

山地溪流の表面侵食・土砂移動状況調査におけるハンディ・レーザスキャナの活用 ～奈良県池郷川流域を事例として～

国際航業株式会社：○河合 貴之、清水 幹輝、笠原 拓造、榎本 みな、檀上 拓也

1. はじめに

土砂移動が活発な山地溪流については、溪流やその付近の地形等が土砂移動の要因・結果の指標となるため、土砂移動発生箇所の地形の特徴や不安定土砂の分布や量の情報を取得することは、出水時の災害対策を検討する上で重要である。但し、急峻な山間部や夏季の広葉樹林等において、航空レーザ計測では地表面を正確に計測できない場合や、据付式のトータルステーションでは測量作業時の安全性等の制約が生じる。最近、ハンディ・レーザスキャナについて、砂防施設点検において構造物の変状や地形横断面形状等の迅速な把握に活用した例がある¹⁾などが、土砂移動・堆積状況の調査における試行例が殆どない^{2,3)}など。そこで今回は、地上で低コストかつ簡便に計測できる手段として、ハンディ・レーザスキャナを用いた表面侵食や土砂移動状況の情報取得を試行した。対象地域は、奈良県南東部の下北山村内に位置する、熊野川水系北山川支流の池郷川流域であり、土砂流出が活発で天然の広葉樹やスギ・ヒノキ植林が混在している。今回、同一斜面における3時期の地表面状況をとらえ、差分解析を実施した。この解析は、地上で低コストかつ簡便な計測手段としてハンディ・レーザスキャナの有用性を検証し、溪流の土砂移動状況調査の効率的な精度向上に資すると考える。

2. ハンディ・レーザスキャナの概要

計測には、GeoSLAM社製ZEB-HORIZON (Velodyne VLP-16搭載)を使用した。本機は重量約1.3kgと小型であり、携帯して対象地物の周囲を歩くことで形状を計測でき、計測点数は300,000点/秒、最大計測距離100mである(カタログ値)。データ取得はSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の技術により、3次元レーザ、IMU(Intertial Measurement Unit)のデータを統合処理して自己位置推定を行い、計測と同時に撮影した動画を参考に点群の色付け等の処理を行う。相対精度は±3cm(カタログ値)で、据付式のトータルステーションの精度(±2mm)⁴⁾には劣るが、地図情報レベル500の精度を有し、計測時にデータ取得から合成までを現場において実施した上でのデータ確認が可能であり、従来の地上レーザの6分の1の時間で一連の計測を行えることから、作業効率が非常に高い⁵⁾。

3. 解析の対象と条件

(1) 計測対象の概要

計測対象は、平成23年9月に発生した紀伊半島大水害を受けて奈良県が種々の調査結果を整理する中で、その出水時の崩壊が確認された斜面であり⁶⁾、中腹の崩壊地やそこからの土壌流出が認められ、一方で露岩もみられることから、土砂移動状況の確認に適する斜面である。今回は以下の条件を満たす集水域を解析対象とした。

- ・計測と同時に撮影した動画から土砂堆積等の状況が読み取れる。
- ・樹冠・下草による照射レーザ等の遮蔽によって生じる差分解析のノイズが連続した範囲でみられない。

ここでいう差分解析のノイズとは、露岩や道路擁壁直下で上方に崩壊地等の土砂流出痕跡がない区域で堆積を示す等といった事象のことである。以上を踏まえて設定した解析対象範囲を図-1に示す。

(2) 窓領域設定

計測においては高分解能の地形データの取得が期待され、土砂移動状況の把握に用いるデータとして、8月・10月・12月の計測結果を基に格子サイズ10cmの3次元標高モデルを作成した。そこで、地形表現におけるノイズを緩和するため、計測範囲内で取得した位置座標値・標高値の情報をもつ各格子点について、図-2に示すように、周辺の点の情報を加味して複数時期の比較を行った。加味する点の範囲をここでは窓領域と称する。

今回は、池郷川流域において平成27年度・30年度に奈良県が取得している航空レーザ計測データの格子サイズが1mであることを考慮して、窓領域範囲が30cm・50cm・90cmの場合で、各格子点を中心とする窓領域内の標高平均値を改めてその格子点に割り当て、計測範囲におけるノイズ等の状況を比較した。比較にあたっては、面的な傾向を把握するため、

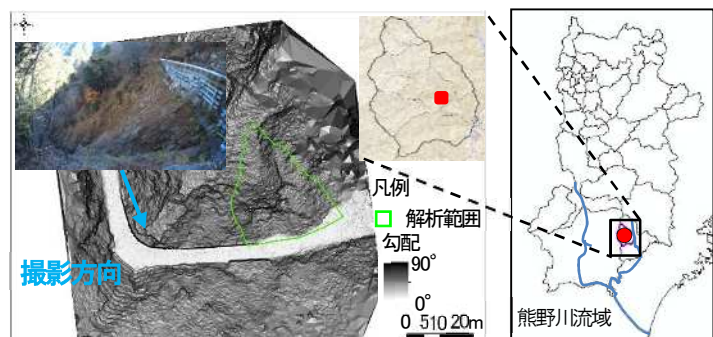
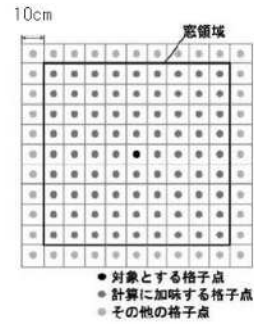


図-1 計測・解析対象範囲の位置と現況
(左図背景は今回計測データ加工した傾斜量図)

