

平水時および洪水時における練り積み石組魚道の特性 Characteristics of fish passage with stacked boulders during normal and flood stages

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○檜崎 慎太郎
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

魚道とは、川を往来する魚やエビ・カニ等の甲殻類にとって移動の障害となる堰やダム等の落差構造物に付帯される水生生物の為の河川構造物である。堰やダムは、水利用において重要な役割を担う一方で、水生生物の移動を妨げる為、河川環境や漁業観点から問題視される。その対策として、落差部に魚道を設置され、水利用と環境の保護の両立が図られている。近年、安田教授らによって半恒久的な魚道の一つとして、自然石を用いた“石組み魚道”が提案されている^{1), 2)}。実際に群馬県や岡山県で施工され、その有用性が確認されている。しかし、実際に効果のある石組み魚道を作るには専門的な設計が必要不可欠で誰しもが施工できるものではないのが現状である。

そこで、有効に機能する石組み魚道の設計のルールや洪水時の安定性を実験的に検討し、石組み魚道が職人技という安易な扱いではなく、科学的に論理を構成していくことが必要である。

ここでは、石組み魚道に利用される自然石の形状が地域によって異なることから丸石と平石での湧水時から豊水時の遡上経路、流況を確認し、その結果に基づいて、平石での洪水時の安定性について実験的検討を行った。

2. 自然石の形状比較検討実験

実験を行った背景として群馬県神流川柏木堰堤の練り積み石組み魚道³⁾では魚の遡上が確認できているが、岡山県宇甘川頭首工の練り積み石組み魚道⁴⁾では現在の所、魚の遡上が確認できていない。この二つの石組み魚道は同規模、同一施工者でなぜ遡上に違いが生まれたのかを施工段階の写真から比較検討を行った結果、神流川の石組み魚道では平石、宇甘川では丸石が多く使用されている特徴があり、実際にどのような違いが生じるか模型実験を行った。

矩形断面水平水路に高さ 40cm、長さ 1m、幅 80cm の箱型模型を設置し、左岸側丸石、右岸側平石を石組み長 2m、1/5 勾配で組んだ。石組みに用いた石材は 20cm 前後の丸石と平石、5cm 前後の玉石、碎石を用いた。**写真 1** で示した線は主な流れを表している。**写真 1** から分かるように丸石は直線的な流れ込みになり、

平石は多様な流れが形成された。これは平石が横に長い事によって、左右からの流れ込みにより流れに多様性が生じたと考えられる。よって魚の遡上環境を考慮した時、丸石より平石の方が優れている結果となった。

自然石の形状比較実験から丸石と平石では平石の方が優れていることが確認出来たことから、次に平石のみを用いて石組みを再現して流況観察を行った。また、この実験では練り積みを組み合わせた石組み魚道を再現するためにパテ（練り積みの領域：遡上経路以外）を用いた。平石においても千鳥に組むことは容易ではないため、矩形断面水平水路に高さ 40cm、長さ 1m、幅 80cm の箱型模型を設置し、大小異なる巨礫（大：約 34cm 前後、小：22cm 前後を使用）を用いることで千鳥が再現できるか確認を行った。



写真 1 丸石と平石の流れ方の違い

実験結果として、流量の少ないときは、千鳥に組んだことで多様な流れが形成されていた。また、流量を増加していくことで表層を流れる流れが流下方向に直進的になるが、石の下空間では石の形状を活かした左右への流れ込みが確認出来たことから石と石の隙間をケッケ社製のポータブルプロペラ流速計（内径 30mm）で測れる箇所を 5 箇所選定し流速を測定した。

写真 2 で記したポイントで流速を測定し、**表 1** の結果が得られた。**表 1** で示すように測定ポイント②～⑤は表層の流れ方が流下方向に直進的でも、石の下空間において千鳥に組んだことで横断方向の流速が速く左右からの流れ込みがあることを確認できた。しかし、測定ポイント①では大小異なる巨礫を用いて千鳥を組めていなかったことにより、直進的になり流下方向の流速が速い結果になった。

キーワード 魚道、自然石、石組み、安定性

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL03-3259-0409 cssh16164@g.nihon-u.ac.jp



