

# UAV 搭載レーザ測量による植生密集斜面の可視化

原口 強<sup>1)</sup>・吉田翔太<sup>2)</sup>・野並昌稔<sup>3)</sup>・山川道明<sup>4)</sup>・今野哲嗣<sup>5)</sup>

- |                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| 1) 大阪市立大学大学院理学研究科  | e-mail: haraguti@sci.osaka-cu.ac.jp |
| 2) 株式会社大翔          | e-mail: shota@sd-daisho.com         |
| 3) SD 工法研究会        | e-mail: nonami@sd-method.com        |
| 4) TP ホールディングス株式会社 | e-mail: yamakawa@tphd.co.jp         |
| 5) 株式会社 STORY      | e-mail: konno@story-ujv.com         |

植生密集斜面の健全度を評価するには、植生下の斜面地形の可視化が必要である。最も植生が繁茂する厳しい条件下での UAV レーザ測量した結果、ほぼ対象地区全体の地形判読が可能で、かつ起工測量の要求点群密度（4点/m<sup>2</sup>）をクリアできた。本手法は、植生密集斜面地形の可視化を可能にする技術として期待される。

Key words : UAV, レーザ測量, 植生密集斜面, 可視化

## 1. 研究の背景と目的

航空レーザ測量の登場は、測量分野にブレイクスルーをもたらした。その手法は、航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差から距離、GNSS 測量機、IMU から位置情報を得て、地上の標高や地形の形状を調べる方法<sup>1)</sup>である。この手法では、樹木下でも地上からの反射レーザ光が得られると計測点の位置と高さが算出可能となる。

近年、機器の小型・軽量化により UAV 搭載可能なレーザスキャナが使用<sup>2)</sup>できる環境が揃ってきた。UAV では低高度・低速度の計測飛行により航空レーザより 10 倍以上の点群が取得でき、より詳細な地形計測が可能となる。

このような背景から、植生が繁茂する 7 月末～8 月の計測条件として最も厳しい時期を選び、急傾斜対策工事の予定斜面で UAV レーザ計測を実施した。本文では植生密集斜面での UAV レーザ測量の適用性を、計測事例を示すことでの検証することを目的とする。

## 2. 計測機器の概要と手法

### (1) UAV ヘリコプター搭載型レーザスキャナ

計測に使用した UAV ヘリコプターへの搭載状況（図 1）とラインスキャン方式の搭載型レーザスキャナの仕様（表 1）を示す。



図 1 UAV ヘリコプターとレーザスキャナ

表 1 レーザスキャナの概要

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ RIEGL ミニVUX-1UAV Class 1 レーザ</li> <li>■ 波長: 905 nm</li> <li>■ 最大測距レンジ: 250 m abs.</li> <li>■ 一般的な作業高度: 10 - 100 m</li> <li>■ 精度: 1 cm</li> <li>■ 正確性: 2.5 - 5 cm (1)</li> <li>※ IMU (Applanix APX-15 or APX-20) と飛行高度による</li> <li>■ スキャナ視野角: 360°</li> <li>■ 100,000点/秒</li> <li>■ マルチエコー技術: 最大1ショット/5 エコー</li> <li>■ 200 チャンネル b GNSS: GPS, GLONASS, BeiDou</li> <li>■ RTK または PPK 対応</li> <li>■ 動作温度: -20 °C to +40 °C</li> <li>■ 重量 2.5 kg もしくは 3 kg</li> <li>※ IMU (Applanix APX-15 or APX-20)による</li> <li>■ 稼働時間: 1.5 時間 (通常)</li> <li>■ 寸法 (cm): 長さ 33cm x 幅 12cm x 高さ 15cm</li> <li>■ 消費電力: 25 W</li> </ul> |
|---|

(2) マルチコプター搭載型レーザスキャナ

計測に使用した UAV 搭載型レーザスキャナ（楯田ラインスキャン方式）仕様（表 2）と UAV への搭載状況等（図 2）を示す。

表 2 レーザスキャナ（LiAir V）の仕様

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| レーザーセンサー          | LiVox Mid-40                  |
| レンジ精度             | ±2 cm                         |
| スキャン範囲            | 90 m @ 反射率 10%                |
|                   | 130 m @ 反射率 20%               |
|                   | 260 m @ 反射率 80%               |
| システム精度            | ±5 cm                         |
| POSシステムのパフォーマンス   | 姿勢：0.008°（1σ）                 |
|                   | 方位角：0.038°（1σ）                |
| 搭載ストレージ           | 128 GB                        |
| 使用可能なポート          | イーサネット                        |
| 重量（バッテリーを除く）      | 1.0 kg                        |
| 寸法（本体）            | 125 * 70 * 116 mm             |
| ルート計画ソフトウェア       | LiPlan（独自仕様）                  |
| 取得 / 解析 POSソフトウェア | LiAcquire Web, LiGeoreference |
| 視野                | 38.4°                         |
| スキャンレート           | 100,000ポイント/秒                 |



