

ニホンウナギの遡上に適したウナギ用魚道底面に設置される円柱突起物の直径

九州工業大学工学部 学生会員

○月岡 洸斗

九州工業大学大学院 正会員

鬼束 幸樹

1. はじめに

近年、ニホンウナギの個体数は激減しており¹⁾、その一因として河川横断構造物による水域の不連続化が指摘されている。そのため、魚道の併設が望ましい。Vowles *et al.*²⁾は平均全長 72mm のヨーロッパウナギの遡上率について、フラットな魚道底面の場合が 0%なのに対し、直径 45mm の円柱が設置された場合は 67%に改善すると述べた。このことから、魚道底面には遡上反力を支持する物体が必要と考えられる。既往の研究では円柱突起物の直径として様々な値が採用されているが、いずれの直径についても採用の根拠は不明で、最適値は未解明である。本研究ではウナギ用魚道の底面に設置した円柱突起物の直径およびウナギの平均全長を変化させ、ニホンウナギの遡上に適した底面円柱突起物の直径を求めた。

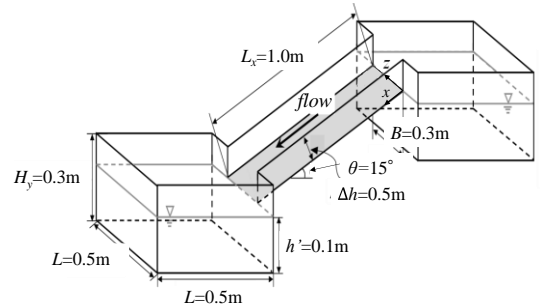


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

Diameter of protrusion (mm)	Total length of <i>Anguilla japonica</i> (mm)				Discharge Q (ml/s)	h_f (mm)	U (cm/s)	U_{max} (cm/s)
	150	200	250	300				
12	D12-150	D12-200	D12-250	D12-300	300	3.5	40.1	30.0
32	D32-150	D32-200	D32-250	D32-300		5	35.7	25.0
48	D48-150	D48-200	D48-250	D48-300		7.5	29.8	17.6
60	D60-150	D60-200	D60-250	D60-300		12.0	19.7	8.8

2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験装置の概要を示す。一辺の長さ $L=0.5m$ 、高さ $H_y=0.3m$ の 2 つのプールを、魚道長 $L_x=1.0m$ 、幅 $B=0.3m$ 、側壁高さ $\Delta h=0.5m$ 、傾斜角 $\theta=15^\circ$ の斜路で接続したものをを用いた。魚道底面にポリ塩化ビニル製の円柱突起物を縦断

方向および横断方向間隔 20mm で千鳥状に配置した。ニホンウナギの平均全長 \bar{T}_L は 150, 200, 250 および 300mm の 4 種類とした。表-1 に実験条件を示す。上流側の水槽に供給する流量を一定 ($Q=300$ (ml/s)) とし、平均全長 \bar{T}_L を 150, 200, 250 および 300mm の 4 種類に変化させると共に、円柱突起物の直径 D を 12, 32, 48 および 60mm の 4 種類に変化させた遡上実験を各ケースで 3 回、合計 48 回行った。また、魚道内の水深および流速は空間的に大きく変化する。そのため魚道側壁に面している平均的な水深を魚道内水深 h_f とした。魚道内流速に関しては、 x 軸を固定した突起物のない断面および突起物中心を通る断面の突起物間における平均流速をそれぞれ U_{none} 、 U とし、上流側および下流側水槽の水深 h を 0.1m とした。実験では下流側水槽にウナギを 10 尾 ($N=10$) 放流し、1 分間馴致した後に魚道入口に設置した遡上防止用ネットを除去すると共に魚道上部に設置した画素数 1440 × 1080、撮影速度 30fps のビデオカメラで 15 分間の撮影を行った。

