

頭首工に設置した石組み魚道に関する実験から実務への適用

日本大学理工学部土木工学科 正会員 ○安田陽一
北九州市小倉南区役所 まちづくり整備課 内村政彦

1. まえがき

頭首工として設置されている固定堰や落差を伴う床固工が全国に今でも数多く点在し、遊泳魚をはじめとする水生生物の移動が困難となっている^{[1],[2]}。その一方、恒久的な魚道整備するための事業費の確保が難しく、簡易的な魚道として、生コンクリートに巨礫を埋め込む「こわざ」^[3]の試みが行われている。河川構造物における石組みの河川技術が確立していないため、石組みではなく巨礫を埋め込むだけでは、洪水時に礫が衝突し礫が抜け落ちるなど、機能が損なわれる。河川に整備される石組みでは、城壁の石組みではなく、平水時から豊水時にかけて遡上経路になり得る流れが形成されるように、洪水流には石組みされた礫が流出しないように礫と礫の接点を考慮した石組みの河川技術が必要不可欠である^[4]。

北九州市の協力のもとで、福岡県北九州市内を流れる紫川の中流部（桜橋周辺）に設置された頭首工（写真1）で石組み魚道を施工した。写真1に示されるように、この頭首工は固定堰であり、越

流面が曲面になっているため、中小洪水規模の堰を越える流れは曲面に沿うため、礫に衝突したときの安定性を考慮する必要がある。

ここでは、自然河川に見られる石組みに着目し、石組み周辺の流れの再現性を確立するために、落差部に設置する巨礫を用いた石組みの仕組みとその組み立て方法を明らかにし、石組みの構成に基づき実験的に洪水時の石組みされた礫の安定性について検討した。また、施工途中の出水の影響、豊水規模から渇水規模の流況を確認し、遡上経路になり得る流れを確認したことについて報告する。

2. 落差構造物に設置する石組みのポイント

石組み設置場所の選定および礫のサイズ

写真1に示される落差約2mを有する頭首工の上流側では、写真2に示されるように、河道が蛇行し、頭首工の左岸下流側では滞留域になりやすい。出水後には、上流側が輸送される砂礫の堆積が見られる。なお、左岸側の直下では落差越流面からの流れによって堆積は見られない。これらの



a) 平水時の流況



b) 左岸側の石組み設置予定範囲

写真1 福岡県北九州市内を流れる紫川における頭首工

キーワード 頭首工, 固定堰, 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 : yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

点を考慮して、写真 1(b)に示される頭首工左岸側のエリアに石組みを行うことにした。現場では土嚢を用いて堰天端を止水しても、堰堤下流側の水叩き上では止水できないため空積みの石組みとした。また、空積みに使用する巨礫については、河川整備に発生した写真 3 に示される巨礫を使用した。巨礫のサイズは少なくとも頭首工周辺に見られる巨礫よりも大きいものが含むように考える。ここでは 60 cm～1.2 m 程度の巨礫を用いている。

落差部に設置する石組みについて、写真 4 は模

型規模で石組みした状態を示す。写真 5, 6 は原型規模で石組み途中の状態を示す。水叩き上に設置する場合、写真に示されるように小型の礫を敷いて巨礫が下向きにならないようにする。また、巨礫同士の接点を含めて 4 点以上の接点（底面との接点、小型礫との接点、礫同士の接点）が保つように石を組む。また、礫間の谷間が遡上経路になるか否かを常に確認する。巨礫の内側では 10 cm 前後のグリで埋める。その後、0～40 mm の碎石を 10 cm～15 cm 厚まで充填する。また、巨礫を上を重ねる



写真 2 頭首工前後の河道 (Yahoo 地図から転載)



