

Step-Pool 形成における川幅と河岸粗度の効果

岐阜大学 学生会員 ○塩澤 翔平
岐阜大学 正会員 原田 守啓

1. はじめに

Step-Pool は、山地河道が本来有する河道安定機構であり、一般に河川断面方向に巨礫や巨石が集積して形成される Step と、その下流河床が洗堀された Pool が交互に連続して出現する形態をしている。Step-Pool 構造の機能として、Step の強固な構造により河床を安定させる役割を持っていることが知られている¹⁾。その一方で、河川改修により Step-Pool が流出し、急激な河床低下が生じた事例も散見される。また、Step-Pool の形成機構を説明する仮説として、反砂堆理論と Keystone 理論が知られている²⁾。反砂堆理論は、その名の通り反砂堆の形成によって Step-Pool の形成を説明しようとする理論であり、Keystone 理論は、河道に存置された最大径クラスの石礫に流下する石礫が補足され step が形成されようとする理論であるが、これらの2つの理論がどのように作用しているかについては十分明らかにされていない。そこで本研究は、河川改修による断面形の変更や河岸粗度の変化が Step-Pool の形成・維持に与える影響や、一度流失した Step-Pool を何らかの工法によって復元する方法についての基礎的な知見を得ることを目的とし、川幅（水路幅）と河岸の粗度が Step-Pool の形成・維持に及ぼす影響を検討することを目的とした水理実験を行った。

2. 研究手法

(1) 実験水路と河床材料

実験水路は、水路長 4m、水路幅 30cm の長方形断面水路であり、側壁は透明アクリル板、底面はアルミ製で、底面には粗度板として人工芝を敷き詰めている。水路勾配は典型的な山地河道を意図して、 $S=1/10$ とした。実験に用いる土砂は、竜澤ら³⁾が Step-Pool の形成領域を検討した実験結果と現地調査結果にならない、Talbot 型粒度分布を採用し、Talbot 指数 $n=1/2$ の分布に近似した粒度分布が得られるように、平均粒径が異なる 6 種類の土砂（平均粒径 $d_{m1}=2.7\text{mm}\sim 32.0\text{mm}$ ）をブレンドした。流量の調整は、2 台のサンドポンプの On-Off により 2 段階（ $Q_1=3.4\text{l/s}$, $Q_2=6.4\text{l/s}$ ）とした。これらの実験条件は、竜澤らの実験³⁾に近いものとなっている。水路幅は、側壁が滑面のケースが 3 段階（30cm, 25cm, 20cm）、側壁に粗度をもたせたケースが 2 段階（25cm, 20cm）の計 5 ケース（ケース 1～5）とし、水路幅の効果と河岸粗度の効果を検討すること可能な実験デザインとした。

(2) 実験手順と計測項目

実験手順は、以下に示すとおりである。まず、[1]かき混ぜた土砂を水路床に約 10cm の厚みで平坦に敷き詰める。[2]流量 Q_1 にて 2 分間の通水を 3 セット行う。続いて、[3]流量 Q_2 にて 2 分間の通水を 3 セット行う。これらの手順を水路幅と河岸の条件が異なる 5 ケースについて、それぞれ行う。

実験開始から終了までの間、水路の下流側と水路中央部側面の 2 箇所において、ビデオ撮影を行う。また、通水前、各セット間に通水を停止した状態、通水後に以下の計測を行う。

- ① 水路上面からの写真撮影：各通水の前後における水路表層の状態を記録する。撮影された写真を基に SfM ソフトウェア（Agisoft 社製 Photoscan）を用いて水路表層の三次元形状とオルソ画像を生成する。
- ② 河床縦断形：ポイントゲージを用いて、水路中心線に沿った河床縦断形状を記録する。
- ③ 流出土砂量：各セットにおいて下流端から流出した土砂の湿潤重量を計測する。
- ④ 流出土砂の粒度分布：各セットにおける流出土砂の粒度分布をふるい分け試験により求める。
- ⑤ 表層の粒度分布：全セットが終了時の水路の表層粒度分布をふるい分け試験により求める。

