

複断面開水路における魚の行動について

東洋大学 正会員 ○青木 宗之
東洋大学 正会員 福井 吉孝

1. はじめに

近年，地球温暖化による気候変動の影響で，集中豪雨などにより降水量が増加し，洪水が頻発化している．日本の河川の多くは複断面開水路であり，その流れは，低水路と高水敷との境界部などに形成される水平渦や二次流などの三次元的な複雑な流れの様相を示す．このように，複断面開水路流れ構造の解明への努力が多くされてきている^{例えは1)}．

しかし，その複断面開水路内での魚の行動に関する研究は多いとはいえず，特に明確にされていない．洪水時での魚の行動を明確にすることは，魚の生息実態の把握，生息環境，避難場所や生態系の維持・創生を計るうえで非常に重要であると考えられる．そのため，洪水時における魚の行動特性を明らかにすることは，生物多様性を考慮した今後の河川計画にとって不可欠であるといえる．

そこで本研究では，複断面開水路における魚の遊泳特性を明確にすることを目的とし，実魚を用いた挙動実験を行った．

2. 模型実験

実魚には，平均体長 $BL=5.0(\text{cm})$ のウグイを用いた．ウグイは，指標種としてよく用いられるアユと同様に，強い走流性を持っている．また，ウグイは体長 $4.0(\text{cm})$ 以上であれば，成魚と同様の流速を好んで遊泳するため，今回実験に用いたウグイで，十分に遊泳特性を把握することができる．なお，用いたウグイの最大体長は $5.9(\text{cm})$ ，最小体長は $4.0(\text{cm})$ である．

実験は，水路サイズと魚が魚群行動をする習性を考慮し，1回の実験につき3尾のウグイを使用した．方法は，魚を水路下流に放流し，30分間を流水に馴れさせた．その後，魚の遊泳行動を上方および側方から高速・高解像度カメラで撮影し，魚の遊泳行動を解析した．

実験水路は図-1であり，水路幅 $B=20(\text{cm})$ の小型水路を用いた．実験は，複断面開水路の流れ特性に対する魚の行動特性に着目しているため，流れの相似則は考慮していない．

高水敷は，水路右岸側に設け，高さ $D=5(\text{cm})$ とした．ここで，複断面開水路の流れの特徴である，二次流等が形成される条件は， $H/D>1.5$ であるため¹⁾，実験水深 H を $7.8(\text{cm})$ とした．これにより， $H/D=1.56$ となり，複断面開水路流れを形成することとした．なお，実験ケースは表-1である．

3. 実験結果

通常での魚の遊泳深度は， $z=2(\text{cm})$ 程度であり，底面付近を遊泳することが既往の研究^{例えは2)}において分かっている．しかし，この遊泳深度は単断面開水路流れでの実験結果である．そこで，本研究では，(1)単断面開水路流れでの魚の存在箇所の再確認，および(2)複断面開水路流れと魚の存在箇所との関係を明確にした．

(1) 単断面開水路での魚の遊泳

Run1（単断面開水路）における魚の遊泳深度は，単純平均した結果， $z=1.7(\text{cm})$ であった（図-2 a）．これは，既往の研

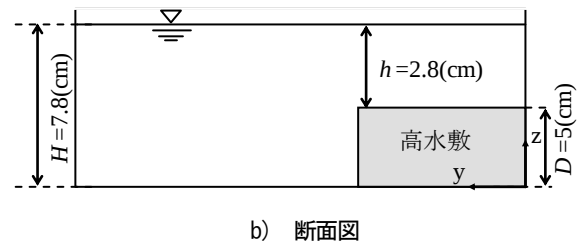
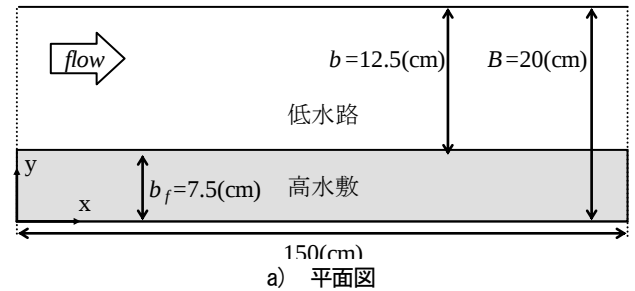
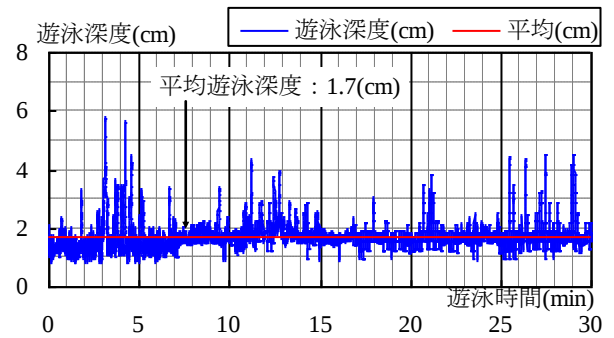


