

ウナギ用魚道の底面粗度間隔とニホンウナギの全長との比が遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学 学生会員

○財満翔太郎

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

河川にダムや堰等が建設されると魚類等の遡上や降下が困難になるため、その改善策として魚道の併設が挙げられる。しかし、魚道の研究においてウナギ等の底生魚を対象とした例は少ない。鬼束ら¹⁾は全長 200mm のニホンウナギ *Anguilla japonica* を対象に粗度を有するウナギ用斜路式魚道の実験を行い、全長の半分相当の粗度間隔 100mm で最も遡上が確認されたと報告した。しかし、他の全長における遡上に適した粗度間隔は不明である。そこで本研究では、底面に粗度を有するウナギ用魚道の粗度間隔およびニホンウナギの全長を変化させ、全長ごとの遡上に最適な粗度間隔を検討した。なお、以下ではニホンウナギを「ウナギ」と呼称する。

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。長さ $L_x=0.5m$ 、高さ $H_y=0.5m$ 、幅 $B_z=0.5m$ の2つの水槽を魚道幅 $B=0.3m$ 、魚道長 $L=1.0m$ 、側壁高さ $\Delta h=0.3m$ 、傾斜角 $\theta=30^\circ$ のグレーに塗装された木製魚道で連結している。魚道上流側右岸を原点とし、流下方向に x 軸、魚道底面に直角上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとった。鬼束ら¹⁾は粗度間隔 s を50~200mm、流量 Q を140~540ml/sに変化させ、平均全長 $\bar{T}_L=200(\pm 30)mm$ のウナギの場合、流量140ml/sで粗度間隔 s が全長の半分相当である100mmのケースで最もウナギの遡上を観測したと報告した。また、ウナギの体高に合わせた粗度高さの設定は適切であると報告した。本実験も同様の基準で粗度高さを設定する。

図-2に魚道底面の状況を示す。本実験で用いるウナギの全長は $\bar{T}_L=200, 250$ および $300mm$ であり、平均体高は10, 13および15mmであるため、各全長における粗度高さを $k=10, 13$ および15mmとした。また、粗度間隔 s を50, 75, 100, 125, 150および175mmに変化させ、粗度幅を $t=30mm$ 、流量 $Q=140ml/s$ とした。なお、全長の重複がないように、各ケースにおける全長の範囲を170~220, 220~270および270~330mmとした。各ケース名は表-1に示した。下流側水槽にウナギ未成魚10尾を挿入し、15分間の遡上実験を各ケース3回ずつ行った。また、総尾数 $N=30$ とする。実験の様子を魚道上部に設置した画素数1440×1080、撮影速度30fpsのビデオカメラを用いて撮影した。撮影後、動画を1s刻みで分割しウナギの遊泳位置を解析した。また、ウナギの吻端が魚道出口($x=0$)に到達した場合を遡上と定義し、遡上数 n_m をカウントした。ウナギの吻端が魚道入口($x=L$)に進入した場合を遡上挑戦と定義し、遡上挑戦数 N_c をカウントした。遡上挑戦したが遡上できなかった場合を遡上失敗と定義し、遡上失敗数 n_{mm} をカウントした。また、各図面に鬼束ら¹⁾の実験結果を掲載し、本実験の結果と比較した。

3. 実験結果および考察

(1) 遡上率

遡上数 n_m を実験に用いた総尾数 N で除した遡上率 N_m/N を算出した。図-3に粗度間隔 s と遡上率 N_m/N との関係を全長 \bar{T}_L 別に示す。粗度間隔 s の変化に着目すると、全長の半分以上に相当する粗度間隔では、遡上率が急激に減少する傾向がすべての全長において確認された。また、全長が200および250mmのケースにおいて粗度間隔の増加に伴い遡上率は増加し、鬼束ら¹⁾の既往研究と同様に、全長の半分に相当する粗度間隔で遡上率は最も高くなった。全長300mmのケースでは、全長の半分に相当する粗度間隔150mmにおいて、最も高い遡上率を示し、鬼束ら¹⁾の既往

