

河川環境改善に向けた石組みに関する検討

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○宮田逸平

1. まえがき

河川横断工作物によって水生生物の移動が妨げられ、生息域の拡張、生態系保全が厳しくなることが多い。その対策として、魚道整備が挙げられ、様々なタイプの魚道が整備されている¹⁾。恒久的な魚道整備のほとんどはコンクリートで製作されている¹⁾。大型魚種から底生魚、甲殻類、貝類など多様な水生生物の移動を可能にするためには多様な流れを形成することが重要である²⁾。プール式魚道では隔壁の一部に切り欠きを設けて、流量変動に対応した流れを形成する工夫、擬岩に見立てた隔壁を越流する流れに変化を持たせた工夫、隔壁の天端を段階的に変化させた工夫、魚道側壁を斜めに傾けた工夫などがあるが、自

然河川にある玉石からの流れはさらに多種多様な流れが形成される。すなわち、コンクリートで製作した隔壁の場合、幾何学的な形状から、流れの多様性に限界が生じるものと推定される。石組み魚道は現在、試行的に施工されている場合が多く、洪水流によって魚道機能が損なわれないように、練積みで石が組まれている（写真1）。石組み魚道の設計・施工を確立するために、洪水時の安全性、石組みの技術の向上が求められている³⁾。ここでは、現場に適用した石組みの事例を紹介し、模型実験規模で石組みした場合と石組みをしない場合の流速分布および掃流力について比較検討を行った。



(a)



(b)



(c)

- (a) オニセップ川の治山堰堤に設置された石組み魚道
- (b) 下川ペンケ川の頭首工に設置された石組み魚道
- (c) 重川の床止め工（砂防施設）に設置された石組み緩傾斜の全断面魚道

写真1 石組みによる魚道工

キーワード 治山堰堤、帯工、石組み、河川環境、洪水対策

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail : csit14212@g.nihon-u.ac.jp

2. 実河川に適用した石組みの事例

スリット化された治山堰堤における事例

日高地方を流れるパンケ平取川に設置された治山堰堤をスリット化とした場合の堰堤下流側の石組み減勢工の施工事例を写真2, 4に示す。写真3は写真2, 4と同一の場所で布団かごによる減勢工にした場合の出水後の状況（平成28年度9月）を示す。堰堤を複断面化またはスリット化にした場合、出水時に流れが中央に集中するため、堰堤下流側の30分の1勾配の河床を保護する対策として、堰堤からの流れを拡散し、減勢機能を有する必要がある。ここでは、堰堤直下に減勢池を設け、70cm前後の巨石を帯工状に石組みしたもの5m間隔に設置し、3か所または4か所設置している。帯工状に設置されている一体化された石組みの数は下流側の河川形態によって変更している。石組みされた帯工では様々な流れが形成され、局所的に深掘れした箇所には遊泳魚・底生魚の生息が見られた。写真3に示されるように、従来、布団かごを設置して減勢工の機能を持たせ、下流側の

河川に接続する方法をとっていることが多く、出水時に布団かごを越える流れは下向きの流れが形成されやすく、布団かご直下流で局所洗掘が生じていた。この場合、溪流魚（ヤマメ・サクラマス）を含めた水生生物の移動環境および河床の安定性が損なわれる状態となっているため、石組みによる帯工群を設置することにした（写真2）。施工後に3度にわたる台風の通過に伴い、北海道では50年以上経験がない規模の土砂崩壊に伴う災害が多数発生した。その一方で、写真4に示されるように、堰堤下流側の改良に伴い、河床状態は安定化し、水生生物の生息環境が保護された状態となっている。これは、堰堤下流側の河道を広げ、複数にわたる、石組み帯工を設置によって、帯工通過することによって、流速を減勢し、礫の形状効果を利用して主流を上昇しやすくしたことによるものと考えられる。なお、石組みで魚道を施工した場合（写真1(a))についても、石をコンクリートに埋め込んだ場合と異なり、平成28年度に発生した洪水規模においても、石組みは崩壊することなく、安定した状態となっている。