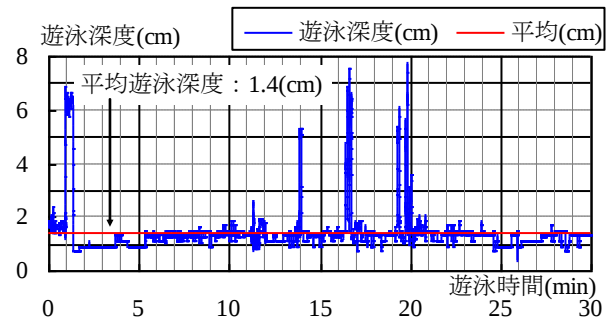
図-1 小型実験水路：流れと魚の遊泳深度の関係把握

表-1 小型実験水路を用いた実験ケース

	流量 $Q (\text{l/s})$	高水敷高さ $D (\text{cm})$	低水路水深 $H (\text{cm})$	高水敷水深 $h' (\text{cm})$	h/H	H/D
Run1	6.3	-	7.8	-	-	-
Run2	6.3	5	7.8	2.8	0.36	1.56



a) Run1（単断面開水路）



b) Run2（複断面開水路）

図-2 魚の遊泳深度

キーワード：複断面開水路，ウグイ，遊泳特性

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 TEL：049-239-1406 E-mail：aoki037@toyo.jp

究²⁾と同様であり、底面付近を遊泳していることを確認した。また、実験中の魚の存在箇所は図-3 a)であり、約95(%)の魚が壁際で遡上していた。魚の存在箇所を横断分布で見ると、壁際に存在していた魚の割合は約95(%)であり、左右岸に二分化していた。

なお、動画解析時に、魚の遡上経路を確認した結果、魚は、走流性を発揮し、壁際を遡上していた(側壁選好性)²⁾。このとき、遡上箇所の流速は、魚の体長の6倍程度の流速であり、魚の遊泳特性(走流性、側壁選好性)が明確に現れる流速であった²⁾。

(2) 複断面開水路での魚の遊泳

Run2(複断面開水路)における魚の遊泳深度の単純平均は1.4(cm)であり(図-2 b))、Run1と同様に底面付近を遊泳していた。しかし、単断面および複断面開水路流れにおける、遊泳深度の標準偏差 σ および分散 σ^2 に着目すると(図-4、表-2)、Run1よりもRun2の標準偏差 σ および分散 σ^2 のほうが大きい値であった。これは、Run2における遊泳深度が、Run1の遊泳深度よりもバラついていることを示している。

既述のとおり、通常の魚の遊泳深度は、 $z=2(\text{cm})$ 程度であり底面付近を遊泳するが、Run2においては魚が高水敷に乗る現象が生じている(図-3 b))。そこで、流れの乱れ $(-\rho v'w')$ に着目し、高水敷付近における流れの乱れについて、FFT解析を行った。その結果、高水敷付近でのスペクトルは $1/f$ 勾配であり(図-5)、 $1/f$ ゆらぎの流れを持っていることが分かった。 $1/f$ ゆらぎは、全生体に対し快適な感覚を与えるとして知られている³⁾。これは、著者らの既往研究でも実証されている²⁾。

また、複断面開水路の流れは、流下方向への流れと比して微小ではあるが、高水敷から落ちる流れも形成される。魚は、その落ちる流れも感知し、水面方向に頭を向け、高水敷へ向かうものだと考えられる。

なお、複断面開水路流れでの魚の存在箇所は図-3 b)であり、左岸、低水路河岸および右岸(高水敷上)と、大きく分けて3箇所に魚が存在し、遡上していた。これは、魚が低水路河岸を側壁として認識したためであると考えられる(側壁選好性)。