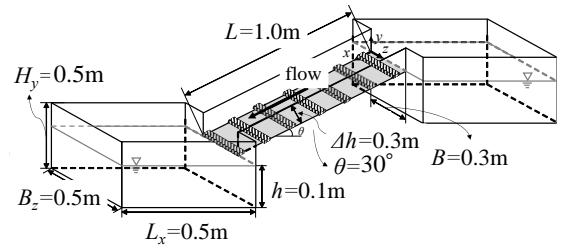


図-1 ウナギ用魚道の概要

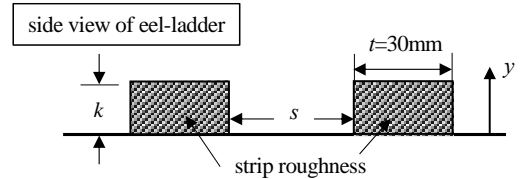


図-2 魚道底面(側面図)

表-1 実験条件

distance of strip roughness ss (mm)	height of strip roughness k (mm)			width of strip roughness t (mm)	discharge Q (ml/s)	Total length of <i>Anguilla japonica</i> \bar{T}_L (mm)			
	$\bar{T}_L=200$	$\bar{T}_L=250$	$\bar{T}_L=300$			200	250	300	
50	10	13	15	30	140	s50-200	s50-250	s50-300	s50-200 Onitsuka et al. (2022)
75						s75-200	s75-250	s75-300	No data
100						s100-200	s100-250	s100-300	s100-200 Onitsuka et al. (2022)
125						s125-200	s125-250	s125-300	No data
150						s150-200	s150-250	s150-300	s150-200 Onitsuka et al. (2022)
175						s175-200	s175-250	s175-300	No data

