

ウナギ用魚道底面の円柱突起物間隔およびニホンウナギの全長が遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○飯隈公大

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

ウナギの個体数減少の一因としてダムや堰による不連続な水位落差があり、改善策として魚道の設置が挙げられる。Vowles *et al.*¹⁾は斜面の兩岸底面に直径 15, 30mm の円柱をそれぞれ千鳥配置し、平均全長 72mm のヨーロッパウナギの遡上実験を行い、直径 15mm の円柱の方が遡上率が高いことを示した。鬼束ら²⁾は直径 30mm の円柱の千鳥間隔を 10, 20, 30mm に変化させて、間隔が狭いほど平均全長 200mm のニホンウナギの遡上率が増加することを示した。以上のように、ウナギ用魚道底面に設置する円柱突起物の直径や間隔などを変化させてニホンウナギやヨーロッパウナギの遡上特性の解明が試みられているが、ウナギの全長を変化させた検討はほとんどない。本研究では、ウナギ用魚道底面の円柱突起物間隔を 7.5-50mm、ニホンウナギの全長を 150-300mm に変化させて、遡上に適切な円柱突起物間隔を求めた。

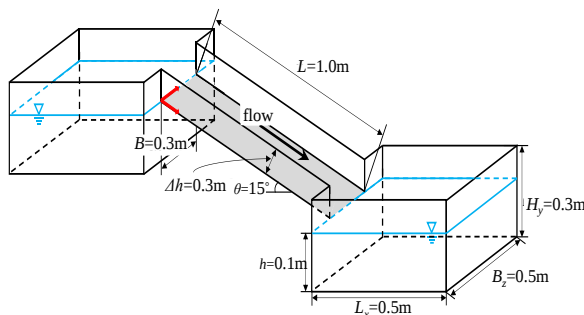


図-1 ウナギ用魚道の概要

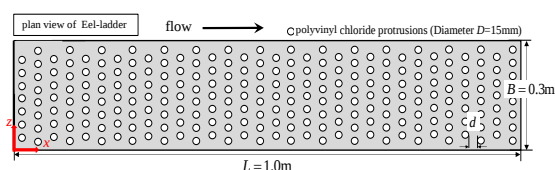


図-2 魚道底面の突起物の配置図

2. 実験装置および実験条件

図-1 に示す長さ $L_x=0.5\text{m}$ 、幅 $B_z=0.5\text{m}$ 、高さ $H_y=0.3\text{m}$ の 2 つのプールを、魚道幅 $B=0.3\text{m}$ 、魚道長 $L=1.0\text{m}$ 、側壁高さ $\Delta h=0.3\text{m}$ 、傾斜角 $\theta=15^\circ$ の斜路で接続した装置を用いた。魚道の上流端右岸を原点とし流下方向に x 軸、横断方向に z 軸をとった。また、図-2 に魚道底面に千鳥配置した直径 $D=15\text{mm}$ 、高さ $h_p=50\text{mm}$ のポリ塩化ビニル製円柱突起物の設置状況を示す。

表-1 に実験条件を示す。ニホンウナギの平均全長 $\bar{L}_L$ を 150, 200, 250, 300mm の 4 種類に変化させると共に、円柱突起物間隔 d を 7.5, 15, 20, 30, 50mm の 5 種類に変化させた合計 20 ケースの実験を行った。ケース名は突起物間隔 d とニホンウナギの全長 $\bar{L}_L$ をハイフンで繋いだ表記とし、例えば間隔 $d=7.5\text{mm}$ で全長 $\bar{L}_L=150\text{mm}$ のケース名は「d7.5-150」となる。上流側水槽に供給する流量 $Q=500\text{ml/s}$ とし、上流側および下流側水槽の水深 $h=0.1\text{m}$ とした。また、本実験の畜養水温および実験水温を 20°C に設定した。下流側水槽にニホンウナギを 10 尾投入し、15 分間の遡上実験を各ケースで 3 回、合計 60 回行った。魚道上部に画素数 1440×1080 、撮影速度 30fps のビデオカメラを設置しニホンウナギの挙動を撮影した。撮影後、1s ごとに分割した画像をもとにニホンウナギの遡上位置を解析するとともに、上流側水槽まで到達した遡上数をカウントした。

表-1 実験条件

protrusions space (mm)	total length of <i>Anguilla japonica</i> (mm)			
	150	200	250	300
7.5	d7.5-150	d7.5-200	d7.5-250	d7.5-300
15	d15-150	d15-200	d15-250	d15-300
20	d20-150	d20-200	d20-250	d20-300
30	d30-150	d30-200	d30-250	d30-300
50	d5-150	d50-200	d50-250	d50-300