写真2(a) 石組みによる減勢工の施工状況



写真3 布団かごによる減勢工の出水後の状況



写真2(b) パンケ平取川に設置された治山堰堤下流側の石組みによる減勢工の施工状況



写真4 平成28年度台風通過後の減勢工の状況

3. 石組みによる流体力の違い

石組みの有無による掃流力の違いを検討するため、図1に示されるように水平水路に石を設置し、掃流力を検討した。石を設置した前後の断面を流入断面、流出断面として、その断面間の流体を検査部を選び（図2）、運動量方程式(1)を適用する。運動量補正係数を考慮するため、流入断面および流出断面の流速を測定する。

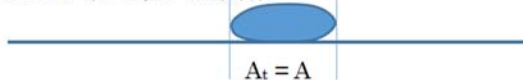
$$\beta_2 \rho Q V_2 - \beta_1 \rho Q V_1 = \frac{1}{2} \rho g B h_1^2 - \frac{1}{2} \rho g B h_2^2 - D \quad (1)$$

ここに、 B は水路幅、 D は設置した石に作用する流体力、 h_1, h_2 は流入・流出断面での水深、 V_1, V_2 は流入・流出断面での断面平均流速、 β_1, β_2 は流入・流出断面での運動量補正係数である。

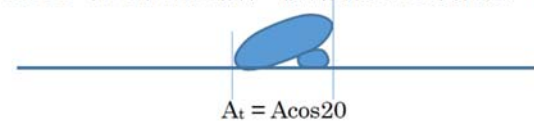
石1個を水平に置いた場合の設置面積 A については以下のように定める。

設置された石について、横断方向に一様に並べていることから、代表的な石を3つ選び、短辺と長辺との積を平均したものを個数分として水平に設置した総面積 A としている。

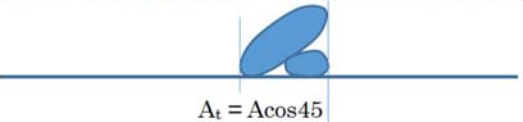
Case 1 (石を置いた場合)



Case 2 (石を組んだ場合 傾斜角度を 20 度程度にした場合)

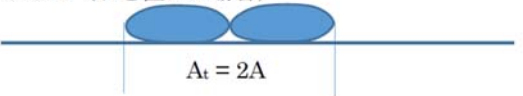


Case 3 (石を組んだ場合 傾斜角度を 45 度程度にした場合)



2 列の場合

Case 4 (石を置いた場合)



Case 5 (石を組んだ場合 はじめの傾斜角度を 20 度程度にした場合)