図 2 UAV 搭載型レーザスキャナ（LiAir V）と搭載状況

3. 計測結果

(1) 福岡県糸島市瑞梅寺地区（ヘリ搭載型で実施）

計測した崩壊地周辺の空撮と点群の比較（図 3）では，崩壊範囲と植生が点群で再現されている．この際，直交 2 方向の計測で点群密度を増加（図 4 ①）させている．植生を除去後（図 4 ②）は 249 点/ m<sup>2</sup> となる．密な植生下は 5 点/ m<sup>2</sup> となるが，起工測量の基準（4 点/ m<sup>2</sup>）<sup>3)</sup>は満足している．

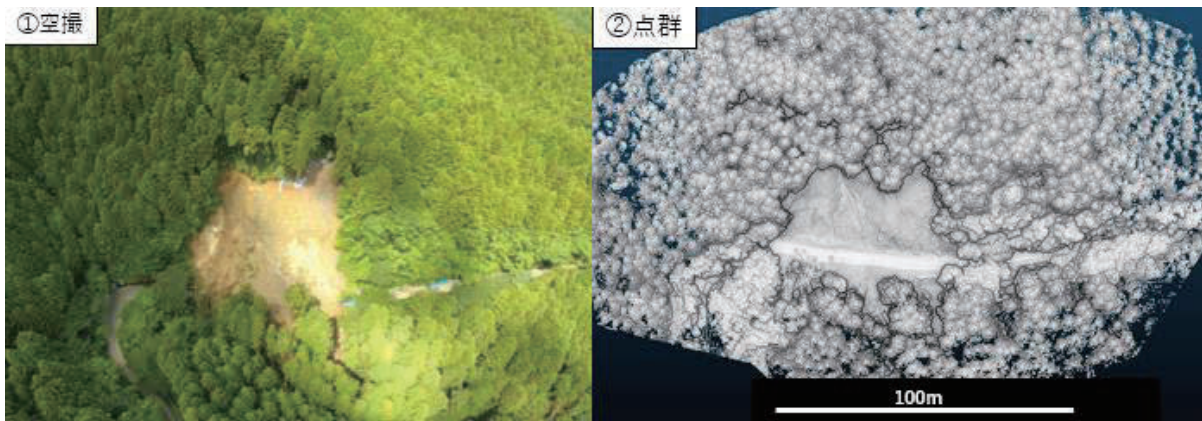


図 3 崩壊地の状況：①空撮画像，②点群画像

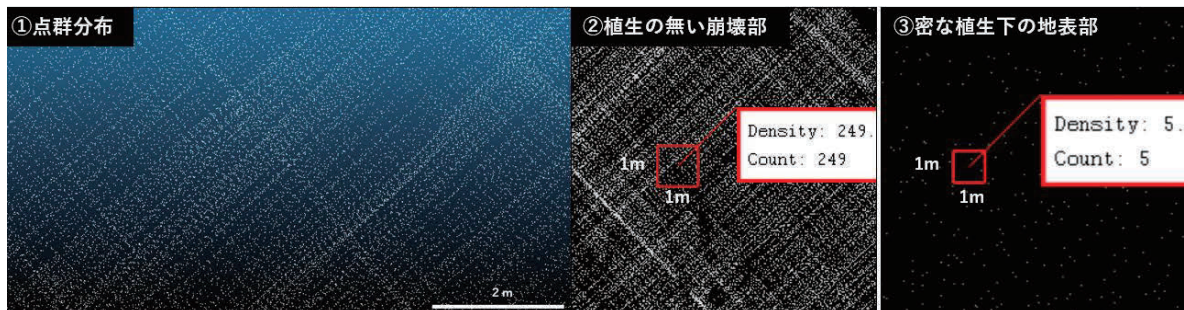


図 4 点群密度：①直交する点群，②植生の無い崩壊部（249/ m<sup>2</sup>），③植生下の地表（5/ m<sup>2</sup>）

これらのデータから地形断面図と 3 次元地形断面図（図 5）を作成後，地形の 3D モデルと 3D 等高線図（図 6）を作成した．一連の図から，地形の詳細部分までがモデル化・可視化されている．