出水期で土砂移動痕跡が差分解析結果に反映されやすいと考えられる 8-10 月間について、窓領域範囲が同じもの同士で標高差分をとった。その考えに基づいて比較したところ、窓領域範囲が 30cm の場合で範囲や差分値に表れるノイズが最も小さいと判断されたので、今回は窓領域範囲 30cm の場合の標高差分値を表面侵食量の算定に使用した。



4. 差分解析による表面侵食・土砂移動状況の把握

3 時期の計測データについて、計測時の撮影動画と標高差分の対応から、前述の解析区域内の土砂移動状況を把握することができた。これらの対応付けは、撮影動画を時期ごとに比較しての表土侵食

や露岩の埋没状況を指標として、標高差分の分布と照合することによって。計測時の現地状況と差分解析結果の対応を表-1 に示す。

また、3 時期の計測データを用いた標高差分から、解析対象区域における土砂移動量として表-2 の算出結果が得られた。本表から、8-10 月は斜面上部からの流出土砂が中腹に一時的に滞留し、それと上方から流入した土砂が 10-12 月に下流に流出したと考えられる。

表-1 計測時の現地状況と差分解析結果の対応

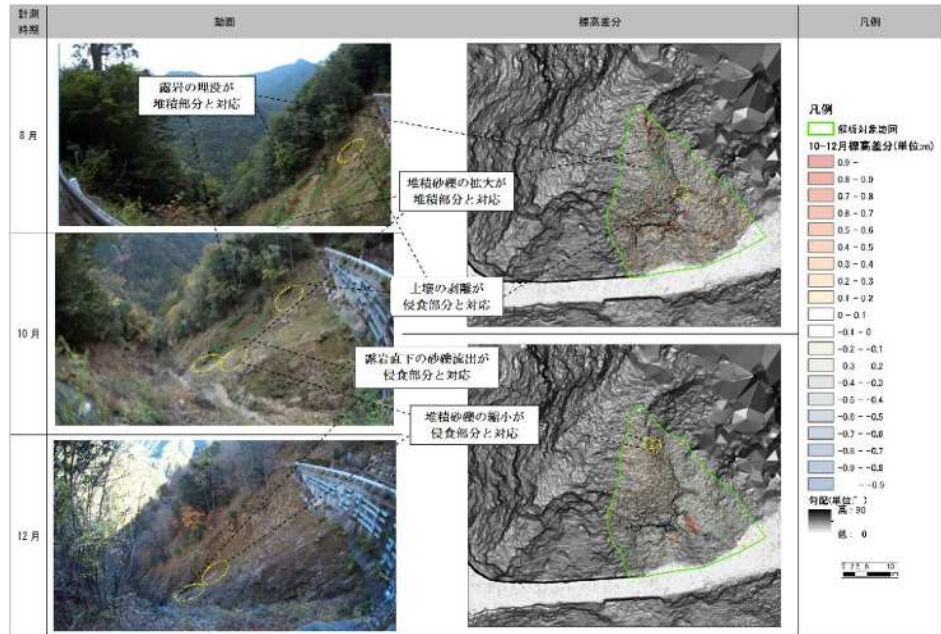


図-2 窓領域設定イメージ

5. まとめと今後の課題

今回、山地溪流においてハンディ・レーザスキャナによる計測及び同一斜面における複数時期の計測結果の差分解析を試行した。それにより、ハンディ・レーザスキャナの有用性と今後の課題について、以下が挙げられる。

- ・ 航空レーザ計測に比べて高い分解能で地形データを簡便に取得し、さらに標高差分の解析によって侵食・堆積の状況を客観的かつ面的に把握することが可能である。
- ・ 但し、ノイズ遮減のためには、計測対象に対して照射レーザが遮蔽されないように計測時の機器移動経路を確保する必要がある。
- ・ 航空レーザ計測データ等との客観的な比較にあたり、ハンディ・レーザスキャナによる計測データを標定するために、明確な標定点を確保する必要がある。

ハンディ・レーザスキャナによる計測については、今後、上記を踏まえた上で事例を増やして有用性を高め、地表面・樹冠構造の計測データを用いて、植生が斜面の表面侵食を抑制する機能をもつとの知見^{7,8,9}などを踏まえ、森林の治山砂防の効果向上に資する調査での活用等が期待される。

謝辞: 奈良県砂防・災害対策課には今回の検証にあたり、航空レーザ計測データを提供頂き、現地調査にあたって様々な便宜を図って頂きました。ここに感謝の意を表します。

文献: 1) 畠山ら(2018)砂防学会発表要旨集, p. 241-242. 2) 新子ら(2019)砂防学会発表要旨集, p. 635-636. 3) 河合ら(2020)砂防学会発表要旨集, p. 733-734. 4) 国土地理院(2016)「測量機器性能基準」国地達第7号. 5) 梶本ら(2020)写真測量とりもとのセンシング 59(6), p. 289-292. 6) 奈良県(2015)奈良県大規模土砂災害アーカイブ. 7) 北原(1998)森林科学 22, p. 16-22. 8) 阿部(1998)森林科学 22, p. 23-29. 9) 山場・佐野(2008)日緑工誌 34(1), p. 3-8.

表-2 計測結果データの標高差分に基づく侵食・堆積量 (単位: m³)

時期		8-10月	10-12月	8-12月
侵食量	総量	24.81	71.41	54.18
	1m ² あたり	0.04	0.10	0.08
堆積量	総量	54.35	27.22	38.61
	1m ² あたり	0.08	0.04	0.05
下流への流出量	総量	-29.54	44.19	15.57
	1m ² あたり	-0.04	0.06	0.02