

SLAM 技術による 3 次元点群データを用いた土砂災害発生後の情報把握の試行

国土交通省 近畿地方整備局 河川部 河川計画課 明見 章史※ 中辻 忠
 (一財)砂防・地すべり技術センター ○小林 拓也
 中日本航空株式会社 高橋 弘 葩嶋 秀行
 ※現:国土交通省 近畿地方整備局 大和川河川事務所

1.はじめに

砂防の研究や技術開発のためには、土砂移動現象の実績の情報の蓄積と解析が必要である。このため、土砂災害発生後には土砂移動実態等を把握するための調査を実施することが重要であり、特に後からの解析に資するよう、できるだけ定量的かつ信頼性の高い情報を残すことが好ましい。しかし、実態としては分析に資する情報が網羅的に取得されていない場合や、定量的な情報が取得されていないケースも散見されている。また、流出した土砂や流木は道路啓開や応急復旧等により数日～数週間程度で撤去されるため、実態把握に際しては可能な限り早期かつ迅速な調査が求められる。

一方、近年では SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術による 3 次元点群計測が普及している。SLAM は GNSS や IMU 等による絶対位置座標を必要とせず、自己位置の推定と地形認識を同時に行う技術であり、ハンディタイプのレーザ計測機器でも計測ができることから機動性に優れており、災害後の土砂堆積状況等の 3 次元情報の調査・保存に適していると考えられた。そこで昨年度は、土砂移動現象の実態把握のための調査に際して SLAM による 3 次元点群計測を実施し、得られた点群データから把握できる情報を整理した。

本研究では、災害調査における SLAM 技術を活用した 3 次元点群計測の適用性を把握するため、災害調査に際して SLAM による 3 次元点群計測を実施し、実際に土砂・流木の移動実態を把握するための解析を試行して取得可能な情報を把握するとともに、ハンディレーザ等による計測を実施する際の留意点を整理した。

2.方法

2.1.対象地及び対象災害

対象地は、令和 6 年 9 月 20 日頃からの前線停滞に伴う豪雨により土砂・流木が流出した、石川県輪島市久手川町の塚田川とした(図 1)。

当該地では、豪雨により比較的小規模な崩壊が複数発生・流下するとともに、令和 6 年能登半島地震での崩壊残土が二次移動した。これにより、谷出口に位置する古込集落より下流において河道の土砂堆積・埋塞や、橋梁に流木が集積・閉塞したことによる流路変更が生じるなど、大規模な土砂移動現象が発生して甚大な被害が生じた。

2.2.計測方法

SLAM 技術による 3 次元点群計測には、GeoSLAM 社製 ZEB Horizon + ZEB Vision を使用した(図 2)。Zeb-Horizon は 30 万点/秒の高密度スキャンが可能で、自動回転式のセンサーヘッドにより頭上の構造物等も計測可能である(表 1)。また、ZEB-Vision は 4K 360 度パノラマカメラにより、100 分の 1 秒以下の精度で RGB カラーの情報を有する点群データを取得できる。

計測は古込集落の橋梁を起点とし、上流と下流に分けて 2 回の計測を実施した。主に上流側(1 回目計測)は谷の中の堆積物上を歩き、下流側(2 回目計測)は集落内の道路を歩いて、家屋、堆積土砂、流木等を含む 3 次元情報を計測した。