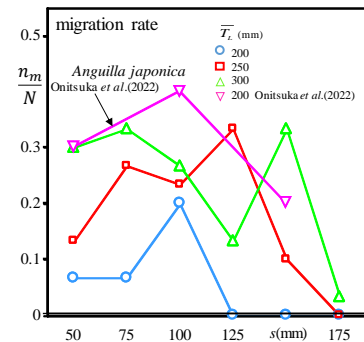


図-3 遡上率

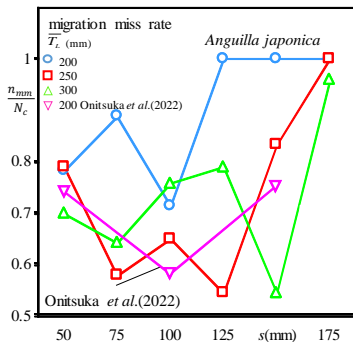


図-4 遡上失敗率

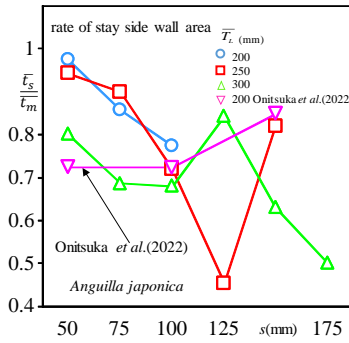


図-5 side wall area 滞在率

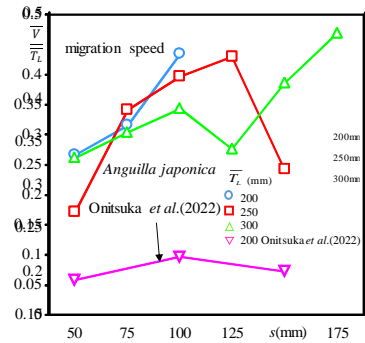


図-6 平均全長倍遡上速度

研究と類似した結果となった。また、全長の4分の1に相当する栈粗度間隔75mmにおいても最も高い遡上率を示した。

(2) 遡上失敗率

遡上失敗数 n_{mmm} を遡上挑戦数 N_c で除した遡上失敗率 n_{mmm}/N_c を算出した。図-4に栈粗度間隔 s と遡上失敗率 n_{mmm}/N_c との関係を全長 T_L 別に示す。栈粗度間隔 s の変化に着目すると、すべての全長において、全長の半分に対応する栈粗度間隔で最も低い遡上失敗率を示し、鬼束ら¹⁾の既往研究と同様の結果となった。以上より、図-3に示す遡上率の結果と合わせると全長が200および250mmでは鬼束ら¹⁾の既往研究と同様の結果を示し、全長の半分に対応する栈粗度間隔が遡上に適していることが明らかになった。全長が300mmの場合、遡上率は栈粗度間隔が75および150mmのケースで高くなっている。また、遡上失敗率は栈粗度間隔が150mmのケースで低くなっている。そのため、全長が300mmの場合についても全長の半分に対応する栈粗度間隔150mmが遡上に適していると考えられる。

(3) side wall area 滞在率

$z=0\sim 75, 225\sim 300\text{mm}$ をside wall area、 $z=75\sim 225\text{mm}$ をcenter areaと定義し、魚道を面積の等しい二つのエリアに分ける。遡上時にside wall areaに滞在した平均時間 t_s を平均遡上時間 t_m で除したside wall area滞在率 t_s/t_m を算出した。図-5に栈粗度間隔 s とside wall area滞在率 t_s/t_m との関係を全長 T_L 別に示す。栈粗度間隔 s の変化に着目すると、すべての全長において、全長の半分に対応する栈粗度間隔でside wall area滞在率が低くなっており、鬼束ら¹⁾の既往研究と同様の結果となった。遡上時に側壁を使うことができるside wall areaと比較して、center areaはより栈粗度を遡上の反力として使っていると考えられる。つまり全長の半分に対応する栈粗度間隔では、遡上時に栈粗度をより利用していると言える。そのため、図-3に示すように、全長の半分に対応する栈粗度間隔で遡上率が高くなっていると考えられる。

(4) 平均全長倍遡上速度

上流側水槽まで遡上した個体の平均遡上速度 \bar{V} を平均全長 \bar{T}_L で除した平均全長倍遡上速度 \bar{V}/\bar{T}_L を算出した。図-6に栈粗度間隔 s と平均全長倍遡上速度 \bar{V}/\bar{T}_L との関係を全長 T_L 別に示す。鬼束ら¹⁾の既往研究では全体で平均全長倍遡上速度は低くなっており、全長の半分に対応する栈粗度間隔が100mmのケースにおいて平均全長倍遡上速度は高くなっている。本研究でも、全長の半分に対応する栈粗度間隔で平均全長倍遡上速度は高くなっている。また、図-5に示すように、同様の栈粗度間隔でside wall area滞在率は低くなっている。この結果より、全長の半分に対応する栈粗度間隔では栈粗度をより効果的に遡上反力として使っているため、平均全長倍遡上速度は速くなっており、そのため全長の半分に対応する栈粗度間隔において遡上率が高くなっているときに、遡上速度も速くなっていると考えられる。

4. おわりに

本研究では底面に栈粗度を有するウナギ用魚道の栈粗度の間隔およびウナギの全長を変化させて各全長の最適な粗度間隔の解明を試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 全長の半分に対応する栈粗度間隔で遡上率は高くなっており、同様の栈粗度間隔で遡上失敗率は低くなっている。
- (2) 全長の半分に対応する栈粗度間隔で側壁部の滞在率は低くなっており、他の栈粗度間隔よりも栈粗度を利用して遡上している。また、同様の栈粗度間隔で遡上率は高くなっているため、栈粗度を利用することで遡上がしやすくなると推定される。
- (3) 全長の半分に対応する栈粗度間隔で平均全長倍遡上速度が速くなっているが、それは栈粗度を遡上反力としてより効果的に利用しているためであると考えられる。

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) 鬼束幸樹ら：底面栈粗度付き未成魚ウナギ用斜路式魚道の遡上特性，土木学会論文集G(環境), Vol.78, No.7, pp.III_415-III_423, 2022.