

ヒル谷試験堰堤からの排砂に伴う小規模河床変動把握に向けた UAV-SfM の現地実験

日本工営(株) ○高木 優, 倉上 健, 橋本憲二, 古木宏和, 木佐洋志, 保谷智之, 渡部春樹, 長山孝彦, 伊藤隆郭
(一財) 砂防・地すべり技術センター 池田暁彦, 京都大学防災研究所 高山翔揮
京都大学 宮田秀介, 京都大学名誉教授 藤田正治

1. はじめに

ヒル谷試験堰堤では、沈砂池の容量確保のため、不定期で人為的排砂が行われている。排砂に伴う河床変動プロセスを理解することは、河川の水環境や生態環境への影響を抑えた人為的排砂を行うために重要である。木佐ほか(2025)¹⁾は、本地点における排砂に伴う河床変動は数センチメートル規模であると報告している。このことから、排砂に伴う河床変動プロセスの把握には、センチメートル精度の測量が必要になる。

近年、UAV-SfM (Unmanned Aerial Vehicle-Structure from Motion)と RTK (Real Time Kinematic)を組み合わせることで、高精度な位置情報を有する高解像度 DEM (Digital Elevation Model)を低コストで取得する手法が普及しつつある。一方で、山地溪流では通信環境や地形的な制約から、ネットワーク型 RTK や現地に RTK 基準局を設置する手法の適用が困難な場合が少なくない。

そこで本研究では、ヒル谷の河床変動を把握するために、人為的排砂に合わせて UAV フライトを実施した。さらに、取得した写真データに対して基準局 GNSS 観測データを用いた後処理解析 (PPK: Post Process Kinematic)を適用した。通信・地形条件の厳しい山地溪流において、PPK 処理を用いた UAV-SfM が、数センチメートル規模の河床変動調査に適用可能であるかを検証する。

2. 研究対象地と手法

1) 研究対象地

研究対象地は、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。本流域には、京都大学防災研究所穂高砂防観測所が管理するヒル谷試験堰堤が設置されており、本研究における現地実験は、当該堰堤の下流河道(以下、河道)で行った。堰堤上流側には沈砂池(図1)が存在する。また、試験堰堤の下流は、2020年7月の土石流で旧河道に多量の土砂が平均河床勾配 6~7°程度で堆積している²⁾。

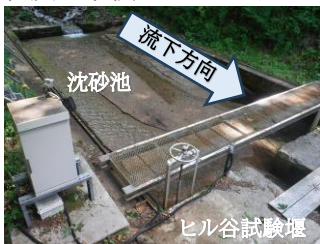


図1 沈砂池の様子



図2 排砂作業の様子

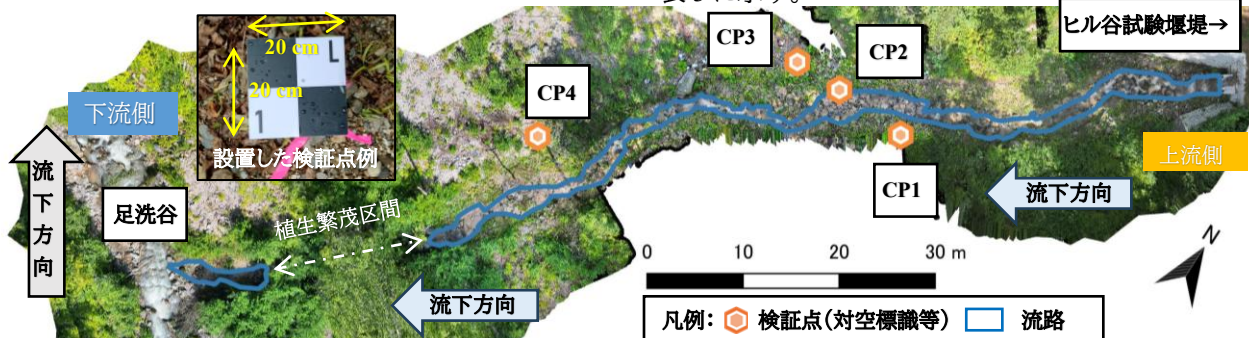


図3 ヒル谷試験堰堤下流河道のオルソ画像と検証点設置位置

2) 人為的排砂の概要

排砂開始時刻は2025年8月26日10:00で、排砂終了時刻は同日15:00である。排砂開始から終了までに計6回のゲート開閉及び人力での排砂作業が行われた(図2)。排砂前後に、基準高から標尺を用いた直接計測が行われ、排砂量は53.9m³だった。