3. 結果と考察

以下の結果は、実験が途中段階のものであり、代表的な結果のみを示す。

(1) 水面形と河床縦断形

ケース 3 (側壁滑面, 幅 20cm) における河床変動量を図-1 に示す。流量 Q1 での通水 1~3 では、初期河床から多少の土砂の流出がみられたものの、河床形状に大きな変化は見られなかった。流量 Q2 の通水 4~5 では土砂が多く流出し、河床低下に伴って反砂堆が発生し、河床凸部に Step の形成を確認した。

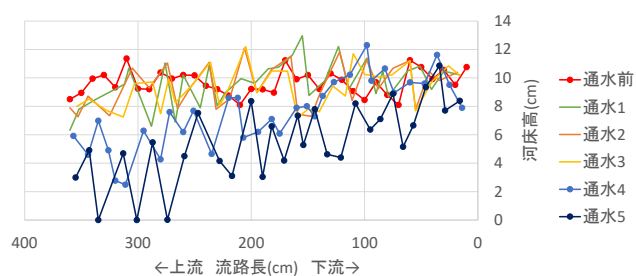


図-1 河床変動量(ケース 3)



図-2 水面形 (ケース 3 通水 5)

(2) 流出土砂量の変動

ケース 1~3 において、流量 Q1 では土砂の移動があまり確認できず、土砂の流出は少なかった。通水 1 回目及び流量を増やした通水 4 回目に多くの土砂が流出し、通水毎に流出量は減少していくことが確認した。また、流出した土砂の内訳をみると、10mm 前後の粒径の小さい土砂が多く流出していることが確認でき、水路全体の画像からも、河床の粗粒化が進行していることが確認できた。

(3) Step の形成と破壊プロセスの観察結果

ケース 1~3 において流量 Q2 を流した際、Step の形成を確認したものの、最後まで Step が維持されたものはみられなかった。Step が破壊される際には、Step 構成礫の下流側の支えとなっている小径礫が外れると同時に滑動し、その後勢いよく転動しながら流失した。下流側の Step が破壊されるとその上流側の Step も連鎖的に破壊される状況が確認された。また、川幅により Step が維持される時間が異なり、幅が広いほど破壊されやすく、 W/D_{84} が 6 以上の際に Step が破壊されやすいという従来の知見⁴⁾に沿う結果となった。

4. まとめ

ケース 1~3 までを実施した途中段階ではあるが、現時点における結果をまとめると以下のようなものである。

- ・ケース 1~3(側壁滑面, 幅 30cm/25cm/20cm)において、流量 Q1 では土砂の移動があまり見られず、部分的に反砂堆状の河床形状と流れがみられたものの、明瞭な Step は形成されなかった。
- ・ケース 1~3 の流量 Q2 では、川幅を段階的にせばめることにより、明瞭な Step が形成されるようになった。とくにケース 3 では、波長・波高ともに自然河川にみられる Step-Pool に近いものが形成された。しかしながら、通水を繰り返す過程で Step は流出し、維持されなかった。

Step が形成・維持され続ければ、河床縦断形は安定し、土砂流出量も低下することが予想されるが、現時点の実験結果(側壁が滑面のケース)では、Step が反砂堆状の河床形状となって形成されるものの、次第に流失する。今後、側壁に粗度を付加した実験ケースを追加し、河岸の粗度の効果についても検討していく。

【参考文献】

- 1) Abrahams A.D., Li G. & Atkinson J.F.: Step-pool streams adjustment to maximum flow resistance. *Water Resources, Research*, 31, pp.2593-2602, 1995
- 2) 巖島, 佐藤, 西田, 真砂, 坂田, 島谷: 山地河川における step-pool 構造に関する既往の知見と河川技術への応用, *応用生態工学*, 19(2), pp.165-180, 2016.
- 3) 竜澤, 林, 長谷川: 溪流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性, *水工学論文集*, 42, pp.1075-1080, 1998.2
- 4) Zimmermann, A., M. Church, and M. A. Hassan: Step-pool stability: Testing the jammed state hypothesis, *J. Geophys. Res.*, 115, 2010. (F02008, doi:10.1029/2009JF001365.)