

横断勾配を持つ全断面粗石魚道の流れと魚の遡上率について

東洋大学 学生員 ○櫻井 龍太郎
東洋大学 正会員 青木 宗之
 正会員 松木 越
東洋大学 正会員 福井 吉孝

1. はじめに

全断面粗石魚道は、景観・環境の面からほかの魚道に対して優位性を持っていると言われており、著者らはこれまでに、その遡上促進機能を検討してきた。しかし、通常の全断面粗石魚道は流量が増加すると魚道内が一樣に高流速となり、魚の遡上が困難であった。そこで本研究では、全断面粗石魚道に横断勾配を設け、多様な流速・水深をより一層創出させることで、魚道機能の向上を目指すことを目的とした。そのために、実験（水理実験および実魚を用いた挙動実験）を行った。

2. 実験方法

実験ケースを表-1に示す。Run1は既往研究²⁾であり（図-1 a）、本実験との比較のために示している。Run2は、本実験で行ったケースであり、横断勾配 $i_y=1/5$ を設けた全断面粗石魚道である（図-1 b）。また、魚道の縦断勾配は $i_x=1/20$ であり、粗度要素として直径5(cm)、高さ2.5(cm)の発泡スチロール半球を用い、疑似粗石（以下、粗石と呼ぶ）とした。なお、粗石密生度 λ_r を以下のとおり定義した。

$$\lambda_r = \frac{A_r}{A_f}$$

(1)

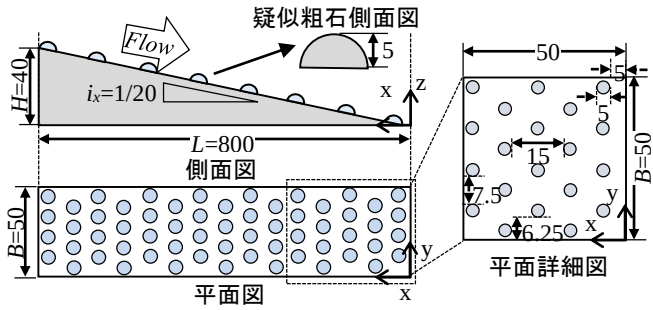
ここに、 A_r ：粗石面積(m²)、 A_f ：魚道面積(m²)である。 $\lambda_r=0.16$ は、実際の全断面粗石魚道で設置されているとおりに設定した。また、流速低減効果が期待できる千鳥配列に粗石を配置した。このとき、魚が十分遡上できるだけの粗石の設置間隔を確保した。

実魚を用いた挙動実験は、1回の実験につき体長 $BL=7.6\sim11.0$ (cm)（平均体長 $\overline{BL}=9.0$ (cm)）のウグイを10尾使用した。ここで、一般的にウグイの巡航速度 $v_c=2\overline{BL}$ $\sim 4\overline{BL}$ (cm/s)、突進速度 $v_B=10\overline{BL}$ (cm/s)以上とされている。実験は、対象魚を水路内の環境に30分間馴致させ、その後に30分間ウグイの挙動を観測した。その挙動は、高解像度ビデオカメラで撮影し、2次元動画解析ソフトを用いて遊泳軌跡、遡上速度を求めた。なお、実験時の水温は18.0 $\sim$ 25.3(℃)であり、ウグイは行動的であった。

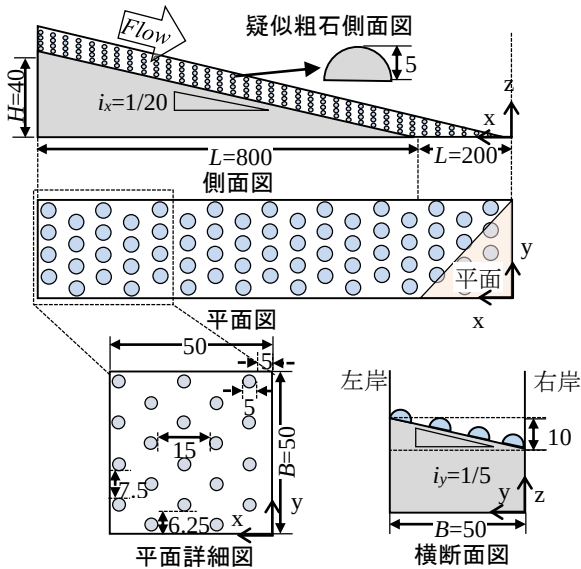
水理実験では、水深はポイントゲージを用いて測定した。流速は、2次元電磁流速計を用いて測定した。なお、流速の水深方向の測定位置は、ウグイが遡上する際

