

階段式魚道における切り欠き位置が遡上特性に及ぼす影響

(株) 東亜建設工業 正会員 木内大介
九州工業大学大学院 学生員 ○飯國洋平
九州工業大学工学部 正会員 鬼束幸樹
九州工業大学工学部 フェロー会員 秋山壽一郎
西条市役所 非会員 高橋康行

1. はじめに

ダムや堰などの河川横断構造物によって困難となった水生生物の遡上および降下を助けるために魚道が設置される。魚道には様々なタイプがあるが、日本の既設魚道の90%以上を占めるのは階段式魚道である。階段式魚道を設計する際、遡上率に影響を与える水位落差、粗度の有無、隔壁形状、アスペクト比、切り欠きの位置などに配慮しなければならない¹⁾。ところが、各諸量が遡上率に及ぼす影響はほとんど解明されていない。本研究では上記諸量の内、切り欠きの位置に着目し、交互および片側に切り欠きを配置し、流量を系統的に変化させて遡上特性の相違を検討した。

2. 実験条件および実験装置

実験には、長さ0.4m、幅0.4m、高さ0.4mの亚克力製プールを5つ連結させた平均傾斜角度が1/12の階段式魚道を用いた。実験条件を表-1に示す。交互および片側切り欠き状態において流量 Q を系統的に変化させた。実験項目は、魚の挙動の撮影と流速測定である。側壁および底面からハイビジョンカメラを用いて20分間の同時撮影を行い、撮影後3次元の挙動を解析した。用いた実験魚はオイカワの成魚40匹である。平均体長 $\overline{B_L}$ は6.7cmであった。流下方向(x)、鉛直上向き(y)、横断方向(z)にそれぞれ6点のメッシュをとった合計216点において、3次元電磁流速計を用いて瞬間流速を0.05s間隔で51.2s計測した。

3. 実験結果および考察

(1) 水路内の流速と遡上率および遡上成功率との関係

遡上した魚数をプールに入れた初期魚数で割ったものを遡上率と定義する。図-1に交互および片側切り欠きの遡上率を示す。両者とも流量が1.6 ℓ/s の時に遡上率が最も高い。この流量を超えるとプール内に定位するために必死で遊泳している様子が観察された。また両者の結果を比較すると片側切り欠きの遡上率の方が高いことがわかる。この結果は「切り欠きは交互より片側のほうが望ましい」との中村²⁾の指摘と一致する。遡上に成功した魚数を遡上を試みた魚数で割ったものを遡上成功率と定義する。図-2に交互および片側切り欠きにおける遡上成

表-1 ケース名の定義

$Q (\ell/s)$	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
alternate notch	Q0.8alt	Q1.2alt	Q1.6alt	Q2.0alt	Q2.4alt
one-sided notch	Q0.8one	Q1.2one	Q1.6one	Q2.0one	Q2.4one

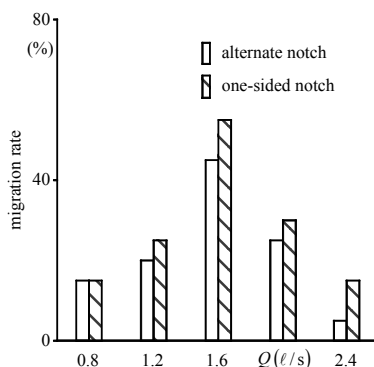


図-1 遡上率

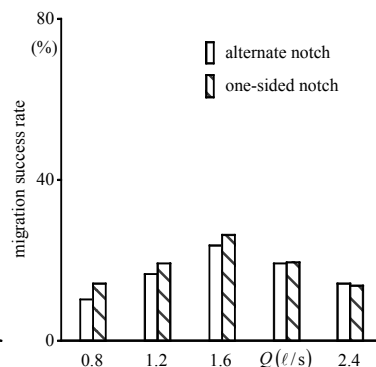
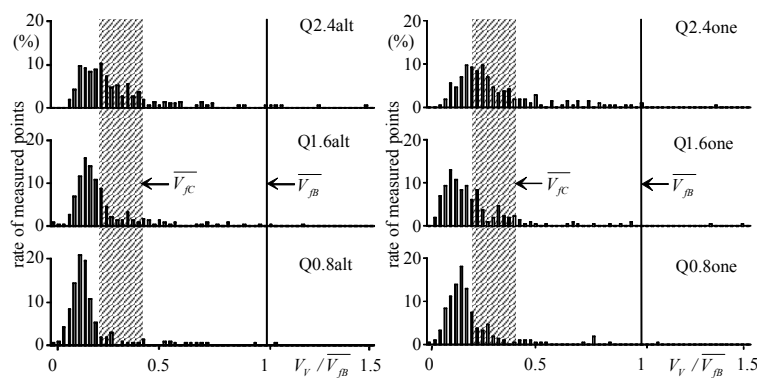


図-2 遡上成功率



(a) 交互切り欠き

(b) 片側切り欠き

図-3 流速ヒストグラム

表-2 巡航速度以上の領域の割合

$Q (\ell/s)$	0.8	1.6	2.4
alternate notch	16%	47%	67%
one-side notch	31%	41%	71%

功率と流量との関係を示す。遡上成功率についても遡上率と同様に、流量が $1.6 \ell/s$ の時に最大値となる。また、交互切り欠きと片側切り欠きの結果を比較すると、片側切り欠きの遡上成功率の方が僅かだが高いことが判明した。