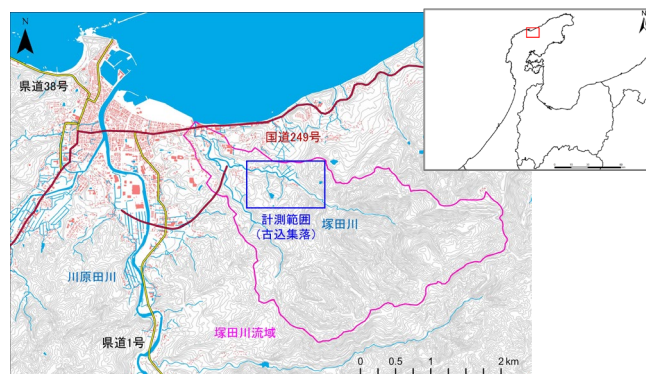


図 1 対象地の位置図

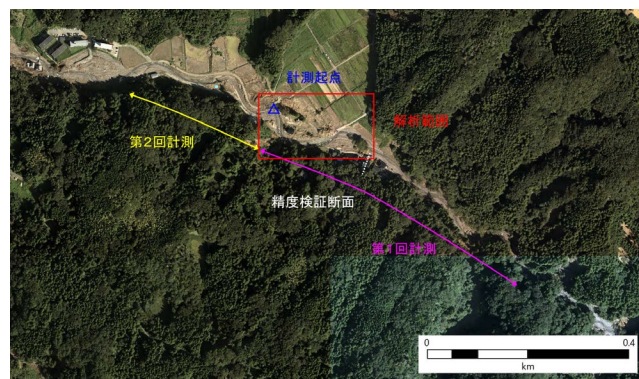
図 2 ZEB Horizon + ZEB Vision の外観
表 1 基本性能

項目	性能
スキャン範囲	0.5m ～ 100m (計測最適距離:50m 以内)
重量	スキャナー:1.3kg ロガー(バッテリー含):1.4kg
スキャン	300,000 ポイント/秒
相対精度	6mm まで
カメラ解像度	4K, 360 度パノラマ
計測時間	30 分程度/回(データ容量による制限)

3.結果

3.1.計測及び解析範囲

計測区間の距離は約 600m と 300m であり、誤差補正を考慮し、往復して起点に戻るよう計測した。解析は土砂・流木の堆積が顕著な範囲を対象とした(図 3)。

図 3 計測範囲と解析対象範囲
(背景図は北陸地方整備局撮影の簡易オルソフォト)

3.2 色付き点群データによる概況把握

SLAM 技術による 3 次元点群計測により得られた点群データ(以降「SLAM 点群」)を現地写真と対比して示す(図 4)。色のない点群データでは流木や植生などの見分けがつかない場合もあるが、色付きの点群データではジオラマのように視覚的に状況が把握できた。また、任意地点の長さや断面形状など、定量的な情報も把握できた。



図 4 地上踏査による写真(右)と色付き SLAM 点群(左)

3.3.絶対精度

SLAM 点群には位置情報がないため、航空レーザ測量データ(以降「LP 点群」)等を基に絶対座標を付与した。図 3 に示した断面で各点群を比較すると、LP 点群を正とした場合の SLAM 点群の誤差は水平方向 0.5~1.0m、高さ方向 0.5m 程度で、機器の相対精度に対して大きな誤差が確認された(図 5)。

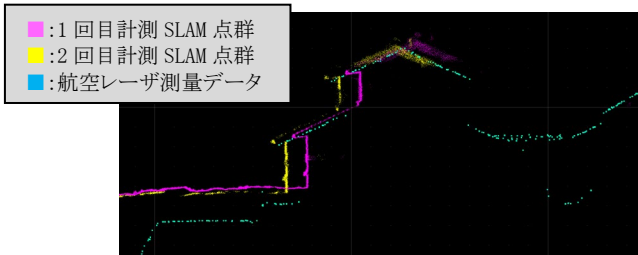


図 5 家屋の断面での比較

3.4.土砂・流木の堆積状況の把握

流木が塊状に堆積している箇所では、外縁部や頂部の流木の形状は認識できるものの、それ以外では点群が得られていない(図 6 左)。また、土砂の堆積状況を把握するため、樹木の点群等を除去して地表面データを抽出するフィルタリングを行ったところ、流木塊等の支障物がある場合はその内部や背後ではレーザが地表まで達しておらず、点密度の低下や空白の発生が確認された(図 6 右)。

