

斜面に設置した粗石の粒径がウナギのよじ登り特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生会員
九州工業大学大学院 正会員

○國崎晃平
鬼束幸樹

九州工業大学大学院 学生会員
九州工業大学大学院 フェロー会員

武田知秀
秋山壽一郎

1. はじめに

河川と海とを行き来する回遊魚のウナギ(*Anguilla japonica*)にとって、堰やダムなどの構造物は遡上を妨げる大きな要因となる。その際にウナギの遡上を助けるものとして、粗石などを設置したウナギ用魚道(eel ladder)が挙げられる¹⁾。

しかし、ウナギのよじ登りに最適な粗石粒径は解明されていない。本研究は粗石を設置した斜面を用い、粗石粒径を変化させ、ウナギの稚魚であるクロコウナギのよじ登り特性に及ぼす影響を解明したものである。本実験では自然石を用いたため、粗石ごとに直径を決定することが難しい。よって、粗石粒径を示すパラメータとして長径 D (mm)を採用した。クロコウナギはウナギの成長過程の1つで最も遡上が活発な時期であるため、実験魚として採用した。

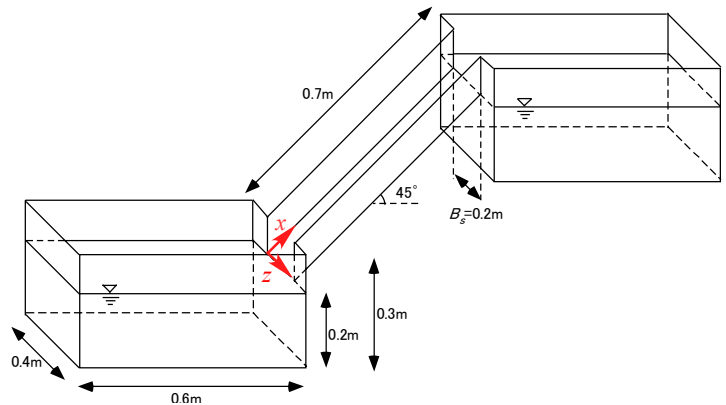


図-1 実験に用いた装置の概要

2. 実験装置および実験条件

図-1に本実験で用いた粗石付き斜面の概要を示す。縦0.6m、横0.4m、高さ0.3mの水槽2つを、角度45°に固定した幅 $B_s=0.2$ m、長さ0.7mの斜面で繋ぎ、双方の水槽の水深を0.2mとした。表-1に示す実験条件の通り、ケース毎に粗石長径 D を10, 20, 40および60mmの4通りに変化させた合計4ケースの実験を行った。粗石間最小距離が15mmの千鳥状となるよう斜面に設置し、上流側水槽での給水および下流側水槽での排水量を80mL/sとした。斜面の右岸側下端を原点として上流方向に x 軸、斜面横断方向に z 軸をとった。図-2に粗石の配置図を示す。平均体長 $\bar{B}_L=200$ mmのウナギ($N=20$ 尾)を下流側水槽に挿入し、10分間馴致させた後に実験を開始した。装置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よじ登りの様子を撮影した。撮影後、5sごとにキャプチャされた画像を基にウナギのよじ登り位置を算出した。実験時の水温は14°Cとした。

表-1 実験条件

case name	major axis of boulders D (mm)	width of slope B_s (mm)	D/B_s
B-05	10	200	0.05
B-10	20		0.10
B-20	40		0.20
B-30	60		0.30

3. 実験結果および考察

(1) よじ登り挑戦率 N_c/N および成功率 N_m/N と到達高さ H_c

斜面下端から測定し、実験魚の平均体長の4分の1に当たる50mmの高さまで到達した回数を挑戦数 N_c 、斜面上端まで到達した回数を成功数 N_m と定義する。各ケースの挑戦数 N_c および成功数 N_m を $N=20$ で除した値、 N_c/N 、 N_m/N をそれぞれ挑戦率、成功率と定義し、図-3に示す。 N_c/N に関して粗石長径 D の増加による顕著な傾向は観測されない。一方、 N_m/N は粗石長径 $D=20$ mmのB-10で最大となっている。また、図-4に各ケースの到達高さ H_c の頻度分布を示す。粗石長径 $D=20$ mmのB-10の到達高さ H_c の頻度が高い値に集中している。以上より、本実験条件においては粗石長径 $D=20$ mmのB-10が最もよじ登りやすいことが示唆される。