4. おわりに

本研究では、複断面開水路における魚の基本的な遊泳特性を把握した。結果は、以下のとおりである。

- ① 複断面開水路流れにおいても、単断面開水路流れと同様に、魚の遊泳特性である走流性および側壁選好性が確認された。
- ② 複断面開水路流れにおける魚の遊泳深度は、単断面開水路流れと同様に底面付近であった。しかし、標準偏差および分散の値が後者よりも大きいことから、バラつきがあることが分かった。
- ③ これは、高水敷付近に $1/f$ ゆらぎをもつ流れがあり、魚が高水敷に乗る現象が生じたと考えられる。

参考文献

- 1) 瀬津ら：かぶり水深の変化が複断面開水路流れの組織渦に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集，No.649/II-51, pp.1-15, 2000
- 2) 青木ら：間伐材を用いた杭水制の水利機能と魚の生息について，環境システム研究論文集，第37巻，pp.19-28, 2009
- 3) アットホーム(株) HP: 教授対談シリーズ こだわりアカデミー 数学・物理 F 分の1 ゆらぎの謎にせまる，http://www.athome-academy.jp/archive/mathematics_physics/0000000230_all.html

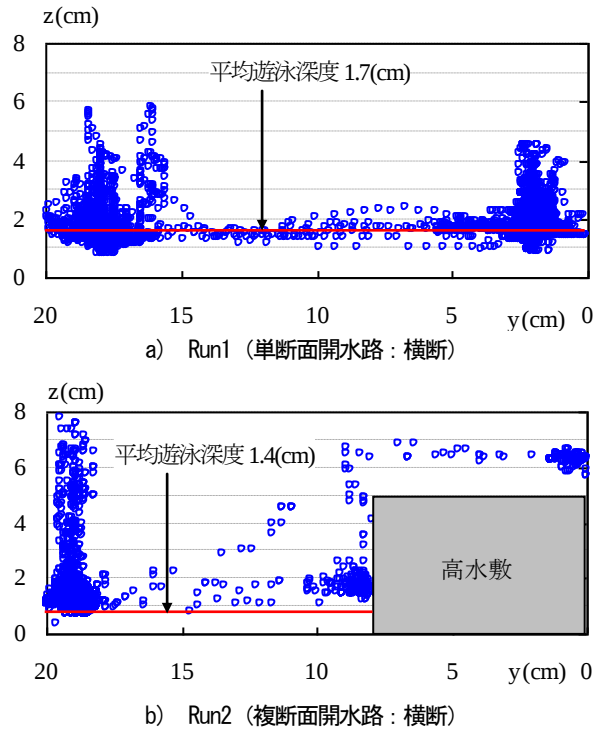


図-3 魚の存在箇所(上流からみた投影データ)

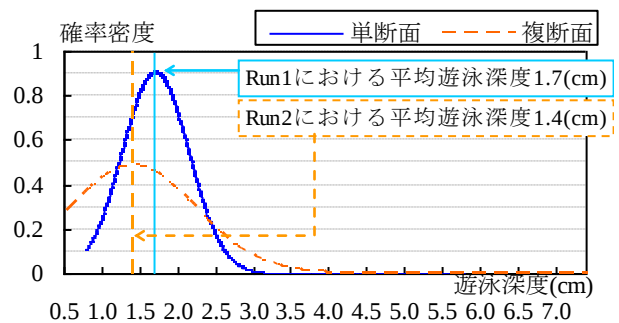


図-4 遊泳深度の確率密度

表-2 Run1, Run2での魚の遊泳深度における平均・標準偏差・分散

	Run1 (単断面)	Run2 (複断面)
平均 μ	1.7(cm)	1.4(cm)
標準偏差 σ	0.45	0.82
分散 σ^2	0.21	0.68

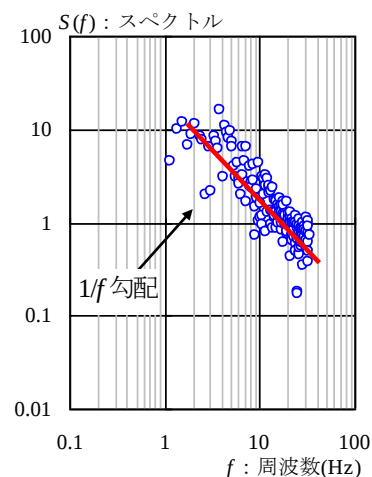


図-5 高水敷付近における乱れ $(-\rho v'w')$ のスペクトル(Run2)