

## 改修済み山地河道における Step-Pool 地形の復元のための移動床水理実験

岐阜大学 学生会員 ○國島 佑紀  
 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石や巨礫が集積して形成される Step と、その下流側の河床が洗堀された 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 の強固な構造が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<sup>1)</sup>。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。川幅と Step の形成・維持の関係性として、Zimmermann ら(2008)が行った実験結果によると水路幅と最大クラスの石礫径の比  $W/D_{84}$  が 6 以下であれば、Step が比較的安定的に維持されるとの報告がある<sup>2)</sup>。

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、山地河道を模した移動床水理実験を行った。

### 2. 研究手法

#### (1) 実験概要

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。この実験水路を用いて、水路幅及び河岸条件を変化させ、Step-Pool が形成・維持される条件を検討するための移動床水理実験を行う。実験に用いる土砂は、竜澤ら<sup>3)</sup>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倣い、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  $d_{m1}=2.7\text{mm}\sim 32.0\text{mm}$ ) をブレンドしたものを使用した。流量の調整は、2 台のサンドポンプにより 2 段階 ( $Q1=3.4\text{l/s}$ ,  $Q2=6.4\text{l/s}$ ) とし、各 3 回ずつ通水を行った。これらの実験条件は、竜澤らの実験<sup>3)</sup>に近いものとなっている。水路幅は、長方形断面においては側壁が滑面のケースが 3 段階(25cm, 20cm, 15cm)、側壁に粗度をもたせたケースが 3 段階(25cm, 20cm, 15cm) の計 6 ケース (ケース 1~6)、護岸整備済み河道を模した台形断面においては側壁が滑面のケースが 2 段階(25cm, 20cm)、側壁に粗度をもたせたケースが 2 段階(25cm, 20cm) の計 4 ケース (ケース 7~10) とする。また、Step-Pool を何らかの工法によって復元する方法を追加した実験を行う。

#### (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。[1]かき混ぜた土砂を水路床に平坦に敷き詰める。[2]流量  $Q1$  にて 2 分間の通水を 3 セット行う。[3]流量  $Q2$  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条件が異なる各ケースにおいてそれぞれ行う。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. 実験結果と考察

(1) 川幅が河床に及ぼす影響

水路幅を狭めることにより、単位幅流量の増加に伴い掃流力が増加して流出土砂量も増加（河床低下）する効果と、石礫径に対する水路幅が相対的に狭まることによって Step が維持（河床が安定）されやすくなる効果の両方が予想されたが、本実験では主に水路幅の減少に伴って流出土砂量が増加する傾向が顕著であったが、流量  $Q_I$  では  $W/D_{84}$  が 6 以下となる水路幅 15cm において土砂流出量が減少することを確認できた。

表-1 各ケース・通水の Step 形成・維持

		通水 1	通水 2	通水 3	通水 4	通水 5	通水 6
粗 度 無	ケース 1(25cm)	×	×	×	△	△	△
	ケース 2(20cm)	○	○	○	△	△	△
	ケース 3(15cm)	×	×	×	△	×	—
粗 度 有	ケース 4(25cm)	×	×	×	○	○	○
	ケース 5(20cm)	△	×	×	△	◎	◎
	ケース 6(15cm)	×	×	△	△	×	—

凡例

◎: Step が形成され、ある程度維持 ○: 部分的に Step が形成、ある程度維持  
 △: Step は形成されたがすぐに破壊 ×: Step は形成されなかった

(2) 河岸粗度が河床に及ぼす影響

河岸粗度無しのケース 1, 2 と河岸粗度有りのケース 4, 5 を比較すると、どちらも側面に粗度を付加したケースでは、側面が平滑のケースに比べ、流出量が減少しただけではなく、大粒径クラスの土砂が安定したことで、より小さい粒径の土砂の流出が抑えられている。一方で、河岸粗度無しのケース 3 と河岸粗度有りのケース 6 では、河岸粗度の有無による流出量に差はあまり見られない。このことから、水路幅を縮小することによる掃流力の増加に対して河岸粗度による効果には限界があると考えられる。

粗度なし

粗度あり

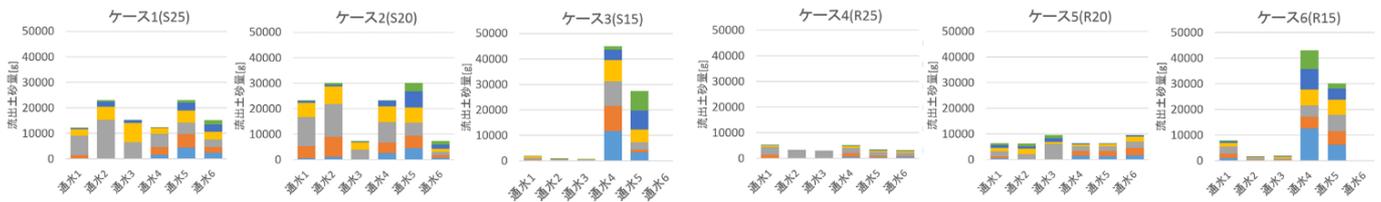


図-1 通水毎の粒度別流出土砂量

4. まとめ

ケース 1~6 までを実施した現時点における結果をまとめると以下のようである。

- 水路幅を狭めることは、単位幅流量の増加に伴い掃流力が増加して流出土砂量も増加（河床低下）する効果と、石礫径に対する水路幅が相対的に狭まることによって Step が維持（河床が安定）されやすくなる効果の両方が予想されたが、本実験では、水路幅の減少に伴って流出土砂量が増加する傾向が顕著であり、水路幅の縮小によって Step が維持されやすくなる効果はほとんど確認されなかった。
- 河岸粗度の有無による影響は、河岸粗度を付加した条件下では、Step が維持される割合が高くなり、流出土砂量が減少した。これは、河岸近傍の流速の低下により、河岸近傍の石礫に作用する流体力が減少して、河岸近傍の礫が Keystone としての機能を持つことで Step が維持されやすくなり、結果として流出土砂量が減少したと考えられる。また、水路幅を縮小することによる掃流力の増加に対して河岸粗度による効果には限界があると考えられる。

今後、台形断面における実験(ケース 7~10)、復元工法を追加した実験を行い、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) 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  
 3) 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.)