粗石長径 D の大きなケースの場合、一度にウナギの体を支える粗石の数が減少する。また、次にウナギが体を引っ掛けることのできる粗石までの距離が増加するため、ウナギの疲労が蓄積する。よって成功数 N_m が減少する。粗石長径 D の減少に伴って体を支える粗石数が増加し、また次の粗石へ到達するために必要な体力を抑えることができ、成功数 N_m が増加すると考えられる。しかし、粗石長径 D がさらに減少し $D=10$ mmとなったB-05ではウナギの体の屈曲が小さくなるため、流水の作用により下流方向に流されやすくなる。よって成功数

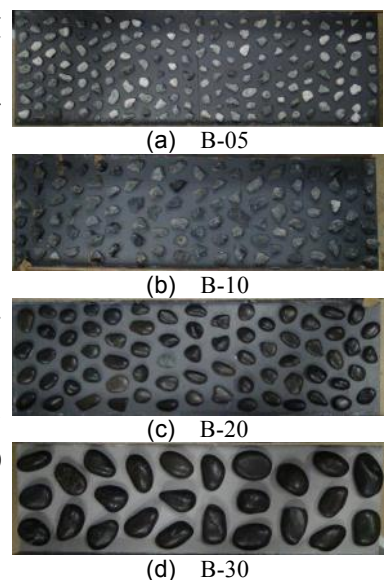


図-2 斜面に設置した粗石の配置図

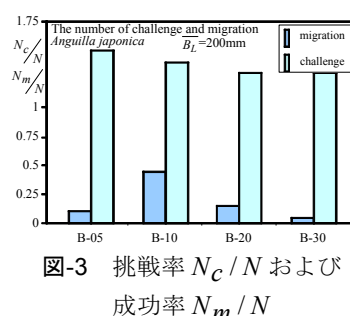


図-3 挑戦率 N_c/N および成功率 N_m/N

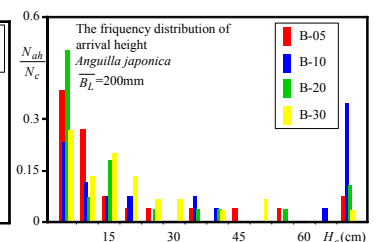


図-4 到達高さ H_c の頻度分布

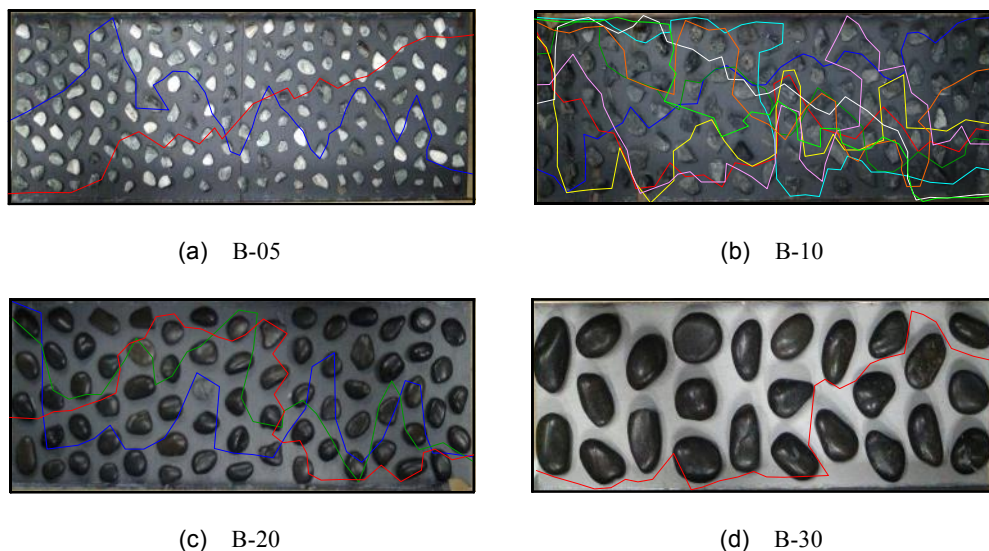


図-5 各ケースの遡上経路

N_m が減少すると考えられる。

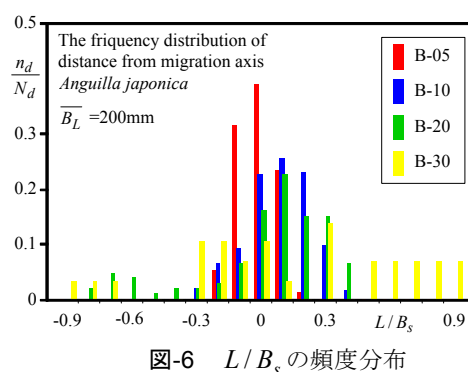
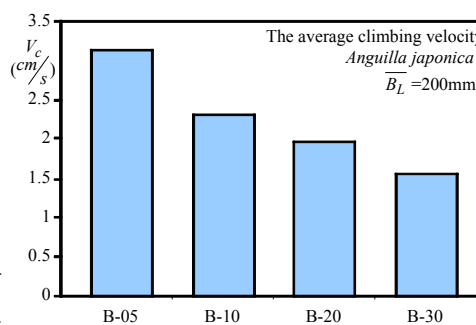
(2) よじ登り経路および屈曲頻度

図-5に各ケースのよじ登りに成功した個体の遡上経路を示す。全ケースにおいてウナギは左右に体をくねらせ、粗石に体を引っ掛けるようにしながらよじ登っていることがわかる。各遡上経路の斜面下端と上端とを結ぶ直線をよじ登り軸(migration axis)と定義し、よじ登り軸から、遡上経路をプロットした各点までの距離を屈曲距離 L と定義する。屈曲距離 L を斜面幅 B_s で除した値 L/B_s の頻度分布を図-6に示す。粗石長径 D が増加するにつれ、 L/B_s の分布曲線はピークが小さく、ばらつきが大きく変化していることがわかる。このことは、粗石長径 D の大きいケースほどウナギは左右に大きく進路を変えながらよじ登ることを示している。