魚の遊泳速度として巡航速度 V_{jc} と突進速度 V_{jb} が挙げられる。突進速度よりも流速が速ければ魚は遡上することができない。中村²⁾は魚が遡上に挑もうとするには、遡上を誘発する適度な流速が必要と述べている。また、魚が休憩するには、その場所の流速が巡航速度 V_{jc} 以下の必要がある。突進速度 V_{jb} は魚の体長の10倍程度であり、巡航速度 V_{jc} は2から4倍程度である。魚の遡上特性を理解するには、魚の遊泳速度とプール内流速とを比較する必要がある。図-3に216点の計測点で得られた流速3成分の合成速度 V_r を突進速度 V_{jb} で割った無次元流速 V_r/V_{jb} のヒストグラムを示し、巡航速度以上の領域の割合を表-2に示す。

図-3および表-2より、交互および片側切り

欠きの両者とも流量の増加に伴い、プール内の流速が増加していることが分かる。図-1, 2で $1.6 \ell/s$ までは流量の増加に伴う遡上率および遡上成功率の増加が明らかとなったが、巡航速度の領域は少なくなっており、休憩場所の領域が減少している。流量の増加に伴い巡航速度を僅かに上回るような流速場が多い状態($Q=0.8 \sim 1.6 \ell/s$)になる。長時間プールに滞在すると体力を失うと魚が判断し、遡上に挑むとも推測される。一方、流量が $1.6 \ell/s$ 以上になると、落下流速が突進速度を超えるために遡上を諦め、遡上率が低下すると考えられる。また、交互切り欠きと片側切り欠きでは、わずかに前者の流速が低いことがわかる。

(2) 流量の増加に伴う休憩場所の変化

中村²⁾は魚が遡上に挑もうとする時、休憩場所が必要と述べている。ビデオを観察した結果、プールのある場所でほとんど全ての魚が集団で定位して休憩し、時折、集団から1尾または数尾の魚が遡上に挑んでいることが判明した。ビデオ解析によって得られた交互および片側切り欠きの平均的な休憩場所を図-4(a)および(b)に示す。なお、座標 x , y , z はプール長 L , 水深 h , プール幅 B で無次元化すると共に平均体長 $\bar{B}_L$ でも無次元化した。交互および片側切り欠きの両者共に、流量の増加に伴い休憩場所が下流方向に押し流されて狭くなっている。これは、図-3に示されたように、流量の増加に伴い巡航速度以下の領域が減少することが原因と考えられる。したがって、流量の増加は遡上欲が湧くというプラス要因があるものの、遡上に必要な休憩場所が減少するというマイナス要因も含んでおり、両者のバランスの結果、流量が $1.6 \ell/s$ の時に遡上率が最大となったと考えられる。

4. おわりに

本研究は、階段式魚道の切り欠き位置を交互および片側に設置し、流量を系統的に変化させたときの水理特性と魚の挙動との関係を検討したものである。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 交互切り欠きよりも片側切り欠きの遡上率の方が高いことを証明した。これは中村²⁾の指摘を定量的に証明するものである。また、片側切り欠きの遡上成功率が交互切り欠きの値よりも高いことを指摘した。
- (2) 流量の増加に伴い遡上欲が増加するために遡上率が増加する。一方、流量の増加に伴いプール内の流速が増加するために休憩場所が狭くなり、遡上が困難となる。両者のバランスの結果、本実験装置では流量が $1.6 \ell/s$ の時に遡上率が最大となる。

参考文献

- (1) (財) ダム水源地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。
- (2) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。

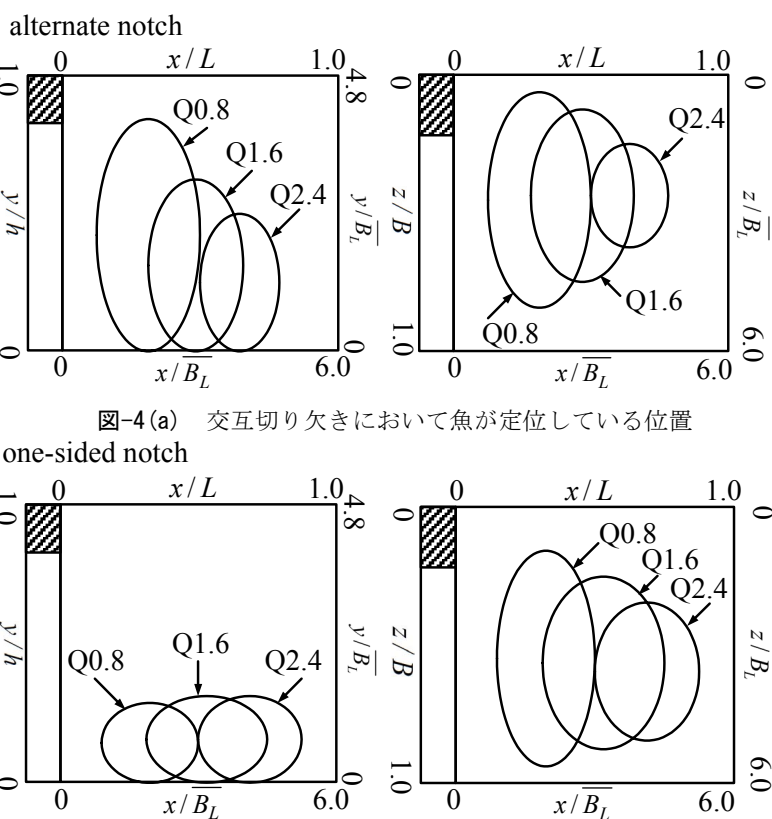


図-4(a) 交互切り欠きにおいて魚が定位している位置

図-4(b) 片側切り欠きにおいて魚が定位している位置