3) UAV-SfMによる地形データ取得

DJI社製UAV「Matrice 4TD」を用いて、排砂前後に河道のUAV写真撮影を実施した。本フライトでは、機体RTKを有効化して撮影を行ったが、山地溪流における通信条件による測位不安定性を補うため、取得した機体のGNSS観測データに対してPPK処理を実施した。撮影条件を表1に示す。

表1 UAV 写真撮影条件

撮影対象		撮影日時	撮影枚数
河道	排砂前	2025/8/26 9:37~9:53(16分間)	542枚
	排砂後	2025/8/27 10:16~10:32(16分間)	853枚

また、図3に示すように河道内に対空標識を設置し、位置座標が既知の測量鉾を基準としてトータルステーション測量(以下、TS測量)を実施し、検証点とした。

UAVに搭載されたGNSS受信機により取得したGNSS観測データと、ALESが提供するSoftbank社の独自基準点の観測データに基づく補正情報(基線長約3km)を用いて、DJI社製解析ソフトウェア「DJI Terra」によりPPK処理を行った。PPK処理によりExif情報を補正した写真を用いてSfMを実施し、オルソ画像及びDEMデータを作成した。作成した地形モデルについて、検証点におけるTS測量との座標差及び排砂前後の地形モデル間のずれを算出した。さらに、DEMデータから、排砂前後の標高差分を算出し、排砂に伴う河床変動を面的に評価した。

3. 実験結果

写真を撮影した水平位置、鉛直位置を図4、図5に示す。なお、鉛直位置は上流から下流に向けて片道で取得された写真番号42から312までの計270枚を抜粋した。また、「DJI Terra」により算出されたGNSS測位がFix(固定)解として得られた画像の割合は、PPK処理を行うことで改善(排砂前:0%→99.8%, 排砂後:59%→100%)した。

河道内に設置した検証点での、TS測量を基準とした座標のずれを表2に、排砂前後のモデル間の座標のずれを表3に示す。

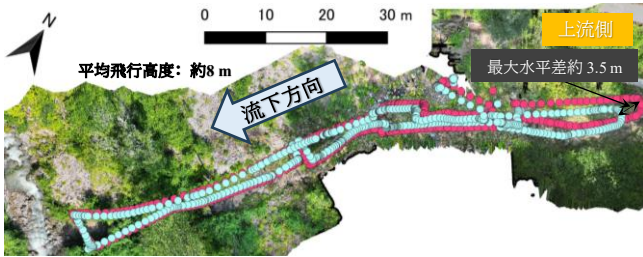


図 4 排砂前フライトの使用写真の水平位置

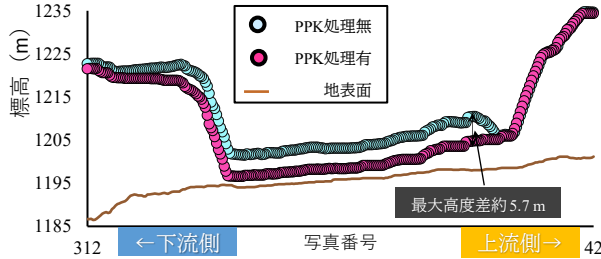


図 5 排砂前フライトの使用写真の鉛直位置

表 2 TS 測量を基準とした検証点のずれ

	排砂前(m)			排砂後(m)		
	水平	鉛直	直線距離	水平	鉛直	直線距離
CP1	0.27	-0.08	0.28	0.29	-0.05	0.29
CP2	0.28	-0.06	0.28	0.29	-0.05	0.29
CP3	0.27	0.06	0.28	0.30	0.02	0.30
CP4	0.27	-0.04	0.27	0.29	-0.06	0.30
平均	0.27	-0.03	0.28	0.29	-0.03	0.29

表 3 排砂前後の地形モデル間の検証点のずれ

	水平(m)	鉛直(m)	直線距離(m)
CP1	0.07	0.03	0.07
CP2	0.02	0.01	0.03
CP3	0.02	-0.04	0.04
CP4	0.02	-0.02	0.03
平均	0.03	0.00	0.04

