

粗礫斜路設置による洪水流の制御に関する実験的検討

Experimental Investigation on flood control due to installation of consecutive assembled boulders

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○ 瀧野 希

1. はじめに

河川には、洪水調整や安定した水利用、河床勾配の安定化を目的として、利水堰や床固工などの低落差構造物が設置されている。このような河川横断構造物では、対象とする河川に生息している水生生物の移動環境を確保することを目的として魚道が設置される。魚道では、平水時における水生生物の移動環境が確保されることだけでなく、洪水時における構造物の安定性が確保されることが重要である。本研究室では、近年、落差部から越流した流れが射流から常流へ遷移する区間で、礫の凹凸形状を利用した石組み粗礫斜路を落差部下流側に設置する方法を提案している¹⁾²⁾。本研究では、低落差構造物を対象として、平水時には水生生物の移動が可能な石組み粗礫斜路を設置したことによる洪水時の河床および側岸に与える影響について、縦断方向に1/12.5勾配、1/8.5勾配とした斜路を対象に実験的検討を行った。さらに、既存の流水抵抗の分析結果に基づいて、粗礫斜路での相当粗度高さについて考察した。

2. 実験方法

実験は2つの矩形断面水平水路（幅 $B=0.8\text{m}$ 、高さ 0.6m 、長さ 15m ）（幅 $B=0.4\text{m}$ 、高さ 0.6m 、長さ 16m ）を使用し、粗礫斜路の縦断勾配が12.5分の1（左右対称の斜路）、8.5分の1（片側斜路）の2ケースについて10分の1縮尺のフルードの相似則に基づき、表1に示す実験条件のもとで行った。ここで、各記号の右下の添え字 p は原型（proto type）規模を示す。縦横断方向に段差を有した模型を設置し、各ブロック下流端にはL型アングルの金具を設置した（写真1）。縦横断方向に段差を有した模型を設置することによって、粗礫斜路に勾配を設けることが容易になる。また、ブロックごとに石を組むことが可能となるため、粗礫斜路全体の礫の安定性を確保することが容易な構造となる。石組みで使用した礫は、模型規模で長辺 0.06m 前後、短辺 0.05m 前後、高さ 0.03m 前後であ

表1 実験条件

斜路勾配	B, h_d (m)	原型換算流量(想定幅 $B_p=4\text{m})Q_p(\text{m}^3/\text{s})$	限界水深 h_{c_p}	限界流速 V_{c_p}
1/12.5	0.80, 0.230	19.1	1.33	3.61
1/8.5	0.40, 0.201	14.4	1.10	3.28

h_d ：斜路からの流れが沿うための斜路下流側の最小下流水深（粗礫斜路下流端の基盤を基準とする）



写真1 粗礫斜路の実験模型



写真2 粗礫斜路周辺の洪水流の流況

り、石組みは空積み状態で実験を行った。水面形および河床の凹凸形状の測定には、ポイントゲージを使用し、流速場を把握するために、各測定断面の流下方向の流速 u を KENEK 社製のプロペラ式流速計（測定時間 20s ）を使用して測定した。 X は斜路下流端を起点とした水平方向の距離を示し、 y は右側壁に原点をとり、左岸側を正とした横断方向の座標、 z は模型を水路内に設置するために水路と一体化させた耐水性合板上面を基準とした鉛直方向の座標である。

3. 最大流速および底面付近の流速の減衰状況

洪水時を想定した流量規模の場合、斜路下流側で

キーワード 粗礫斜路, 洪水時, 河床洗堀, 側岸浸食, 安定性, 相当粗度高さ

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL.03-3529-0409 E-mail: yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

は、石組みによる形状抵抗の影響により主流が水面に沿った流れが形成されている（写真2）。図1に斜路下流側の最大流速（水表面付近）と底面付近の流速の減衰状況を示す。図1に示されるように、水表面付近の最大流速は、斜路下流側を流下するにつれて減衰し、 $X_p/hc_p=20$ までに変化が小さくなり、断面平均流速程度に近づく。また、底面付近の流速は水表面付近の流速と比較して小さく、 $X_p/hc_p=15$ より下流側では断面平均流速程度に近づく。なお、1/12.5 勾配の $X_p/hc_p=2$ 付近では、流況の観察から逆流が形成されていることが確認されたが、ここで用いたプロペラ式流速計では反映されていない。