3. 実験結果および考察

(1) 遡上率

上流側水槽に到達したニホンウナギの尾数を実験に用いた尾数で除した遡上率 $\bar{n}/N$ を求めた。図-3 に円柱突起物間隔 $d(\text{mm})$ と遡上率 $\bar{n}/N$ との関係を生長 $\bar{L}_L$ 別に示す。すべての全長 $\bar{L}_L$ において最小間隔 $d=7.5\text{mm}$ のときに低い遡上率 $\bar{n}/N$ を示し、間隔の増加に伴い遡上率は増加するが、 $d=15\text{--}30\text{mm}$ 付近でピーク値を示した後に低下している。一方、同一突起物間隔 d では全長 $\bar{L}_L$ の増加に伴い遡上率は減少傾向を示している。したがって、ニホンウナギの全長が変化すると間隔の最適値が変化することが明らかになった。

(2) 蛇行度

ニホンウナギの魚道入口の進入地点と魚道出口の退出地点とを結んだ距離を L_{st} 、ニホンウナギの遡上経路長を S_{mr} とする。ニホンウナギの遡上経路

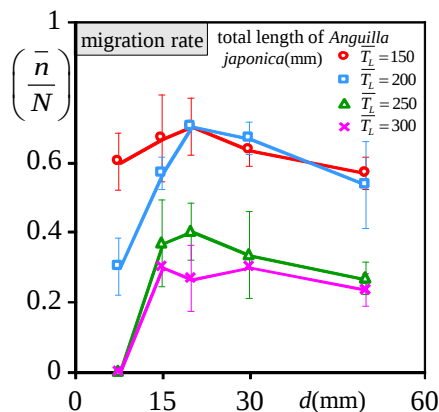


図-3 遡上率

長を魚道の入口から出口までの直線長で除したものを蛇行度 ($\overline{s_{mr}}/\overline{L_{st}}$) とした. 図-4 に円柱突起物間隔 $d(\text{mm})$ と遡上した尾数平均蛇行度 ($\overline{s_{mr}}/\overline{L_{st}}$) との関係を全長 $\overline{L}_t$ 別に示した. 間隔 d が 7.5 から 15mm に増加すると蛇行度 ($\overline{s_{mr}}/\overline{L_{st}}$) は増加するが, 15 から 30mm に増加すると蛇行度 ($\overline{s_{mr}}/\overline{L_{st}}$) は低下している. ニホンウナギは遡上する際に多少ランダムに周囲の突起物に体を絡ませるが, 間隔がある程度増加すると次第に上流最寄りの突起物を選ぶ傾向が強くなる. そのため, 遡上形態が直線的になり蛇行度が減少したと考えられる. ところが, 間隔 $d=50\text{mm}$ では上流最寄りの突起物までの距離が遠くなり, その突起物への接近を諦めて横断方向に近い突起物を選ぶことがあるため, 蛇行度が増加している. 一方, 同一突起物間隔では全長 $\overline{L}_t$ の増加に伴い蛇行度は減少傾向にある.

(3) 上下流移動時間比率

魚道の斜面上においてニホンウナギが下流方向に移動した合計時間を, 上流方向に移動した合計時間で除した値を上下流移動時間比率 ($\overline{t_{down}}/\overline{t_{up}}$) とした. 図-5 に円柱突起物間隔 $d(\text{mm})$ と上下流移動時間比率 ($\overline{t_{down}}/\overline{t_{up}}$) との関係を全長 $\overline{L}_t$ 別に示す. 間隔 $d=15\text{--}30\text{mm}$ 付近では間隔 d の増加に伴い上下流移動時間比率 ($\overline{t_{down}}/\overline{t_{up}}$) が減少傾向を示す. これは, 図-4 の蛇行度で明らかとなったように間隔 d が増加すると直線的に遡上することが原因である. 間隔 $d=50\text{mm}$ ではほとんどの全長で上下流移動時間比率 ($\overline{t_{down}}/\overline{t_{up}}$) が増加しているが, これは, しばしば横断方向に移動したことが原因である. 一方, 同一突起物間隔では, 全長 $\overline{L}_t$ の増加に伴い上下流移動時間比率は減少傾向にある.