河道における排砂前後の標高差分を図 6 に示す。標高差分の結果から、土砂量を評価したところ、河道は、侵食量-14.3m³、堆積量 11.0m³、変化量-3.3m³で侵食が卓越していた。なお、算出した土砂量は、空隙が含まれた見かけ量である。

4. 考察

(1) UAV-SfM の精度検証

PPK 処理を適用した場合、GCP (Ground Control Point) を使用しなくても地形モデル間のずれは数 cm 以内に収まり、高い相対精度が確認された。河床変動量を把握する目的での差分の妥当性が担保されている。一方、TS 測量との比較では約 30 cm の差が認められた。しかし、すべて

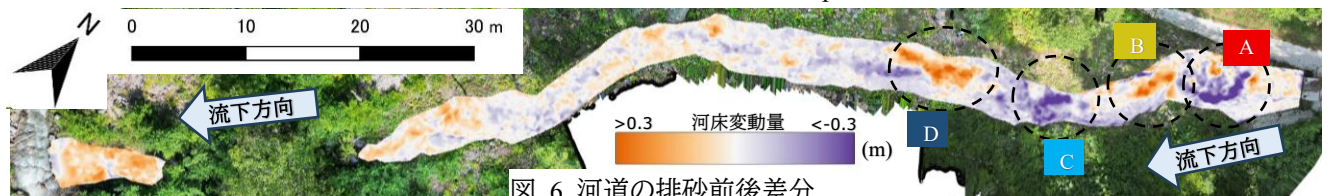


図 6 河道の排砂前後差分



図 7 地点 A-D の排砂前後における現場状況

の検証点で南西方向に同程度の系統的なずれが確認された。このことから、TS 測量における基準点の位置誤差が影響を受けている可能性が示唆される。以上の結果より、通信・地形条件の厳しい山地渓流においても、PPK 処理を用いた UAV-SfM は有効であると考えられる。

(2) 排砂に伴う河床変動

差分解析の結果、河道内における侵食および堆積の分布を面的に把握することができた。顕著な侵食・堆積が認められた上流側の区間から地点 A~D とし、各地点の地形変化を比較した(図 7)。上流側では、侵食と堆積が卓越する箇所が縦断方向に交互に出現した。また、河道中央に測線を設定し、地点 A から D までの河床縦断形状を示した(図 8)。

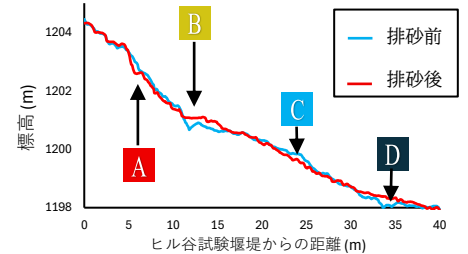


図 8 地点 A-D の河床縦断形状

地点 A では河床勾配が大きく、大径礫の移動が確認された。地点 B は、河床勾配の変化点に位置し、勾配減少により堆積が卓越したと考えられる。排砂前に Step-Pool 構造が多数確認された地点 C 付近では、排砂後の写真から Step-Pool の破壊が認められた。これは排砂に伴う土砂供給により Pool の埋積が発生し、河床勾配が大きくなったことから、Step を構成していた大礫が移動しやすくなったためと考えられる。地点 D についても、地点 B と同様に河床勾配の減少に起因して堆積が卓越した可能性がある。

これらの侵食・堆積分布から、今回の排砂イベントを通して、河床位の縦断的な凹凸が埋め戻されて平坦化するプロセスが進行したと考えられる。一方、木佐ほか(2025)では、上流区間において明確に侵食と堆積が繰り返す区間は見られていない。木佐ほか(2025)では、排砂ゲートの開閉が一回のみで、排砂量は 39.7 m³であったことから、排砂の総量や排砂操作の違いが、地形変化の差異に影響した可能性がある。

5. まとめ

- 本研究により得られた要点を以下にまとめる。
- ・ヒル谷のような厳しい通信・地形条件でも、実験レベルの小規模な河床変動を捉えることが可能だった。
- ・排砂前後の河床変動量を面的に定量化でき、河床変動プロセスの解釈に繋がった。

参考文献 1) 木佐ほか, 2025, 令和 7 年度砂防学会発表会概要集, p.45-46. 2) ゴメスほか, 2022, 砂防学会誌, Vol.25, No.4, p.25-29.