から跳躍遡上開始位置までの横断方向距離 z' を魚道幅 B で無次元化した値と流量 Q との関係を**図-2(b)**に示す．**図-2(a)**に着目すると，流量の増加に伴い跳躍遡上開始位置が下流方向に移動していることが確認される．これは，流量の増加に伴って流脈幅が増加してより下流側に落下するため，それを避けることで生じたものと考えられる．一方，**図-2(b)**に着目すると，流量が変化しても跳躍遡上開始の横断位置に

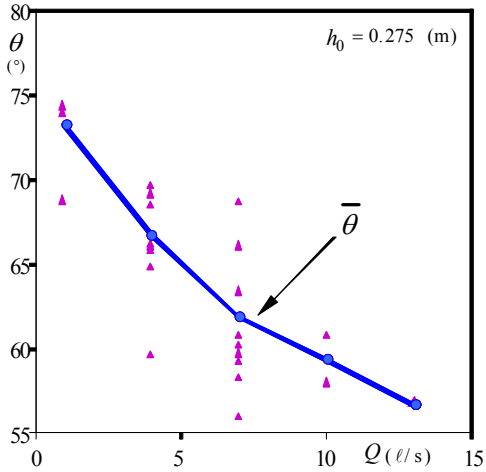

図-3　跳躍角度と流量の関係

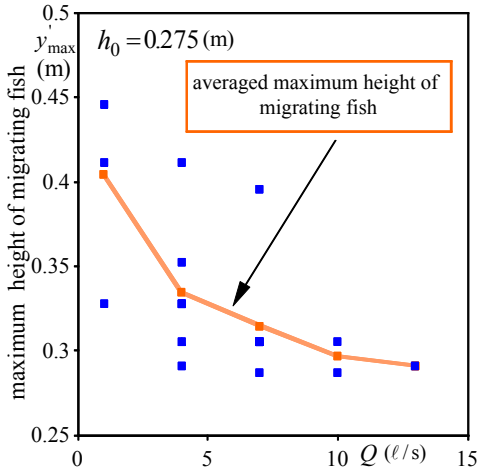

図-4　最高到達位置と流量の関係

系統的な変化は見られず，流量の変化に関わらず切り欠き部の中央(z'/B=0.2)付近であることが確認される．ここで，高嶋・中村[2)]および泉ら[3)]はオイカワ，カワムツおよびアユが遊泳遡上を行う場合，遡上位置は切り欠き部内で均等ではなく，側壁付近に集中することを解明している．従って，少なくともカワムツに関しては，遡上開始横断位置が遊泳遡上と跳躍遡上とでは異なることが解明された．

(2)　跳躍軌跡

跳躍遡上の軌跡は空気抵抗などを無視すると，跳躍位置を原点とした放物線を描くと考えられる．画像解析から跳躍遡上に要した時間t，跳躍遡上開始位置(x_j，z_j)，着水位置(x_l，z_l)が得られているため，式(1)～(5)を用いると，跳躍初速度v_0，跳躍速度の水平成分v_r，跳躍速度の鉛直成分v_y，水面と跳躍方向のなす跳躍角度θ，最高到達位置y'_{max}が算出される．

$$r=\sqrt{(x_l-x_j)^2+(z_l-z_j)^2} \tag{1}$$

$$r=v_0\cos\theta\cdot t \tag{2}$$

$$v_r=v_0\cos\theta \tag{3}$$

$$v_y=v_0\sin\theta-gt \tag{4}$$

$$y'=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2 \tag{5}$$

ここに，rは跳躍方向の水平座標，$y'(=y+h)$は第2プール水面から鉛直上方座標，gは重力加速度である．

図-3に跳躍角度θと流量Qの関係を示す．流量の増加に伴い，跳躍角度の平均値$\bar{\theta}$は減少していることがわかる．これは**図-2(a)**で示されたように，流量の増加に伴い，跳躍開始位置が下流方向に移動しているためであると考えられる．**図-4**にカワムツの跳躍による最高到達位置y'_{max}と流量Qとの関係を示す．流量の増加に伴い最高到達位置が減少している．これは流量の増加に伴い，カワムツの跳躍開始位置が下流側に移動することと跳躍角度が減少することが原因であると考えられる．

4．おわりに

本研究はプール間落差および流量を系統的に変化させ，カワムツの跳躍特性と水理量の関係について検討したものである．以下に得られた知見を示す．

(1) 遊泳遡上を行う場合は，遡上開始位置は側壁付近に集中することが知られているが，跳躍遡上を行う場合は切り欠き部に均等に分散することが解明された．

(2) 流量の増加に伴い最高到達位置が減少することが解明された．これは流量が増加すると，跳躍開始位置が下流方向に移動することと跳躍角度が減少することが原因である．

参考文献

1) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995.
2) 高嶋信博，中村俊六：魚道内のアユの挙動に関する実験的研究，第28回水理講演会論文集，pp.353-358，1984.
3) 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.