3. 実験結果および考察

(1) ウナギの遡上率

遡上に成功したウナギの尾数を n_m とし、図-2 にウナギの遡上率 n_m/N と円柱突起物直径 D との関係を全長 \bar{T}_L 別に示す。全長 $\bar{T}_L=150\sim 250$ mm の場合、円柱突起物直径 $D=12$ mm のケースで遡上率は低値を示し、直径 $D=32$ mm でピーク値に達し、直径の増加に伴い減少している。全長 $\bar{T}_L=300$ mm の場合、円柱突起物直径 $D=12$ mm のケースで遡上率は低値を示し、直径の増加に伴い増加し、直径 $D=48$ mm でピーク値に達し、直径 $D=60$ mm で減少している。全長 $\bar{T}_L=150\sim 250$ mm の場合の直径 $D=32$ mm のケースおよび全長 $\bar{T}_L=300$ mm の場合の直径 $D=48$ mm のケースにおいて、突起物の円周長はウナギの全長の 1~2 割程度である。突起物の円周長がウナギの全長の 1~2 割程度の場合、ウナギが突起物に巻きつきやすくなり遡上率が最大値を示したと考えられる。したがって、全長 150~300mm のニホンウナギの遡上に適した円柱突起物の直径は全長の 1~2 割程度であると判断される。一方、同一突起物直径 D では全長 \bar{T}_L の増加に伴い遡上率 n_m/N は増加傾向にある。

(2) ウナギの全長倍対地速度

図-3 に遡上に成功したウナギの全長倍対地速度 \bar{v}/\bar{T}_L (1/s) と円柱突起物直径 D との関係を全長 \bar{T}_L 別に示す。全長 $\bar{T}_L=150, 200$ mm の場合、円柱突起物直径 D の増加に伴い全長倍対地速度は増加し、直径 $D=48$ mm でピーク値に達し、直径 $D=60$ mm で減少している。遡上率が最大値を示した突起物直径 $D=32$ mm で全長倍対地速度が低値を示した要因として、ウナギが突起物に体を巻きつけ休憩することで遡上しやすくなったためと考えられる。全長 $\bar{T}_L=250, 300$ mm の場合、突起物直径別の全長倍対地速度の差は小さい。遡上率および全長倍対地速度を踏まえると、ある程度の全長があると最寄りの突起物に到達しやすくなることで体を巻きつけなくても休憩できるが、ウナギは体を巻きつけて休憩する方が遡上しやすくなると示唆される。一方、同一突起物直径 D では全長 \bar{T}_L の

増加に伴い全長倍対地速度 \bar{v}/\bar{T}_L (1/s) は減少傾向にある。遡上率を踏まえると、全長の大きいウナギの方が最寄りの突起物に到達しやすくなることで休憩できるようになるため、全長が大きいほど遡上しやすくなる。

(3) ウナギの蛇行度

遡上するニホンウナギが遡上入口($x=1.0$)から遡上出口($x=0$)まで直進して遡上した場合の経路長を L_{st} (m) とし、実際に遡上した際の経路長を遡上経路長 S_{mr} (m) とした。この遡上経路長 S_{mr} を直線長 L_{st} で除した値を蛇行度 S_{mr}/L_{st} とし、**図-4** に遡上したニホンウナギの蛇行度 S_{mr}/L_{st} と円柱突起物直径 D との関係性を全長 \bar{T}_L 別に示す。蛇行度は $S_{mr}/L_{st}=1$ に近いほど、ウナギは体をあまり蛇行せず直進して遡上することを意味する。全長 $\bar{T}_L=150, 200$ mm の場合、円柱突起物直径 D の増加に伴い蛇行度は減少している。全長倍対地速度が高いことを踏まえると、直径が大きくなると突起物で休憩しながら遡上することが困難になるため、推進力を増し直線的に遡上したと考えられる。全長 $\bar{T}_L=250, 300$ mm の場合、円柱突起物直径 $D=12$ mm のケースで蛇行度は高値を示し、直径 $D=32$ mm で最小値となり、直径の増加に伴い増加している。全長倍対地速度が低いことを踏まえると、突起物で休憩しながら遡上する際に横断方向の突起物も利用するため蛇行度は高くなる。また、全長 $150\sim 300$ mm のウナギは円柱突起物の円周長が全長の $1\sim 2$ 割程度であると、前方の突起物を利用しやすくなるため蛇行度は低値を示す。一方、同一突起物直径 D では全長 \bar{T}_L の増加に伴い蛇行度 S_{mr}/L_{st} は増加傾向にある。遡上率を踏まえると、蛇行度が低く遡上形態が直線的であるほどウナギは遡上しやすい。