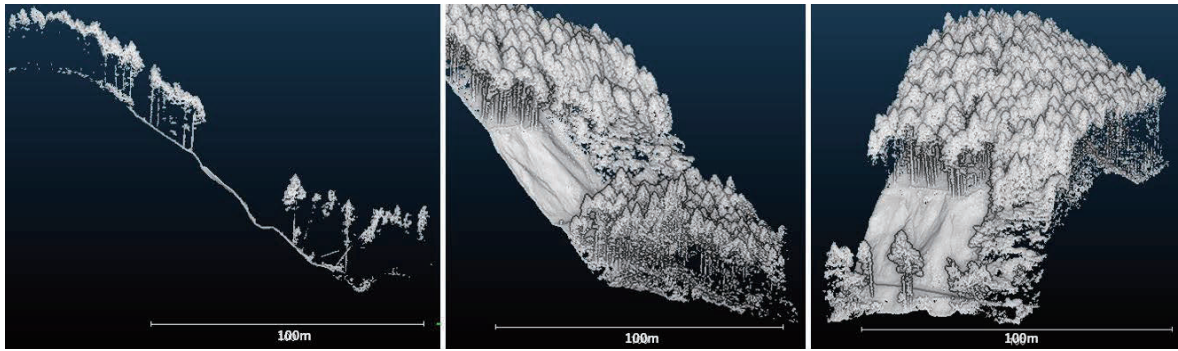


図5 林道沿いの崩壊地の点群断面画像

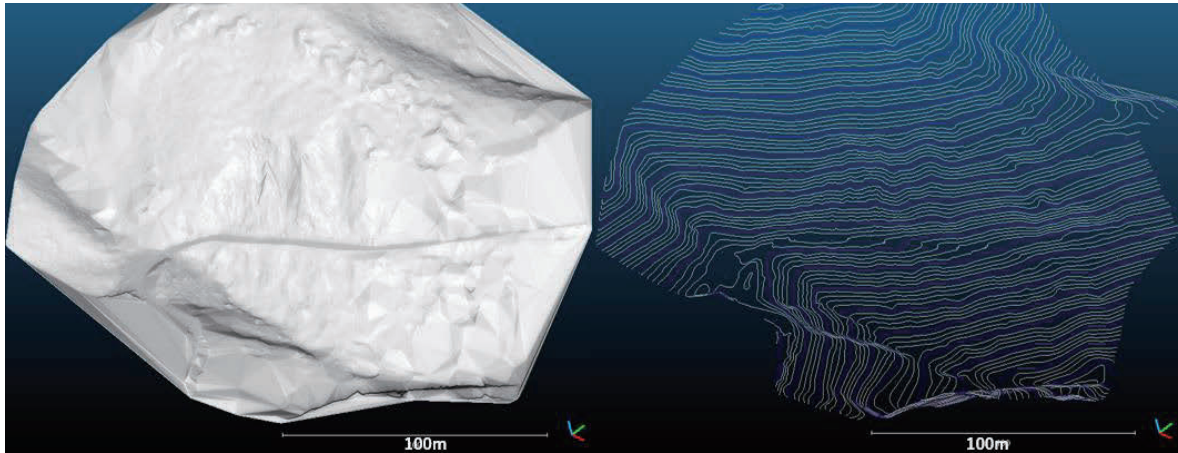


図6 地形の3Dモデル図と1m間隔3D等高線図

(2) 滋賀県長浜市菅浦地区

菅浦で計測した現地の空撮と点群の比較（図7）では、植生を含めた覆われた地形（DSM）が点群で再現されている。断面（図8）では、植生の無い路面形状は明瞭に捉えているが、植生に覆われた斜面では地表からの反射が不明瞭な部分がある。