先述の通り、粗石長径 D が大きいほど次にウナギが体を引っ掛けることのできる粗石までの距離が増加し、体力を消耗する。ウナギはそれを忌避して左右へ移動し、他の粗石に体を引っ掛けることで安定してよじ登ることができるため、屈曲頻度が大きくなったと考えられる。一方、粗石長径 D が小さければ体力を消耗せずに上流方向の次の粗石に到達できるため、屈曲頻度が小さくなったと考えられる。

(3) 平均よじ登り速度 V_c

図-7に各ケースの平均よじ登り速度 V_c を示す。粗石長径 D が増加するにつれ、平均よじ登り速度 V_c が減少している。粗石長径 D が小さいほどウナギがよじ登りに利用する粗石の数およびウナギが粗石と接する面積が増加し、ウナギが体を引っ掛けやすくなるため、すばやく登れるようになったと考えられる。

図-6 L/B_s の頻度分布図-7 平均よじ登り速度 V_c

4. おわりに

本研究は粗石付き斜面を用いて、流量および斜面勾配を一定とし、粗石の長径を変化させ、ウナギのよじ登り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) 粗石長径の増加に伴うよじ登り挑戦数の変化は顕著でないが、成功数は粗石長径 20mm で最大となる。
- (2) 粗石長径の増加に伴って屈曲頻度のばらつきが大きくなり、平均よじ登り速度は減少する。

今回は平均体長 $B_L=200\text{mm}$ のクロコウナギを用いて実験を行った。今後、様々な成長過程および体長のウナギを用いて、さらに実験を進める必要がある。

謝辞：本研究を実施するにあたり、実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に謝意を表す。

参考文献

- 1) Solomon, D. and Beach, M.: Fish Pass design for Eel and Elver (*Anguilla anguilla*), Environment Agency R&D Technical Report W2-070/TR, 2004.