粗礫斜路を適用し、粗礫の形状抵抗によって主流を水面付近に上昇させることが可能となり、粗礫斜路下流側の河床低下対策に有効であるものと推論される。

4. 右岸側壁付近における最大流速の減衰状況

図2に斜路下流側の $y_p/B_p=1.0$ 付近と 0.2 付近における最大流速の減衰状況の比較を示す。粗礫斜路に横断方向の勾配を設けたことによって、斜路上の石組みの低い位置に主流が形成されるが、側岸付近の流速は主流の流速との違いは小さい。斜路下流側では、射流から常流へ遷移するため、図に示されるように、主流が $y_p/B_p=1.0$ 付近に位置し、 $y_p/B_p=0.2$ 付近の流速は主流に比べて小さくなる。特に、 $0 < X_p/hc_p < 10$ の範囲で側壁近くの流速は大きく減衰し、 $X_p/hc_p=10$ より下流側では断面平均流速程度に近づく。このことから、粗礫斜路に横断勾配を設けることは、側岸浸食対策として有効であると推論される。

5. 粗礫斜路上の相当粗度高さの試算

様々な礫床河川の流水抵抗について、Rickenmann および Recking によって³⁾、従来の検討結果を踏まえて総合的に分析が行われている。その分析結果に基づき、摩擦抵抗係数 f と相対粗度高さ d/D_{84} (d は粗礫斜路下流部の水位と石組み斜路の地盤高の差から評価した水深、 D_{84} は相当粗度高さ) との関係式を導出し、石組み粗礫斜路の D_{84} を試算した。その結果、1/12.5 勾配における相当粗度高さは $D_{84}=0.338$ m、1/8.5 勾配における相当粗度高さは $D_{84}=0.225$ m となった。すなわち、勾配によって形状抵抗に寄与する相当粗度高さが異なるものと考えられる。

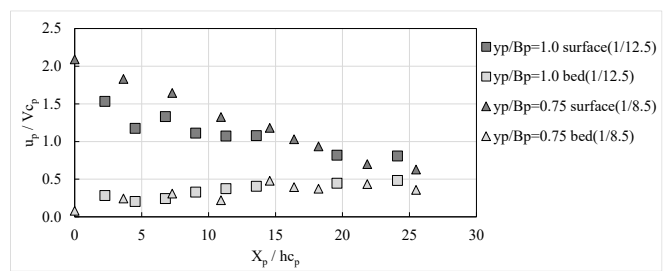


図1 斜路下流側の $y_p/B_p=1.0$ 付近の最大流速と底面付近の流速の減衰状況

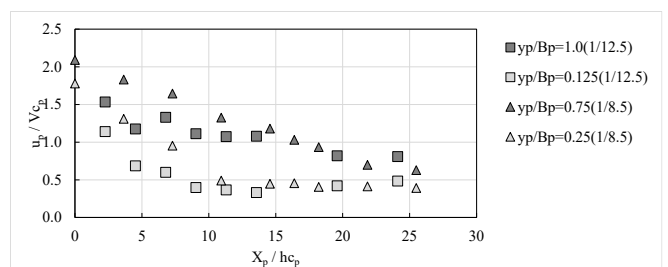


図2 斜路下流側の $y_p/B_p=1.0$ 付近と 0.2 付近における最大流速の減衰状況の比較

6. まとめ

低落差構造物を対象に、平水時には水生生物の移動が可能な石組み粗礫斜路を落差部に設置したことによる洪水時の影響について、縦断方向に 1/12.5 勾配、1/8.5 勾配とした斜路を対象に実験的検討を行った。その結果、粗礫斜路の形状抵抗を受けて、主流を水面付近に上昇させ、粗礫斜路下流側の河床への負荷を軽減することができることが示された。また、粗礫斜路に横断方向の勾配を設けることによって側岸近くの流速を制御することが可能となり、側岸浸食対策として有効であることが示された。さらに、既存の流水抵抗の分析結果から、斜路勾配によって形状抵抗に寄与する相当粗度高さが異なる可能性があることを示した。

参考文献

- 1) 安田陽一, 増井啓登: 低落差部に設置する大粗度斜路式減勢工の提案, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 75, No. 2, pp. 559 – 564, 2019.
- 2) 安田陽一, 増井啓登: 低段落差部における石組み粗礫斜路と鉛直段落の減勢工との比較, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.76, No.2, I_955-I_960, 2020.
- 3) Rickenmann, D., Recking, A., “Evaluation of flow resistance in gravel-bed rivers through a large field data set”, Water Resources Research, Vol. 47, 2011.