土石流発生後の Step-Pool の動態観測と SfM 写真測量の活用

新潟大学大学院自然科学研究科　○北條杏梨
新潟大学農学部　権田豊
京都大学防災研究所　宮田秀介

1. はじめに

河川・砂防事業では山地から海岸までの様々な領域で発生している土砂移動に関する問題に対して，個別の対策に留まらず，流砂系を一貫して管理する「総合的な土砂管理」が推進されている。特に山地流域は，流砂系の土砂の供給量とタイミングを支配するため，流砂系の土砂管理の上で最も重要な領域であるとされている（藤田ら，2003)。山地河川に見られる Step-Pool は，Pool 部における土砂貯留や Step 部の変形・破壊・形成のプロセスを通して山地河川の土砂移動現象を複雑化していると考えられており，その動態を明らかにすることは流砂系における諸問題を解決するために不可欠である（芦田ら，1984)。しかし，Step-Pool の動態観測を現地で観測した事例は少なく，特に時間的な変化が大きいと考えられる，土石流発生後の Step-Pool の動態を観測した事例はほとんどない。そこで，本研究では土石流発生後の Step-Pool の動態を明らかにすることを目的に，2020 年 7 月に大規模な土石流が発生した山地河川を対象に継続的に調査を行った。本稿では調査結果の内，Step-Pool の形状変化の結果について述べる。また，詳細な動態観測と Step-Pool の観測の効率化を目的に SfM 写真測量を併せて実施した。本稿では写真測量の精度検証を行った結果について述べる。

2. 調査地・調査方法

本研究の調査対象地は神通川水系蒲田川足洗谷支川のヒル谷流域（岐阜県高山市）である（図 1)。本流域では，源頭部の崩壊地において凍結・融解作用による定常的な土砂生産が行われており，長年にわたり流砂観測が行われてきた。また，左岸側斜面が火砕流堆積物で構成されているため，渓岸崩壊等による河道への土砂供給が生じやすい特徴を持つ。2020 年 7 月 8 日に上流域で観測史上初の大規模な土石流が発生し，下流の流砂観測施設が被災した。本研究では，流域の下流部 215m を調査区間に設定し，2020 年 8 月から約 2 年にわたり，計 6 回 Step-Pool 形状や河道条件（河床勾配，流路幅）を計測した。また，2021 年 11 月から計 3 回，ポールカメラを用いた SfM 写真測量を併せて実施した。デジタルカメラのインターバル撮影機能を使用し，撮影者が下流から上流に移動することで撮影を行った。

3. 結果と考察

3.1 Step-Pool の 2 年間の変化

Step 部の破壊や変形といった変化はほとんど見られなかった。Step 部を構成する礫のうち，最大級の礫 3 つの粒径平均は，0.3～0.5 m の比較的大きい礫であった。また，同程度の粒径で構成されており，構成粒径が幅広い場合に比べて Step 部が破壊されにくかったと推測する。このことに比べて，この 2 年間 Step を多数破壊するほどの大きな出水がなかったことも破壊，変形が少なかった原因と推測される。

Pool の形状は，2 年間で顕著に変化していた。Pool 幅は縮小傾向にあり，Pool 深と Pool 長は互いに相反する増減を繰り返していた。2 年間で Pool 部は埋没と洗堀を周期的に繰り返しており，Pool 部が埋没した場合には，浅くて長い Pool 形状になり，洗堀された場合には深くて短い Pool 形状になっていることがわかった。Pool 部は，今後の土砂供給や出水の状況により洗堀と埋没を繰りかえしていくと予想される。

本流域では，Pool 部の埋没に伴い，Step-Pool から Cascade へ構造が変化する事例が多く見られた。この変化は調査区間の上流から下流まで見られ，調査を追うごとに増加傾向が見られた。

3.2 SfM 写真測量の活用

得られたオルソ画像の解像度は 0.7 mm/pixel であり，直径 2 cm 程度の礫まで判別可能であった。また，SfM 写真測量を用いることで，流路変動を視覚的に把握することができ，Step-Pool の形成や破壊に伴う

礫の移動を把握でできることがわかった。しかし，画像内の一部には影や光の影響を受けている箇所や画像が不鮮明になる箇所も見られたため，撮影の時間や不鮮明箇所の抑制方法について今後検討を行っていく必要がある。