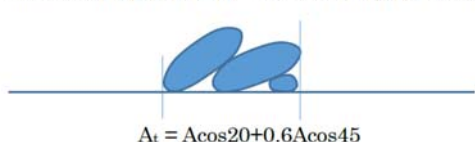


図1 水平水路に設置した石の状態（概略図）



図2 石に作用する流体力を評価するための検査部



写真5 実験で使用した石（比重 2.6）

短辺 × 長辺 横断方向の設置数 N $N = 8$ 個

$a_1 = 6.2 \times 7.5 = 46.5$

$a_2 = 6.6 \times 7.5 = 49.5$

$a_3 = 4.9 \times 9.3 = 45.57$

平均 $\bar{a} = 47.19 \text{ cm}^2 = 0.004719 \text{ m}^2$

1 列あたりの設置総面積 $A = N\bar{a} = 0.03775 \text{ m}^2$

水路幅 $B = 40 \text{ cm}$

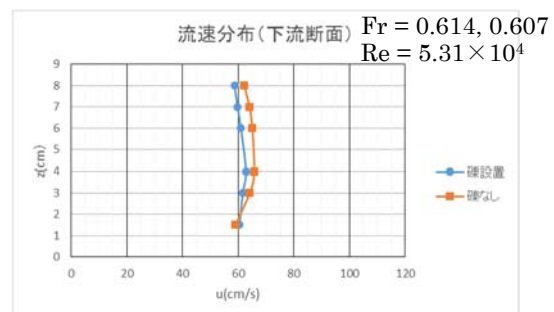
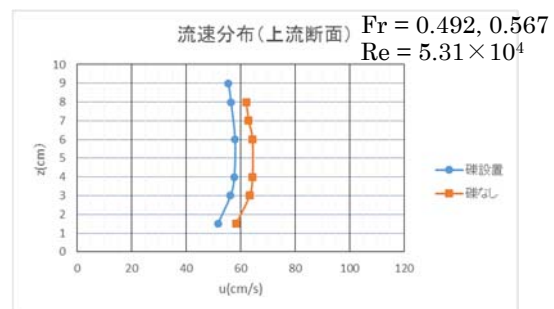


図3 流入・流出断面の流速分布（Case1）

石を設置した前後の流速分布を図3～5に示す。石を水平に並べた場合(Case1)、石を45度に傾けた場合(Case3)の石組み下流側では、主流が底面付近に位置する（図3,5）のに対して、小石を下に敷いて石を20度程度傾けて石組みをした場合(Case2)（図4）、下流側の石の傾きを20度にし、上流側の石を傾き45度程度にして下流の石を上流の石でかぶせた状態で石組みをした場合(Case5)、主流は水面に向かって上昇する。

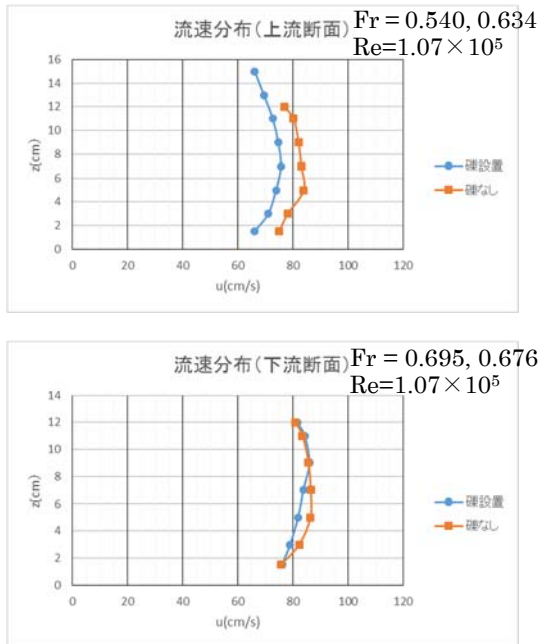
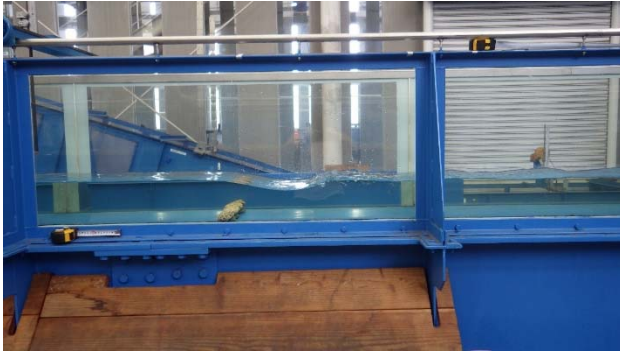


図4 流入・流出断面の流速分布 (Case2)

