

4D-LiDAR による土石流の流速と径深の時系列変化の把握

静岡大学山岳流域研究院 ○鈴江純矢

静岡大学大学院農学領域 今泉文寿

岐阜大学大学院連合農学研究科 金子竜己

静岡大学農学部 長田知也

1. はじめに

土石流とは、水と土砂が一体となって高速で流下する現象である。近年、土石流による人的被害が増加しており、有効な対策を行うためには土石流の流動実態を理解する必要がある。土石流は、数秒単位で流速、径深が大きく変化することが観測結果により明らかになっているが、観測の技術的制約のため短い時間間隔でのこれらのデータの取得が困難であった。近年、LiDAR と呼ばれる新たな技術の発展により、短い時間間隔での土石流の三次元観測が可能になった。しかし、LiDAR を用いた研究事例は乏しく、かつ多くが砂防堰堤などの人工構造物上での観測であり、自然溪流での事例は少ない。本研究では、自然溪流上における土石流の流速、径深の時系列変化の把握を目的とし、LiDAR を使用した土石流の自動観測を実施した。

2. 調査地及び方法

調査対象地は静岡県中部、安倍川最上流部に位置する大谷崩、一の沢である(図1)。一の沢は、流域面積約 0.3 km²、流路長約 1 km、溪床勾配は観測地点において約 20° となっている(図1)。地質は主に砂岩、頁岩、砂岩・頁岩の互層である。一の沢は、年数回の頻度で土石流が発生するため、土石流観測の適地といえる。観測機器には、河床の礫にロープを巻き付け、土石流が発生した際に自動的に観測およびデータの記録を行う 4D-LiDAR (Livox Horizon) 自動観測システムを使用した(金子ら, 2024)。また、4D-LiDAR データの検証のため、ビデオカメラを流路沿いに設置した。観測地点は土石流扇状地の扇頂よりやや上流側に位置している。観測期間は 2024 年 5 月~2025 年 11 月である。観測地点は 2023 年 8 月 3 日に発生した土石流により露岩していた河床が埋没し一時的に移動床となったが、2024 年 8 月 31 日に発生した土石流により再び露岩し、固定床となった。

観測により得られた 4D-LiDAR データから土石流の流速を算出するため、4D-LiDAR データを 0.1 秒間隔で陰影図に変換し、PIV (粒子画像流速測定法) により土石流の表面流速を算出した。また、目視で礫を追跡し、その礫の移動距離を移動時間で割った流速(以下、マニュアル流速)を算出することで、PIV により算出された表面流速の検証を行った。また、土石流段波通過時の流動規模を把握するため、土石流発生前の計測により取得した河床形状をもとに、土石流流下中の断面積と潤辺長を算出することで、径深を 0.1 秒間隔で算出した。



図1 一の沢および観測地点の位置図
(国土地理院地図を一部改変)

3. 結果及び考察

観測の結果、2024年8月31日、2025年7月14日の土石流イベントにおいて4D-LiDARを使用した土石流観測に成功した。また、2024年8月31日では、ビデオカメラの撮影に成功した。観測した4D-LiDARデータからPIVにより算出した表面流速と径深の関係を図2、図3にそれぞれ示す。マニュアル流速とPIVにより算出した表面流速はおおむね一致した。その一方で、PIVにより算出した流速とマニュアル流速の値に誤差がみられる時間帯があり、雨滴や水しぶきの影響が考えられる。ビデオカメラ

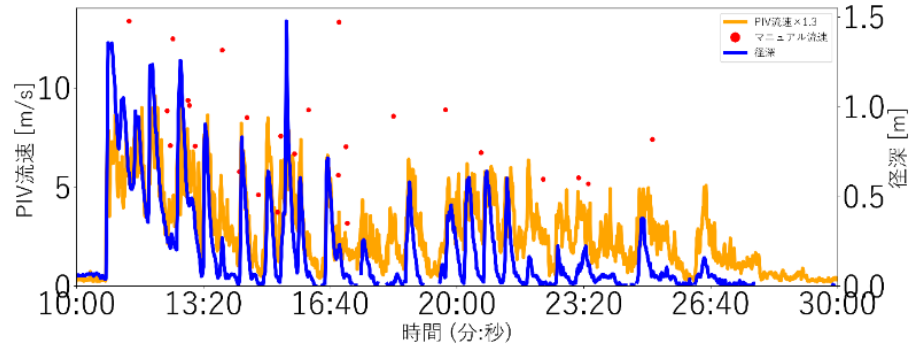


図2 2024年8月31日

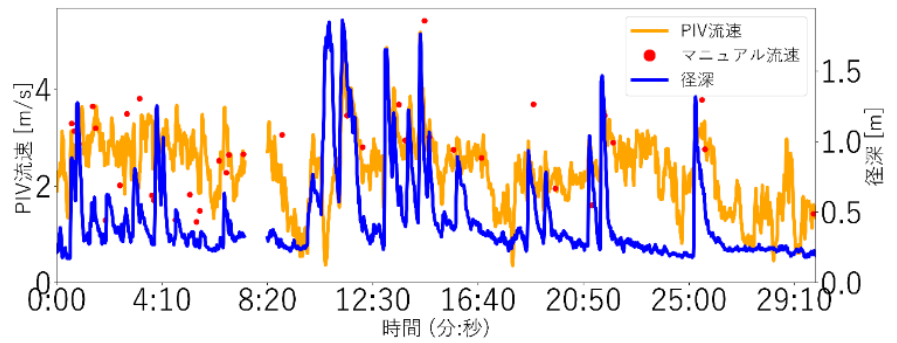


図3 2025年7月14日

による2024年8月31日の土石流の観測の結果、前半の時間帯(10:30~17:00)では、土石流の表面が礫で埋め尽くされ間隙流体がほとんど確認できない不飽和土石流が多く、時間の経過と共に礫が少なく間隙流体が流れの表面の大部分を占める飽和土石流の割合が増加する傾向が確認された。これらの傾向は、降雨量の増加や土石流発生域における不安定土砂の減少によるものだと考えられる。LiDARでの観測では、2024年8月31日の土石流では、時間経過と共に流速、径深の双方が減少したが、2025年7月14日の土石流では、明らかな減少傾向はみられなかった。

次に、段波ごとの流動特性に着目すると、両イベントでは、段波の流下に伴う短時間での流速と径深の急激な増減が確認された。個別の段波ごとにおいても時間経過とともに流速、径深が減少する傾向がみられた。また、大半の段波において流速と径深のピークのタイミングは、概ね一致していたが、一部の段波ではピークのタイミングにずれが生じており、土石流前半は径深のピークが先行し、後半は、流速が先行する傾向が確認された。これらの傾向は、土石流流下中において土石流内部の土砂濃度の増減が生じたことによる影響によるものだと考えられる。

4. おわりに

本研究では、新たな観測手法である4D-LiDARを観測に取り入れ、土石流の流速と径深の時系列変化を0.1秒間隔で明らかにすることができた。その結果、時間の経過とともに流速、径深の双方が減少することや段波の流下に伴う短時間での流速と径深の急激増減を確認することができた。しかし、データの欠損期間、降雨時の雨滴の影響などがあり、一部の土石流段波を正確に観測できなかった。したがって、4D-LiDARカメラの設置数、設置位置を含めた、観測システムの改善が必要であると考えられる。

引用文献

金子竜己, 長田知也, 今泉文寿, 高橋英成, 高山翔揮 (2024) : LiDAR 自動観測システムを用いた荒廃地源頭部における土石流観測. 中部森林研究. Vol.79. 49-53