表-1 実験ケース

	流量 Q (l/s)	横断勾配 i_y	粗石密生度 λ_r
Run1-1	2.2	なし	0.16
Run 1-2	4.7		
Run 1-3	8.8		
Run 1-4	22.2		
Run 2-1	2.2	1/5	
Run 2-2	4.7		
Run 2-3	8.8		
Run 2-4	22.2		



a) 模型魚道 (Run1)



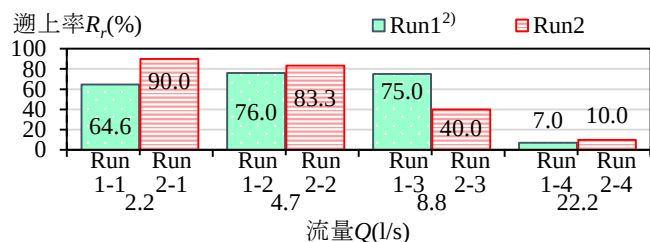
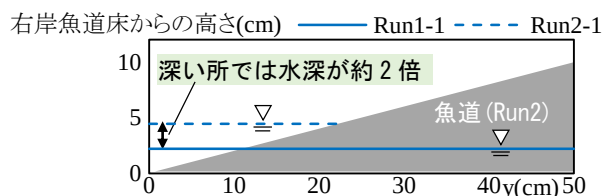
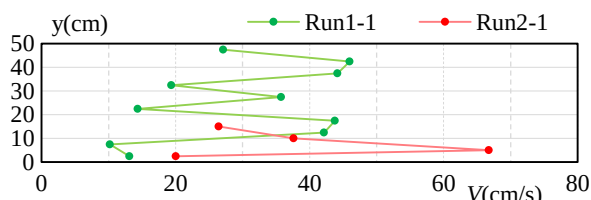
b) 模型魚道 (Run2)

図-1 模型魚道・粗石概略図 単位：(cm) (i_x , i_y 除く)

に最も頻繁に遊泳していた魚道床から2(cm)とした。

3. 実験結果

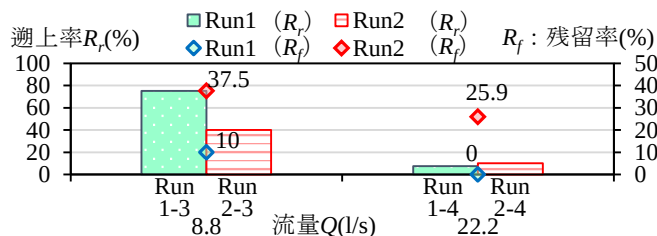
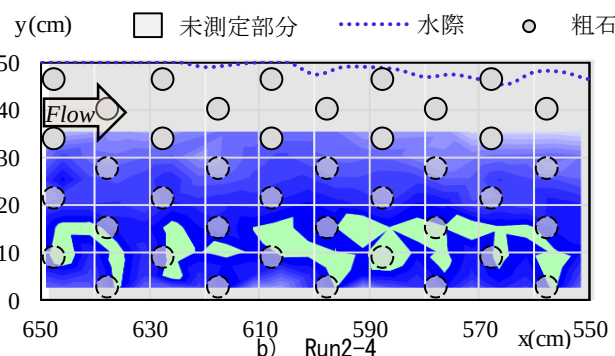
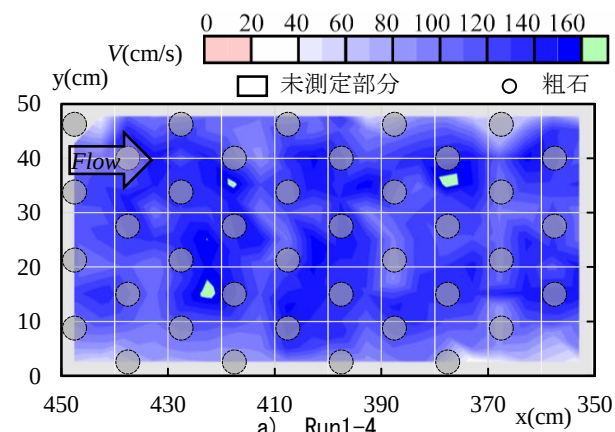
図-2に、挙動実験結果：各ケースにおける遡上率 R_r を示す。Run1-1, Run1-2, Run1-4²⁾に比べて Run2-1, Run2-2, Run2-4（横断勾配あり）の遡上率 R_r が高かった。特

