礫堆積時における階段式魚道内の流れ特性について

東洋大学理工学部　正会員　○青木　宗之
日本水工コンサルタント　非会員　橘　勇貴
東洋大学大学院　学生員　坂間　睦美

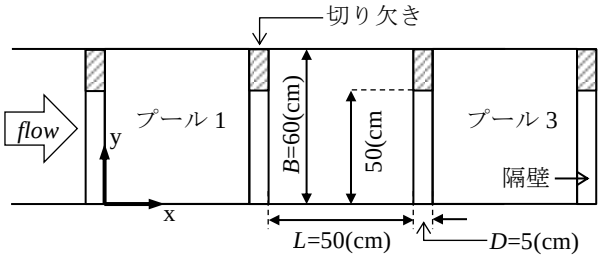
1．はじめに

魚道は大きく 3 つのタイプ（プール，ストリーム，オペレーション）に分けられ，プールタイプの階段式魚道が最もポピュラーである．一方で，階段式魚道は流量の変動に対して，魚道プール内の流速，水深ともに著しく変動する構造であり，土砂や礫の堆積などによる魚道機能低下の提言もされている．著者らは，階段式魚道内での礫の堆積が，魚道機能の低下に繋がることを示した [1)]．しかし，魚道内に礫堆が堆積した状況において，魚が魚道内に滞留する等の行動に対する根拠は未解明な部分が多い．そこで本研究では，階段式魚道内の礫堆積時における流れに着目し，その流れ特性を解明することを目的とした．そのために，実験水路に階段式魚道を設置し，実験を行った．

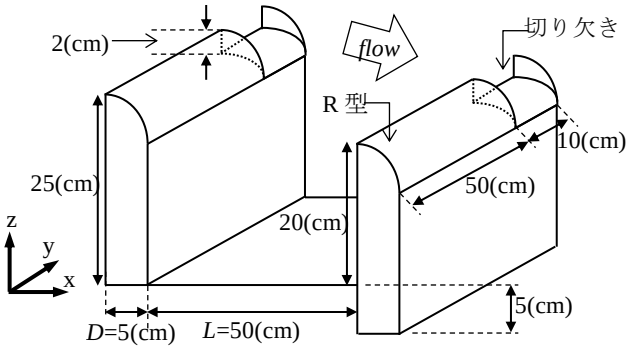
2．実験概要

図-1 に, 実験に用いた階段式魚道を示す. 全長 15(m)の実験水路中央部に，魚道幅 B を 60(cm)，プール長 L を 50(cm)，隔壁厚さ D を 5(cm)の階段式魚道を設置した．プール間落差を 5(cm)とし，魚道勾配を 1/11 とした．なお，プールは 3 つ設けており，上流側のプール番号を若い番号とする. また, 現地魚道の隔壁部には，切り欠きが設けられていることが多いため，本実験では深さ 2(cm)および幅 10(cm)の切り欠きを隔壁部左岸側のみに設けた（**図-1**）．水平部対切り欠き幅の比は，魚道内の流況が安定となる 5:1 とし，隔壁形状は隔壁の下流側で剥離現象が生じないよう，R 型とした．

表-1に，実験ケースを示す．流量の違いによる魚道内の流れ特性についても着目しているため，実験流量 Qは4.0, 8.0, 16.0(l/s)の3パターンとした．なお，各ケースにおいて全面越流をさせている．各プール内には，代表粒径d_{60}=15(mm)の礫を敷厚20(cm)で均一に敷き詰めた．その後，Q=20.0(l/s)で約120分間通水し，礫の堆積状況を安定させた．なお，平常時を想定しているため，プール1より上流からの礫供給はしていない．



a)　平面図



b)　プール拡大図

図-1　実験に用いた階段式魚道

表-1　実験ケース一覧表

	流量 Q(l/s)	礫		流量 Q(l/s)	礫
Run1-1	4.0	なし	Run1-2	4.0	あり
Run2-1	8.0	なし	Run2-2	8.0	あり
Run3-1	16.0	なし	Run3-2	16.0	あり

3．実験結果

本研究では，階段式魚道内の礫の堆積時における流れ特性を解明するため，流れの渦度に着目した．**図-2**に，uw ベクトル図および渦度ω_y コンター図を示す．渦度ω_yは，以下のとおり定義される．

$$\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \tag{1}$$

ここに，ω_y：y軸まわりの渦度(rad/s)，u, w：x, z方向の時間平均流速(m/s)である．なお，渦度の正(+)の値は，軸を反時計回りの回転を示している．

キーワード　階段式魚道，礫堆積，流れ特性，渦度
連絡先　〒350-8585　埼玉県川越市鯨井 2100　東洋大学　理工学部　都市環境デザイン学科　TEL : 049-239-1406

まず，礫がなく流量の違いによる魚道内の流れにおいては，Run1-1，Run2-1，Run3-1のいずれにおいても，魚が遡上しやすい落下流状態[2]になっていることが分かる．渦度を見てみると，プールの上流から底面，下流へ向かって，反時計回り（負(-)の値）の渦度であることが分かる．これは，流量の大小に関わらず同様の傾向を示している．このことにより，渦度でプール内流況を把握することが可能であるといえる．

次に，礫が堆積しているRun1-2, Run2-2, Run3-2における魚道内の流れを見てみると，礫のないRun1-1, Run2-1，Run3-1と同様に，落下流状態であることが分かる．一方で，反時計回り（負(-)の値）の渦度の形成範囲が，礫のない状態に比べて3～5割程度縮小されている．これは，礫堆積時には魚の遡上しやすい領域が縮小されることを示している．このことにより，階段式魚道内に堆積した礫は，落下流状態の領域を縮小させ，魚の遡上を妨げる要因の一つであるといえる．