現地で実測したデータと SfM により作成した地形モデルにおいて計測したデータを比較することで，SfM 写真測量の精度検証を行った。水平方向の計測は，計測した 3 時期において，現地実測データとの相関係数が 0.9 以上となり，現地実測とほぼ同精度で計測できることがわかった。しかし，鉛直方向の計測は，相関係数が 0.7～0.9 となり，水平方向の計測精度に比べてやや精度が劣る結果となった。また，局所的に実測値と比べて 1 m 以上異なる値やマイナスの値も見られたため，鉛直方向の計測精度の向上に向けて更なる検討を行う必要がある。

4. おわりに

本研究では，土石流発生直後から継続的に調査を行った。その結果，当初予想された Step 部の破壊や変形の変化はほとんど見られなかった。一方で，土砂供給による Pool 部の埋没による Cascade 構造への変化や Pool 部の変化の特徴が明らかになった。今後は，Step-Pool や Cascade 構造の変化と流砂量・出水量との関係について明らかにしていきたい。また，本研究室が新潟県佐渡市を対象に行った Step-Pool の調査結果（Seki *et al.*，2014）と比較を行い，ヒル谷における Step-Pool の特徴について考察する。さらに，SfM 写真測量の計測精度向上に向けた検討や多時期画像の比較を行うことで活用の幅を広げ，Step-Pool の動態観測に役立てていきたい。

引用文献

芦田ら（1984）: 階段状河床形の発生機構と形状特性，京都大学防災研究所年報，第 27 号，B-2，p.341-353

藤田ら（2003）: 山地小流域における土砂動態のモニタリング手法, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B ，p.213-223

Seki, T., Gonda, Y., Kawabe, H.（2014）: Temporal change of step step-pool morphology in a mountain stream after a debris flow event， Proceedings of INTERPRAEVENT 2014, p.512-521

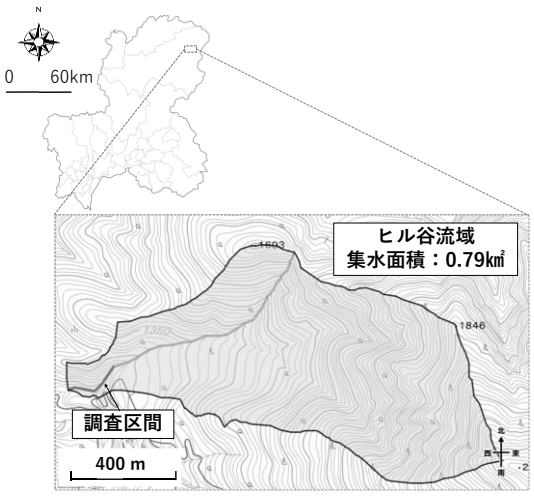

図 1　調査地（地理院地図に加筆）

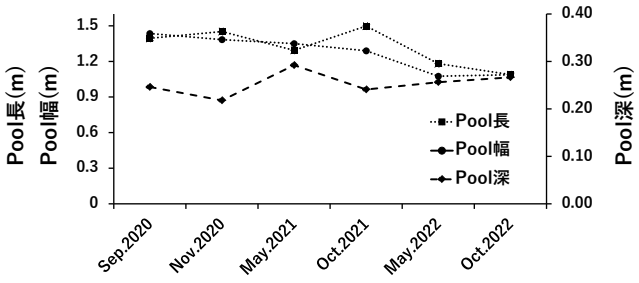

図 2　Pool 形状の変化

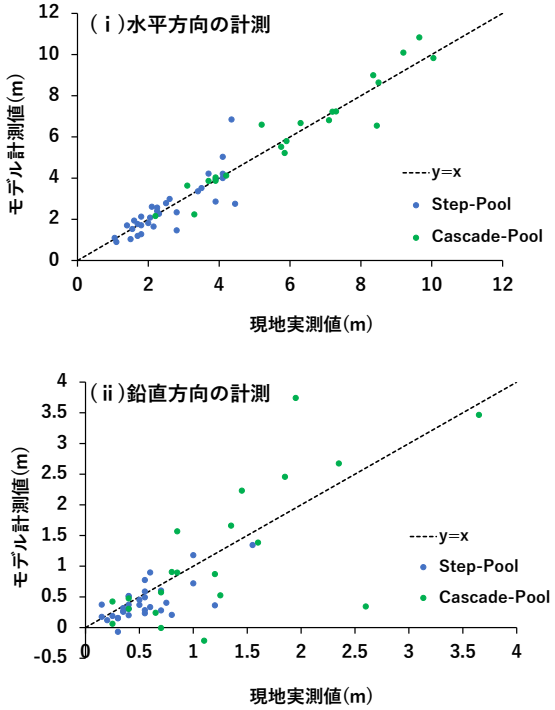

図 3　SfM 写真測量の精度検証結果