図-2 挙動実験結果：各ケースにおける遡上率 R_r 図-3 横断面図と水深 ($Q=2.2$ (l/s))図-4 $x=402.5$ (cm) での魚道床から 2 (cm) の V ($Q=2.2$ l/s)

に、Run2-1 の R_r は、Run1-1 に比べて 3 割ほど向上した。これは、Run1-1 の水深が 2.5 (cm) 程度と低く、ウグイの遡上にあまり適していなかったことが考えられる。これに対し Run2-1 では、横断勾配を設けたことで主流部の水深 5.0 (cm) 程度になったため、ウグイの遡上環境が改善され、 R_r も向上したものだと思われる。一方で、Run2-1 における主流部の $V (= \sqrt{u^2 + v^2})$ は、Run1-1 に比べて 3 割ほど速くなった (図-3)。しかし、本実験で用いたウグイの v_B よりも低い V のため、ウグイは遡上可能である。また、Run2-3 の R_r は、Run1-3 に比べて 5 割程度減少した。そこで、ウグイの魚道内残留率 R_f に着目した (図-5)。なお、 R_f は以下のとおり定義した。

$$R_f = \frac{F_F}{F_T - F_C} \times 100 \quad (4)$$

ここに、 F_F : 魚道内に残留したウグイの個体数、 F_T : 実験に使用したウグイの個体数、 F_C : 遡上に成功したウグイの個体数である。Run2 の R_f は、 $Q=8.8, 22.2$ (l/s) ともに Run1 に比べて上回っていた。Run2-3 の R_f が 37.5 (%), R_r が 40.0 (%), 計 77.5 (%) となり、Run1-3 の合計値に近似した。また、Run1-4 および Run2-4 の R_r に大きな差異がない一方で、 R_f は Run1-4 で 0 (%), Run2-4 で 25.9 (%) となった。Run1-4 は、水路全体で高流速のため (図-6 a)), ウグイがたびたび押し流されていた。一方で、Run2-4 (横断勾配あり) では横断方向の水深も異なり、ウグイの休息場となる箇所も形成された (図-6 b))。

図-5 実験終了時の遡上率 R_r と魚道内残留率 R_f の比較図-6 $Q=2.2$ (l/s) のケースにおける V コンター図

そのため、ウグイが遡上・休憩ができるようになり、Run2-4 の R_f が高くなったと考えられる。

4. おわりに

横断勾配を持つ全断面粗石魚道は、低流量時でも魚が十分に遊泳できる水深が確保できるため、 R_r が高くなった。一方で、流量が大きくなると R_r は減少したが、 R_f は高いため高流速でも魚道内に滞在できるようになった。しかし、全断面粗石魚道に横断勾配を設けても、著しい魚道の機能向上は見られなかった。一方で、全断面粗石魚道に横断勾配を設けることで、水深や流速が多様になり、様々な魚種への適応性が示唆された。

謝辞: 本研究は、東洋大学井上円了記念研究助成を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 水野ら: 魚の生態からみた魚道の見方: 応用生態工学 3(2), 209-218, 2000
- 2) 松木ら: 全断面粗石付魚道の機能増進および修復について: 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.71, No.4, I_1105-I_1110, 2015.