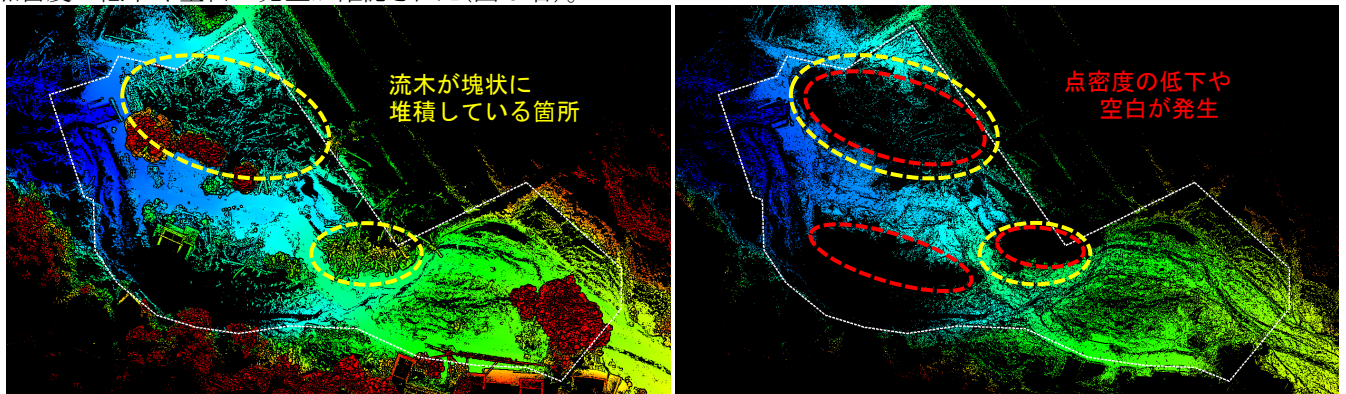


図 6 SLAM 点群データ(左:オリジナルデータ, 右:植生除去後)

4.考察

SLAM 点群からは、災害現場の概況把握、河道断面の計測、土砂・流木量等の差分解析等が可能であった。

一方で、LP 点群と SLAM 点群では、比較的大きな誤差が確認された。SLAM 点群は LP 点群を基に絶対座標を付与していることから、誤差の要因は SLAM 点群の歪みである。2 回目よりも 1 回目の計測の誤差が大きいことなどから、歪みの要因は以下の通りと考えられる。

- ・ 段差などの移動に際して瞬間的に大きな加速度が加わり、点群が間延びして計測された
- ・ 計測範囲内に特徴点が少ない箇所や移動物体が多い箇所があり、点群のマッチングの精度が低下した

SLAM はその計測の特性により、単純な往復計測では誤差の補正が難しくなる傾向がある。このため、往路と復路で異なるルートを通るとともに、慎重に歩くことで誤差の蓄積が軽減されることが考えられる。また、計測距離や時間が長いほど誤差の蓄積が多くなるため、計測範囲を絞り込むことや複数回に分けて計測することも有効と考えられる。

また、点密度の低下や空白の発生については、ハンディレーザは横方向からレーザを照射するため、構造物や植生などの裏側は計測できないことや、レーザが地表面まで到達しにくいことが要因となっている。このため、点群の空白や低点密度箇所を減らすためには、計測に際して対象範囲を様々な方向から計測することが必要と考えられる。

5.総括

本研究では、災害調査に際して SLAM(ハンディレーザ)を活用した 3 次元点群の計測・解析を試行した。その結果、後からの解析に資する情報が取得でき、災害現場の情報を保存するうえで有効な調査手段と考えられた。

一方で、SLAM 点群は歪みによる誤差に加えて、点密度の低下や空白が生じる可能性があることから、ハンディレーザ等による計測に際しては以下に留意が必要である。

- ◇ 単純な往復計測は可能な限り避ける/短くする
- ◇ 特徴点が少ない/移動物体が多い箇所は別計測する
- ◇ 1 計測は 15~30 分程度とする
- ◇ ゆっくり慎重に歩く

上記を考慮すると、広域の調査の場合は UAV によるレーザ計測や UAV 写真の SfM 解析が適する場合も考えられる。このため、現地状況や目的、時間的余裕等を考慮して、適切な調査手法を選択することが重要である。

参考文献: 宮城昭博, 小林拓也, 池田暁彦, 富田紀子, 加國奈緒子, 山本敦也, 磯谷和也, SLAM 技術を用いた 3 次元点群計測の災害調査への適用, 令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集, p413-414, 2024