(4) 停滞率

ニホンウナギの全長倍対地速度が $\overline{v}/\overline{L}_t \leq 0.1 (1/\text{s})$ の状態を停滞と定義し, 停滞時間 t_s を遡上時間 t_m で除した値を停滞率 ($\overline{t_s}/\overline{t_m}$) とした. 図-6 に円柱突起物間隔 $d(\text{mm})$ と停滞率 ($\overline{t_s}/\overline{t_m}$) との関係を全長 $\overline{L}_t$ 別に示す. すべての全長 $\overline{L}_t$ において間隔 d が 15 から 30mm に増加するに伴い停滞率 ($\overline{t_s}/\overline{t_m}$) が減少する. これは, 図-4 の蛇行度および図-5 の上下流移動時間比率の結果と類似しており, 突起物間隔の増加に伴い上流最寄りの突起物を選んで速やかに遡上したことが原因である. 間隔 $d=50\text{mm}$ において全長 $\overline{L}_t=300\text{mm}$ を除いて停滞率 ($\overline{t_s}/\overline{t_m}$) が間隔 $d=30\text{mm}$ と比較し増加した原因は, 突起物間隔が全長のある比率を超えると上流の突起物への接近が困難になるため, 横断方向に位置する突起物に目標を変える際に停滞したことにある. 一方, 同一突起物間隔では全長 $\overline{L}_t$ の増加に伴い停滞率は減少傾向にある.

4. おわりに

本研究では, ウナギ用の魚道底面に設置する直径 15mm の円柱突起物の間隔を 7.5-50mm, ニホンウナギの全長を 150-300mm に変化させて, 遡上に適した円柱突起物間隔を求めた. その結果, 以下の知見を得た.

- (1) 全長 150-300mm のニホンウナギは円柱突起物間隔が 7.5mm のときに遡上率が低く, 間隔の増加に伴い遡上率は増加して 15-30mm 付近でピーク値を示した後に 50mm で低下する. そのため, 全長 150-300mm のニホンウナギについては直径 15mm の適した円柱突起物間隔が, 7.5-50mm の範囲内では 15-30mm と判明した.
- (2) 全長 150-300mm のニホンウナギは円柱突起物間隔 15-30mm の範囲では, 間隔の増加に伴い停滞時間が減少し, 下流に一時戻る頻度も減少し, 直線的に遡上する傾向が強くなる. しかし, 間隔が 50mm では最寄りの上流の突起物に接近することが困難になり, 横断方向に位置する突起物に向かって遊泳する頻度が増加する.

謝辞: 本研究で用いた実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に謝意を表す.

参考文献

- 1) Vowles, A.S., Don A.M., Karageorgopoulos, P., Worthington, T.A. and Kemp, P.S.: Efficiency of a dual density studded fish pass designed to mitigate for impeded upstream passage of juvenile European eels (*Anguilla anguilla*) at a model Crump weir, *Fisheries Management and Ecology*, Vol.22, pp.307-316, 2015.
- 2) 鬼束幸樹, 泉孝佑, 窄友哉: ウナギ用魚道の傾斜と突起物の間隔がウナギの遡上特性に及ぼす影響, 河川技術論文集, 第 25 巻, pp.357-362, 2019.

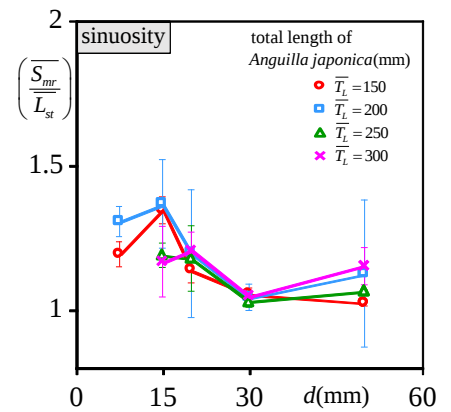


図-4 蛇行度

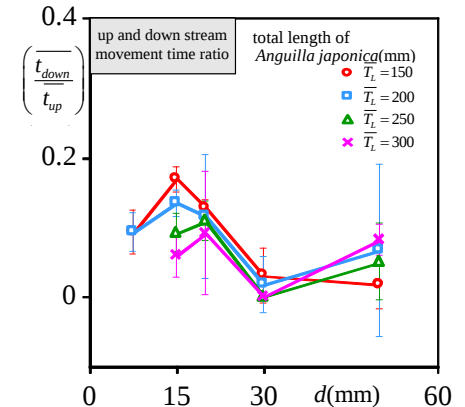


図-5 上下流移動時間比率

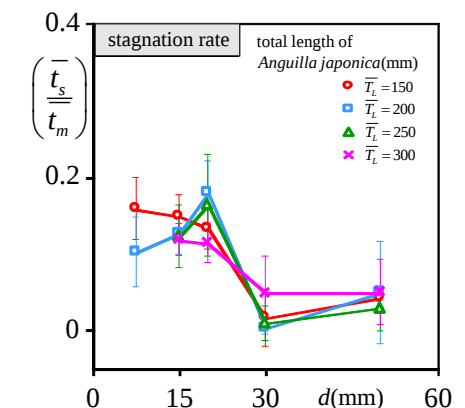


図-6 停滞率