

洪水時のプール式台形断面魚道における礫の排出過程

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○中島 崇博
日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一

1. はじめに

平野部および溪流河川に設置されている横断構造物において遊泳魚を主とした水生生物の遡上・降河を可能にするために魚道を整備するのが一般的である。魚道を通した水生生物の遡上・降河環境を妨げる要因として、出水後の魚道内における礫や流木の堆積¹⁾が挙げられる。魚道の維持管理費の軽減から、プール内で礫や流木が堆積しにくい魚道が必要である。従来の魚道の水理設計では、通常時の流量に対して検討されたものがほとんどであり、出水時における魚道内の流況特性が解明されておらず、不明な点が多い。最近の研究²⁾により、魚道の隔壁構造により、出水時に輸送される礫の排出が可能であることが実験的に明らかにされている。しかしながら、礫の排出過程および流量規模に対応する排出可能な礫のサイズなど不明な点が多い。ここでは、礫の排出が認められるプール式台形断面魚道(写真1)を対象に、礫の排出過程および礫の大きさに対応した排出可能な流量規模を実験的に検討した。また、台形断面魚道において礫の排出効果を高めるために、魚道上流端の構造の工夫を提案した。



写真1 台形断面魚道模型

2. 実験

実験には、プール式台形断面魚道(写真1)の模型を用いた。模型スケールは原型の1/10と想定している。使用した水路は幅40cm、高さ80cm、長さ6.4mの矩形断面水平水路である。礫の排出実験を行うにあたり、3種類の礫を用いた。メスシリンダーを用いて求めた礫一個当たりの体積の値から球体とみなして平均粒径を算出し、平均粒径の小さい順番からA, B, Cとした。各平均粒径はA:0.390cm, B:0.902cm, C:2.00cmである。礫の比重は2.8としている。魚道の最上流端の天端に、礫を1種類ごとに平らに敷き詰め、少しずつ流量を増加させて礫を自然流下させた。また、実験では $Q=0.042\text{m}^3/\text{s}$ (限界水深(水理水深として表示) $hc=0.118\text{m}$)まで流量を変化させ、礫の排出過程について検討した。礫の排出過程に変化が認められる段階ごとに流量を測定した。魚道上流部と中流部にデジタルビデオカメラを設置し、礫の挙動およびプール内の流況を記録した。さらに、二次元電磁流速計(採取間隔30msec, 採取時間180sec)を用いて、プール内における流下方向および横断方向の平面流速を計測した。実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件

魚道構造	プール式台形断面魚道
魚道幅 B	0.400(m)
隔壁幅 L	0.250(m)
隔壁の設置数 n	10
魚道勾配 i	1/7
隔壁間の落差 h	0.025(m)
プール深さ S	0.050(m)
限界水深 hc	$0.0055 \leq hc(\text{m}) \leq 0.118$

3. 礫の排出過程

礫Aを用いた場合、流量増加に伴い、ある段階で多量の礫が輸送され、第1プールに運ばれる。その後、一時的にプール内の空間は礫で覆い尽くされてしまう。このとき、プール内の乱れに加え、隔壁上部の流れが速いため、堆積された礫が徐々に排出される。プール内である程度の空間が確保されると、前述のように横断方向の乱れによって、プール内の礫が変動し、排出されるようになる。この場合、礫が全て排出される限界水深は $hc=0.069\text{m}$ である。礫B, Cを用いた場合、第1プールでは流量を本実験の上限($hc=0.118\text{m}$)まで上げても礫が排出されないことを確認した(写真2)。なお、礫B, Cの場合、各々 $hc=0.041\text{m}$, 0.079m で第1プール以外のプールで全て排出される(礫Aの場合、 $hc=0.029\text{m}$)。第2プール以降のプールでは、プール中央に集中し、隔壁に衝突した流れが、越流時に左右に分散し、左右不均衡な流れが次のプールに流れ込む。これより、プール内の乱れに加え、時間的不規則に左右に揺さぶる流れが生じ、礫の浮遊や変動を促すため、礫が排出されやすい。それに対し第1プールでは、天端から安定して流れ込むため、プール内の流れが乱れるものの左右に揺さぶる流れが生じ難い。このため礫が大きくなると排出され難くなったものと考えられる。



写真2 突起物のない
第1プールの礫の堆積

4. 排出機能向上のための提案

第1プールにおいて礫の排出を促すため、写真3に示されるように、第1プール直上流の隔壁中央部に台形型の突起物を設置することを提案した。

礫Bの場合、第1プール下流側の左右の隅角部から徐々に排出され始め、 $hc=0.065\text{m}$ で礫が第1プール内から全て排出された(写真4)。また、礫



写真3 突起物を設置した
台形断面魚道模型

キーワード：洪水流, 維持管理, 礫の排出過程, 台形断面魚道, 乱流

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14; TEL&FAX03-3259-0409; Email: yokyas@cst.civil.nihon-u.ac.jp

Cを用いた場合、礫が一度に第1プールに運搬され、プール内の空間が埋め尽くされるときは、 $h_c = 0.118 \text{ m}$ (本実験の最大の流量)まで増加しても礫が排出することはなかった。次に輸送される礫の量によって排出状況が変わるのか検討するため、第1プールの容積の1/2, 1/3 相当の礫の量が輸送される場合について検討した。その結果、1/2の量では $h_c = 0.109 \text{ m}$, 1/3の量では $h_c = 0.082 \text{ m}$ で排出された。なお、限界水深の値は突起物が設置されていない状態で計算された値を示す。