(4) ウナギの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 (t_{down}/t_{up}) とした。**図-5** に遡上したニホンウナギの上下流移動時間比率 (t_{down}/t_{up}) と円柱突起物直径 D との関係性を全長 \bar{T}_L 別に示す。上下流移動時間比率 (t_{down}/t_{up}) は低いほど後退せず遡上していることを意味する。全長 $\bar{T}_L=150, 200$ mm の場合、円柱突起物直径 D の増加に伴い上下流移動時間比率は減少している。これは蛇行度と同様にウナギが推進力を増し後退せず遡上したからである。全長 $\bar{T}_L=250, 300$ mm の場合、円柱突起物直径 $D=12$ mm のケースで上下流移動時間比率は高値を示し、直径 $D=32$ または 48 mm で最小値に達し、直径の増加に伴い増加している。蛇行度が高いことを踏まえると、ウナギは蛇行をする際に下流側の突起物を利用して休憩することがあるため上下流移動時間比率は高くなる。また、円柱突起物の円周長が全長の $1\sim 2$ 割程度であると、蛇行度が低くなりウナギが前方の突起物を利用しやすくなるため上下流移動時間比率は低値を示す。一方、同一突起物直径 D では全長 \bar{T}_L の増加に伴い上下流移動時間比率は増加傾向にある。遡上率および蛇行度を踏まえると、上下流移動時間比率が低く後退しにくいほどウナギは遡上しやすい。

4. おわりに

本研究はウナギ用魚道内部に設置した円柱突起物の直径とウナギの全長を系統的に変化させ、円柱突起物の直径がニホンウナギの遡上特性に及ぼす影響を解明したものである。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 全長 $150\sim 300$ mm のニホンウナギでは円柱突起物の直径が 32 または 48 mm で遡上率が高くなる。
- (2) 全長 $150\sim 300$ mm のニホンウナギでは全長が大きいほど突起物に体を巻きつけて休憩しながら遡上するため全長倍遡上速度が低くなる。
- (3) 全長 $150\sim 300$ mm のニホンウナギでは突起物の円周長がウナギの全長の $1\sim 2$ 割程度の場合、蛇行せず後退しにくくなり遡上形態が直線的になる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Miller et al.: *Am. Fish. Soc. Symp.*, Vol.69, pp.231-249, 2009.
- 2) Vowles et al.: *Fish. Manag. Ecol.*, Vol.22, pp.307-316, 2015.

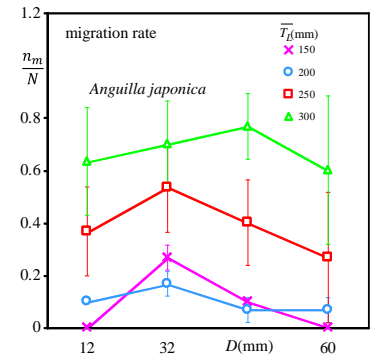


図-2 遡上率

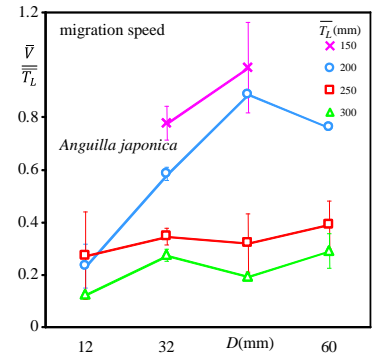


図-3 全長倍対地速度

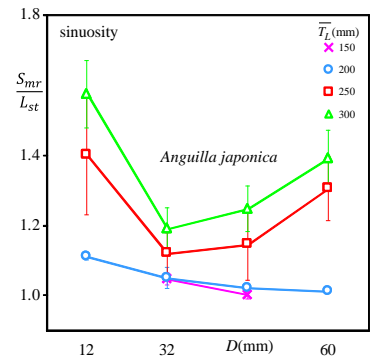


図-4 蛇行度

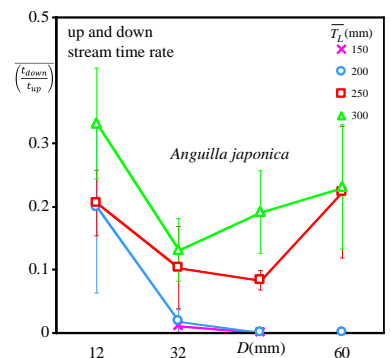


図-5 上下流移動時間比率