また，魚が遡上する箇所は路床または礫床から概ね2(cm)程度であることが分かっている[1]．そこで，各ケースにおける路床または礫床から2(cm)でのプール内流速$V\left(=\sqrt{u^2+w^2}\right)$に着目した（図-3）．礫がないRun1-1, Run2-1, Ru3-1において，流量が増加するにつれ，流速Vも速くなっていることが分かる．これは，礫が堆積しているRun1-2，Run2-2，Run3-2においても同様である．また，礫が堆積していることで，礫のない状態に対して流速Vが6～9割程度減少していることが分かる．これは，礫の堆積によって底面の粗度が高くなったためだと考えられる．

４．おわりに

本研究で得られた主な知見は以下のとおりである．

①礫の堆積の有無に関わらず，魚が遡上しやすい落下流状態が形成されることを確認した．

②礫の堆積時には，礫のない状態に比べて落下流状態の形成領域が～5 割程度縮小し，魚の遡上を妨げる要因の一つであることが分かった．

参考文献

1)青木ら：階段式魚道のプール内における礫の堆積が魚類の行動に及ぼす影響について，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.71, No.4, pp.I_1099-I_1104, 2015

2)浪平ら：階段式魚道における流量変化に伴うプール毎の流況およびウグイの遡上行動，水工学論文集，第 51 巻，pp.1291-1296, 2007

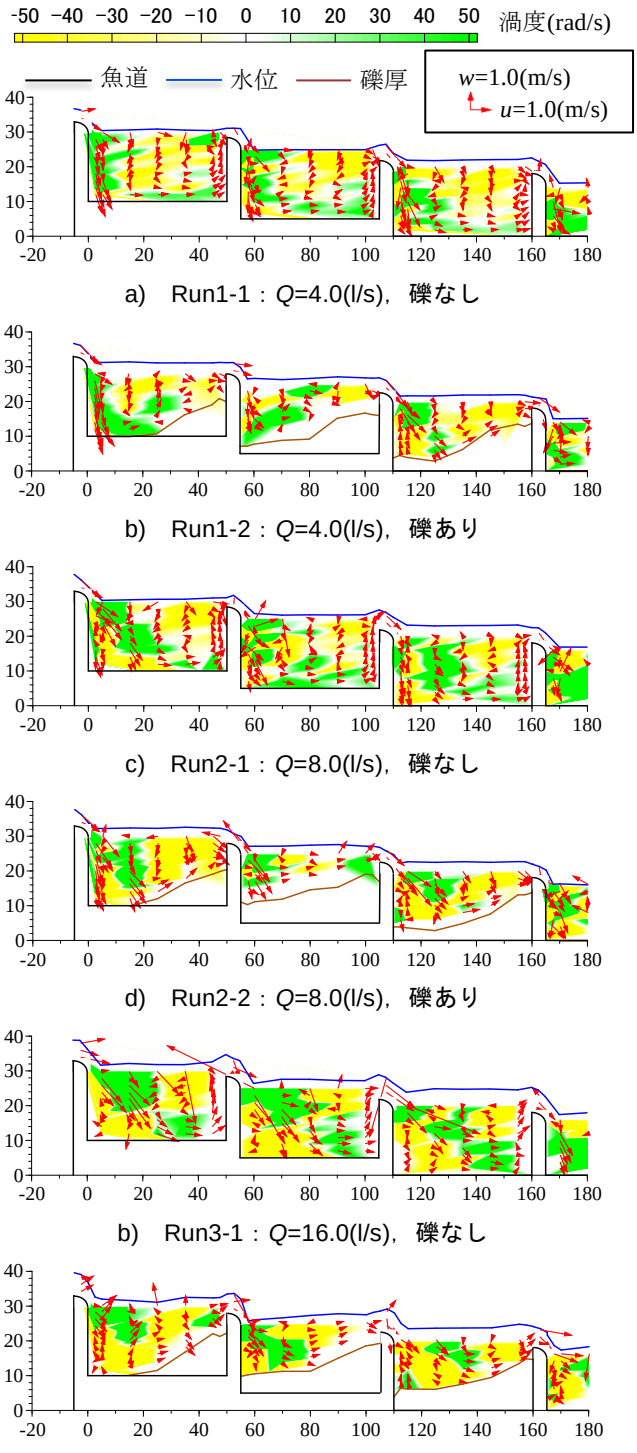


図-2 uw ベクトル図および渦度ω_yコンター図（y=57.5(cm)）

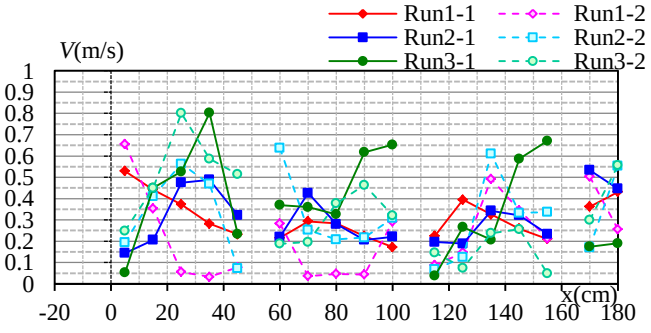


図-3 各ケースにおける路床または礫床から 2(cm)の流速 V