第1プールの流況を観察すると、突起物を設置した場合、時間的に不規則な流れが形成され、突起物を設置しない場合には見られない強い渦が形成される。また、突起物から剥離した流れによって、不規則に流れの向きが変化し、非対称な流れが形成される。このような流況が第1プールから輸送された礫を排出させたものと考えられる。すなわち、プール式台形断面魚道において、第1プール直上流の隔壁中央部の突起物の有無により、第1プールに堆積する礫の排出効果に違いがあることが分かった。

5. プール内の流速の時系列変化

突起物の有無によって第1プール内の流れにどのような違いがあるのか流速変動に着目し、検討した。図1に示されるように、流下方向をx方向の正の向き、横断方向左岸向きをy方向の正の向きとする。突起物を設置した場合、礫の排出の起点が第1プール下流側の左右の隅角部であることから、第1プール内の左右の隅角部を測点とした。各測点座標をa(4.5,5.6), b(4.5,-5.6)とする。測定高さは底面から0.8cmである。測点a, bにおいて、x方向の流速uの時系列変化を見ると、突起物の有無に関わらず、負の向き、すなわち逆流方向を示し、y方向に比べて小さな変動を有する。y方向の流速vの時系列変化を測点aで検討する。突起物のない場合、正負が小刻みに生じている(図2参照)。それに対し、突起物を設置した場合、正負が小刻みに変化している時間帯もあるが、変動幅の小さい時間帯もある。すなわち、正負の向きを交互に偏り、時間的に不規則に流れの向きが変化する傾向がある(図3参照)。同様に、測点bについても測点aで得られた流速vの波形と同様の波形が得られる(図4参照)。さらに、第1プール内と下流側のプール内との比較を行うために、第5プール内の流速変動に着目し、同様の検討をした。第5プールでは、第1プールに突起物の有無に関わらず同様の波形が得られた。測点a, bにおいて、x方向の流速uの時系列変化を見ると、第1プールに比べ変動幅は大きくなるが、第1プールと同様に負の向き、すなわち逆流方向を示した。測点aにおいて、y方向の流速vの時系列変化を見ると、第1プールに比べ変動幅は大きくなるが、突起物を設置した第1プールと同様に正負の向きを交互に偏り、時間的に不規則に流れの向きが変化する傾向を示す波形が得られた(図5参照)。このように、流速の時系列変化から、突起物を設置することにより下流側のプール内で生じる時間的に不規則に偏る流れが第1プール内に形成されることがわかる。

6. まとめ

プール式台形断面魚道に関して礫の排出過程と礫のサイズに対応した排出可能な流量規模を検討した結果を以下にまとめる。一度に礫が第1プールへ輸送された場合、プール内での横断方向の乱れにより、礫Aの場合、礫が排出される。礫B, Cの場合、本実験の流量範囲では第1プール内の礫が排出されることが分かった。その一方、第1プール以外ではプール内の乱れおよび不規則に揺さぶる流れにより、3種の礫すべてが排出された。第1プール内での礫の排出効果を高めるため、魚道上流端の隔壁中央部に台形の突起物を設置することを提案した。突起物を通過する流れによって、第1プール内に不規則な流れが形成され、時間的に流れの向きが変化するようになった。このことから、突起物を設置しない場合には見られない強い渦が形成され、礫の排出効果が得られることを示した。

参考文献

- 1) 林野庁, 平成19年度 生物多様性保全に資する治山対策手法検討調査, pp.123-124, 2008
- 2) 安田陽一, 「魚道構造による出水時でのプール内の礫の排出状況の違い」, 第4回流体力の評価とその応用に関するシンポジウム講演集, pp.91-94, 2006



写真4 突起物を設置した
第1プールの礫の堆積

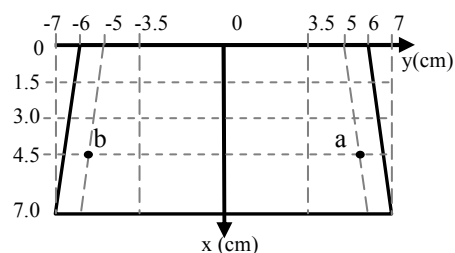


図1 プール内測点図

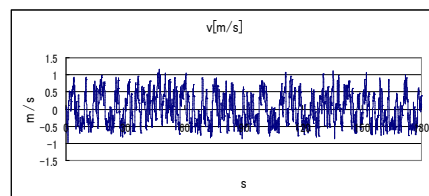


図2 第1プール(突起なし)測点a(4.5, 5.6)
におけるy方向流速vの時系列

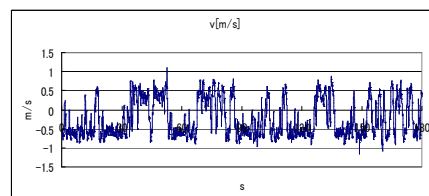


図3 第1プール(突起あり)測点a(4.5, 5.6)
におけるy方向流速vの時系列

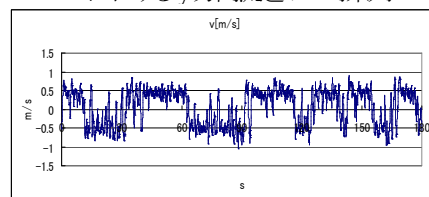


図4 第1プール(突起あり)測点b(4.5, -5.6)
におけるy方向流速vの時系列

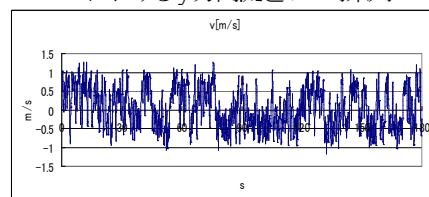


図5 第5プール(突起なし)測点a(4.5, 5.6)
におけるy方向流速vの時系列