写真 3(a) 石組みに使用する巨礫その 1



写真 3(b) 石組みに使用する巨礫その 2



写真 4 模型規模の石組みの状態



写真 5 原型の石組みの状態その 1



写真 6 原型の石組みの状態その 2

場合には巨礫の傾斜角度が 20～30 度³⁾になるように、グリと碎石の充填厚さを考慮する。

3. 石組みの安定性を検討するための実験

実験は長さ 15m、幅 80 cm、高さ 60 cm（中間から下流側の高さ）の矩形断面水路に高さ 10 cm、長さ 1 m、幅 80cm の耐水性合板からなる箱型の模型を設置した。また、頭首工の高さに合わせるため、箱型模型の下流端に高さ 20 cm、長さ 10 cm、幅 80cm の模型を木ねじで結合し、さらに、頭首工の越流面を再現するために、伊崎堰は固定堰であり、越流面が曲線を有しているため、模型実験において、その点を再現するため、押出発泡ポリスチレンからなる厚さ 10 cm の断熱材（商品名：スタイロホーム）で加工したものをさらに結合し、写真 7 に示すように、水路に設置した。石組みに用いた石材は 1.5 寸（45 mm）前後、1 寸（30 mm）前後の玉石（商品名：伊勢五郎）、および 20 mm 前後および 10 mm 前後の庭石（大礫）であり、それぞれ、1.5 寸（45 mm）前後玉石は 161 個、1 寸（30 mm）前後の玉石は 143 個、20 mm 前後の庭石は約 150 個（7 kg）、10mm 前後の庭石は約 1000 個（7 kg）の石材を用いた。対象となる流況は重力の影響が大きいことから、フルードの相似則（原型と模型との間でフルード数が同じになるように設定した実験）に基づいた実験を行った。流量は水路上流部に設置されているバルブで調整し、水路下流部に設置された全幅刃形せき（JIS 規格）を用いて測定した。流況の記録のためにデジタルカメラを用いた。流速測定はケネック社製のポータブルプロペラ流速計（内径 30mm）を用いた（時間平均 10sec）。

実験では、豊水時の中間の流況、中小洪水時の流況、および想定洪水時の流況（実際は堰がほぼ水没する流況）を対象に検討を行った。頭首工直上流の水深（堰天端から水面までの水深）H が模型規模で、それぞれ 1.63 cm、3.2 cm、4.39 cm、4.97 cm、5.95 cm（原型規模では、約 16.3 cm、約 32 cm、約 44 cm、約 50 cm、約 60 cm）を想定した実験を行った。

越流水深が原型換算で 40 cm を越えるようになると、石組みの設置箇所においても流れの主な方向は流下方向となる。また、礫の凹凸の影響を受けて、落差部を越える流れが減勢されやすくなっている。石組みの設置形状から、石組み区間を越える区間が短

いことから右岸側の落差部からの流速が他の石組み直下流の場所に比べて速くなっている。越流水深が 50 cm 程度になっても、越流水深が 40 cm 程度の場合と差異はなく、洪水時の流れの減勢機能としても石組みの設置の影響は大きい。

越流水深が原型換算で 60 cm 近い場合においても安定した状態が形成されている。

越流水深が 5.95 cm（原型換算：約 60 cm）の場合、石組み直下流部では、右岸側近くを除いて流速が 55.1～87.7 cm/s であった。原型に換算すると、174～277 cm/s の値となる。また、右岸側（ここでは水路壁近く）では 82.5 cm/s、右岸側の水路壁より 10 cm 離れた箇所では 139 cm/s となる。原型に換算すると、水路側壁近くでは 261 cm/s となり、石組みによる礫の形状抵抗の影響を受けて流速が減勢される結果となる。

石組みと堰との境界の上流部では、堰から越流した流速が 74 cm/s となり、原型換算すると 234 cm/s となる。石組みと堰との境界の中間部では、流速が 114.8 cm/s となり、原型換算すると 363 cm/s となる。石組みと堰との境界の下流部では、流速が 134.9 cm/s となり、原型換算すると 441 cm/s となる。これは石組みに接近する流速が 4 m/s 以上でも礫が安定することを示す。なお、石組み左岸側の中間部では 101 cm/s となり、下流部では 88 cm/s となった。原型換算すると、中間部では 320 cm/s であり、下流部では 278 cm/s となり、礫の凹凸形状の影響で減勢されている。すなわち、石組み魚道の設置によって、落差部下流側での減勢効果が期待できる。



写真 8 越流水深が 44cm（原型）となる流況



写真 7 石組みの模型実験の設定状態



写真 9 越流水深が約 60 cm（原型）となる流況

4. 現地に施工した石組み魚道の状態

2017年10月15日に施工が完了した状態を写真11に示す。石組みは9月26, 27日に行い、一部を残して10月15日に再開し、施工が完了した。施工途中10月2日に中規模の洪水が発生した(写真12)。途中段階であるにも関わらず魚道本体の崩壊は認められなかった。また、出水後に確認したところ、越流面と石組みの境界面の礫が一部流出した。これは石組みの途中段階であったため、安定性に欠けたものと考えられる。施工完了後、豊水規模渇水規模の流況を確認することができた。また、渇水時から豊水規模にかけて遡上経路となり得る流れを確認することができた。今後、2018年に遡上調査および出水時の安定性について検討する。

5. まとめ

福岡県北九州市内を流れる紫川の桜橋近くにある頭首工に石組みを空積みで施工するための検討事項

を以下に要約してまとめる。

- ・落差部に石組み魚道を設置する場合、洪水時の越流した流れに礫が抵抗できるように巨礫を組む重要性を実験および実規模の洪水で確認した。
- ・豊水規模から渇水規模の流況を確認し、渇水時から豊水規模にかけて遡上経路となり得る流れを確認することができた。

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, 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23巻, pp.639-644, 2017.



写真10 流速測定箇所



写真13 越流水深が10cm程度の流況



写真11 石組み施工完了時の状況



写真14 越流水深が5cm程度の流況



写真12 中規模の出水の状態(越流水深40-50cm)



写真15 越流水深5cm程度の越流面境界近くの流れ