写真2 千鳥を再現した練積み魚道における流速測定のポイント（①～⑤で示す）

表1 石の下空間の流速

hc=4.95cm	①	②	③	④	⑤
流下方向(cm/s)	24.5	15.8	12.3	13.7	9.4
横断方向(cm/s)	12.8	30.6	22.9	21.6	15.6
hc=5.78cm	①	②	③	④	⑤
流下方向(cm/s)	31.8	22.3	14.4	13.5	11.6
横断方向(cm/s)	16.6	31.5	25.9	20.4	20.6
hc=6.61cm					
流下方向(cm/s)	40.8	27.8	15.3	14.1	15.5
横断方向(cm/s)	21.1	38.9	31.6	26.4	24.3
hc=7.74cm	①	②	③	④	⑤
流下方向(cm/s)	41.4	27.6	14.9	16.6	16.2
横断方向(cm/s)	29.1	33.4	32.6	38.9	29.8
hc=8.29cm	①	②	③	④	⑤
流下方向(cm/s)	49.0	27.0	17.5	16.2	17.0
横断方向(cm/s)	30.2	35.2	33.6	39.2	35.6
hc=9.13cm	①	②	③	④	⑤
流下方向(cm/s)	56.1	27.8	18.2	17.1	17.7
横断方向(cm/s)	34.1	35.6	35.1	41.2	40.3

3. 練積み石組みに魚道における洪水時の安定性

平水時の遡上経路に対する自然石の形状比較実験から丸石と平石では平石の方が優れていることを確認した。このことから、平石の練積み石組み魚道の安定性について、様々な洪水規模の流量を想定して変化させて検討を行った。なお、魚道の安全側を考慮し魚道下流側の流れが射流となるよう設定した。矩形断面水平水路に高さ 10cm、長さ 1m、幅 80cm の箱型模型を設置し、石組み長（流下方向 50cm、横断方向 30cm）の練積み石組み魚道をパテで再現した（練積み領域：遡上経路以外）。用いた石材は玉石約 7.6cm 前後、玉石約 5.6cm 前後、碎石を用いた。流速測定はケネク社製のポータブルプロペラ流速計（内径 30mm）、圧力測定はピトー管（先端外径 3mm、先端内

径 1mm、総圧孔－静圧孔間の距離 18mm）を用い測定した。

石が抜けた時の越流水深 11.56cm での圧力を写真3に示す。丸いポイントで図った時の石にかかっている圧力は $-0.8 \sim -1.1$ kPa、堰直下の星印のポイントで図った時の石にかかっている圧力は $-0.6 \sim -0.7$ kPa。両ポイント共に負圧で、これは石を引き抜く力として作用していた。また、石が抜けた場所にかかっていた流速は 148.3cm/s で、フルードの相似則より 2m 落差の実規模を想定すると 664.1cm/s の流速がかかっていることが確認できた。今回の実験で、練積みを用いた石組みにおいても石と石の接点の重要性および一層目の石の踏ん張りを効かせる為の踏ん張りとして作用する碎石を下から入れるのではなく下に置いた状態でその上に石を被せていくことが重要⁵⁾であると練積み石組み魚道でも確認できた。

4. まとめ

練積み石組み魚道において、自然石の形状としては丸石より平石の方が多様な流れ方が形成され遡上環境に優れている。千鳥に組むことでより多くの流れが形成される。その手法として、大小の異なる巨礫を組み合わせる事が有効である。また、洪水時の安定性実験から石組みに石を引き抜こうとする圧力が作用していることから空積み同様に石と石の接点を持たせて組むことが重要である。

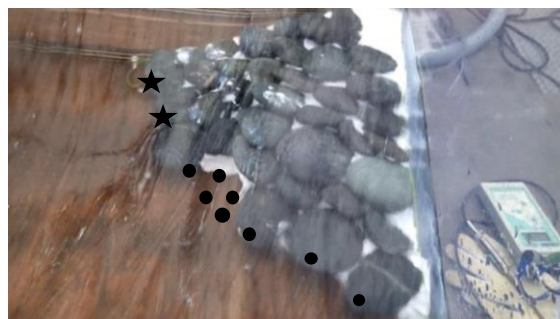


写真3 圧力測定ポイント

参考文献

- 1) 安田陽一：技術者のための魚道ガイドライン，コロナ社，pp1-5, 44-50, 2011.
- 2) 安田陽一：頭首工に設置された石組み魚道に関する実験から実務への適用，土木学会河川技術論文集，第24巻，pp. 125-130, 2018.
- 3) 安田陽一：神流川水系の砂防堰堤に設置した魚道の特徴，砂防学会，pp81-82, 2018.
- 4) 安田陽一：技術者のための魚道ガイドライン，コロナ社，pp1-5, 44-50, 2011.
- 5) 安田陽一：石組みを利用した減勢工に関する実験から実務への適用とその成果，土木学会河川技術論文集，第2巻，pp. 639-644, 2017.