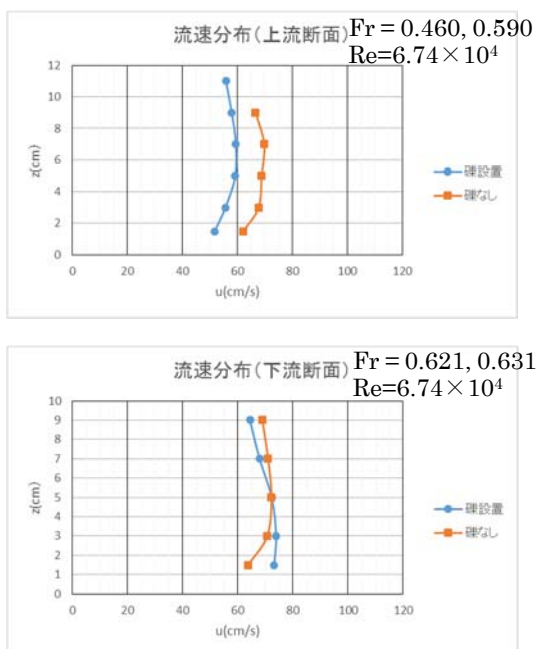


図5 流入・流出断面の流速分布 (Case3)

各 Case の限界掃流力を比較するために、無次元化された限界掃流力を次式から算定する。

$$\tau_{*c} = \frac{D}{\rho g \left(\frac{\gamma}{w} - 1 \right) S A_t}$$

S は水平に投影した石の高さ、 γ は石の単位重量、w は水の単位重量である。

Case 1 $\tau_{*c} = 2.42 \times 10^{-1}$, $Re = 5.31 \times 10^4$

Case 2 $\tau_{*c} = 4.07 \times 10^{-1}$, $Re = 1.07 \times 10^5$

Case 3 $\tau_{*c} = 3.70 \times 10^{-1}$, $Re = 6.74 \times 10^4$

Case 4 $\tau_{*c} = 1.48 \times 10^{-1}$, $Re = 8.44 \times 10^4$

Case 5 $\tau_{*c} = 3.50 \times 10^{-1}$, $Re = 1.91 \times 10^5$

上記の結果から、石組みの仕方で無次元掃流力が大きく異なる。なお、Re はレイノルズ数を示す。

石を水平に1列並べた場合（ただし、石同士の接点は保たれた状態）に比べて同じ1列でも小石を下にして並べている石を20度程度傾けて石組みをした方が1.7倍も安定性が高まることを示した。

石を45度程度に傾けると、石を水平に並べた場合に比べて1.5倍程度になる。

流量規模で比較すると、石を水平に1列並べた場合に比べて、同じ1列でも小石を下に敷いて横一列に並べている石を20度程度傾けて石組みをした場合、流量が2倍になる。また、石を45度程度に傾けると、石を水平に並べた場合に比べて1.3倍程度になる。すなわち、横一列に並べている石を20度程度傾けて石組みをした場合が45度程度に傾ける場合より安定性が高い。

石を2列（ただし、石同士をくっつけた状態）に設置すると、石を水平に2列並べた場合に比べて、下流側の石の傾きを20度、上流側の石を傾き45度程度にして下流の石を上流の石でかぶせた状態で石組みをすると、無次元掃流力は2.4倍も大きくなり、石組みの安定性が高まる。流量規模では2.6倍も異なる。なお、本実験の最大流量でも移動しなかった。

4. まとめ

現場に適用した石組みの事例から石を組むことによって、水生生物の移動・棲息環境および洪水対策の調和がとれることを紹介した。また、模型実験規模で石組みした場合と石組みをしない場合の掃流力の比較を検討した結果、石組みの仕方で洪水時に発生する石組み下流側の洗掘を抑制することが可能となり、安定性が高まる可能性を示すことができた。

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, 144 pages, 2011.
- 2) 安田陽一, 河川整備の土木技術から見た通し回遊性の水生生物の保全に向けた貢献, 海洋と生物 225, 生物研究社, Vol. 38, No. 4, pp.387-396, 2016.
- 3) 安田陽一, 生態系保全と治山・治水との調和のとれた河川環境, フォレストコンサル, 森林部門技術士会, No.138, pp.7-22, 2014.