図7 計測地の状況：①空撮画像、②点群画像

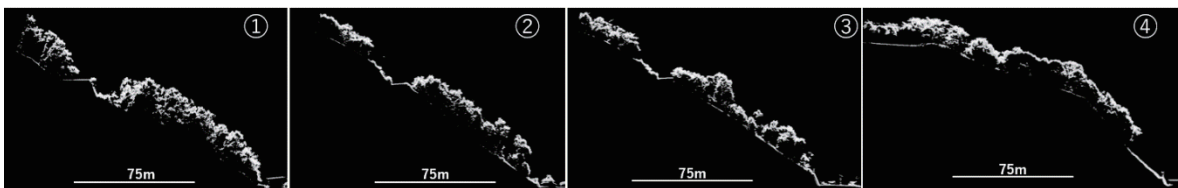


図8 点群データによる複数の代表断面

植生を除去したフィルタリング後の1m<sup>2</sup>あたりの点群密度（図9）は、植生の無い部分で642点、密な植生下で5点となり、1m<sup>2</sup>あたり点密度は起工測量の基準（4点/m<sup>2</sup>）<sup>2)</sup>は満足している。しかし、さらに植生が密な部分では、点群欠測部（図10）が認められる。欠測部を補間して点群をメッシュ化した3D地形モデル

（図 11）では，ほぼ全体の地形形状を確認することができる．

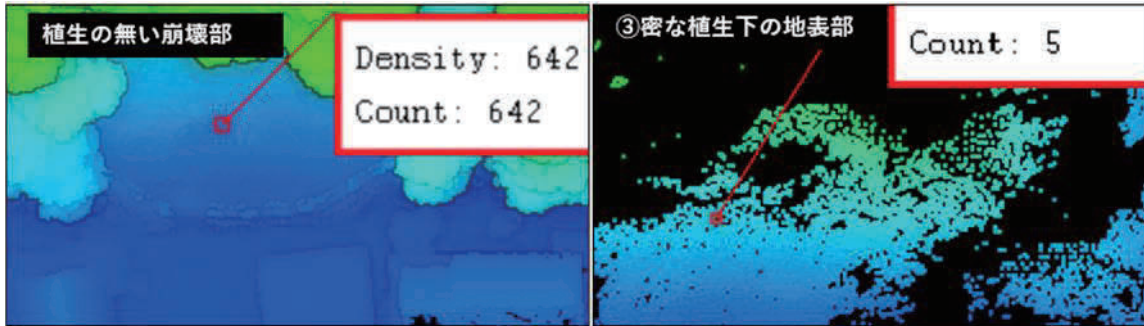


図 9 フィルタリング後の 1m<sup>2</sup>あたりの点群密度の比較

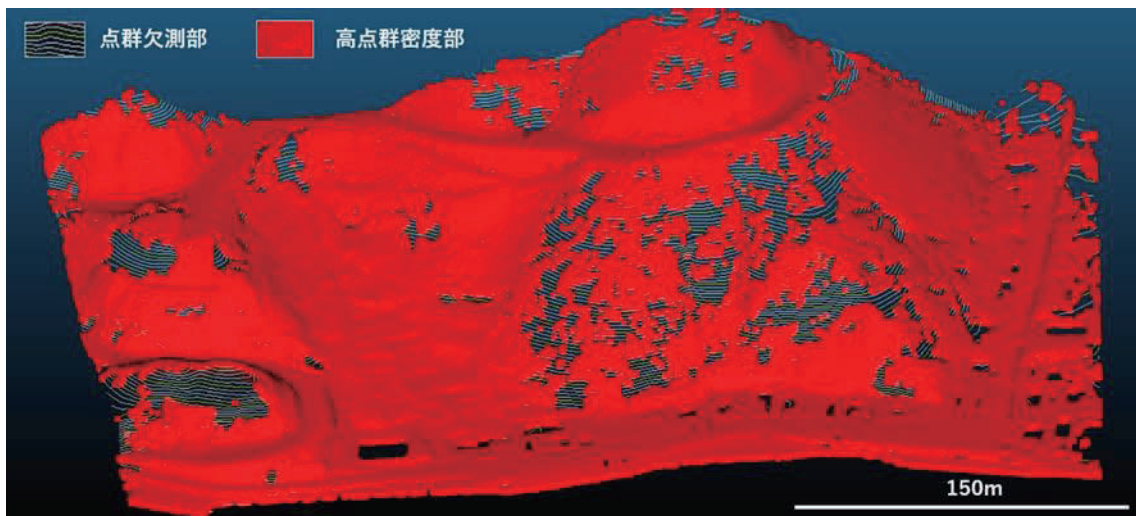


図 10 フィルタリング後の点群密度分布：点群欠測部と高点群密度部

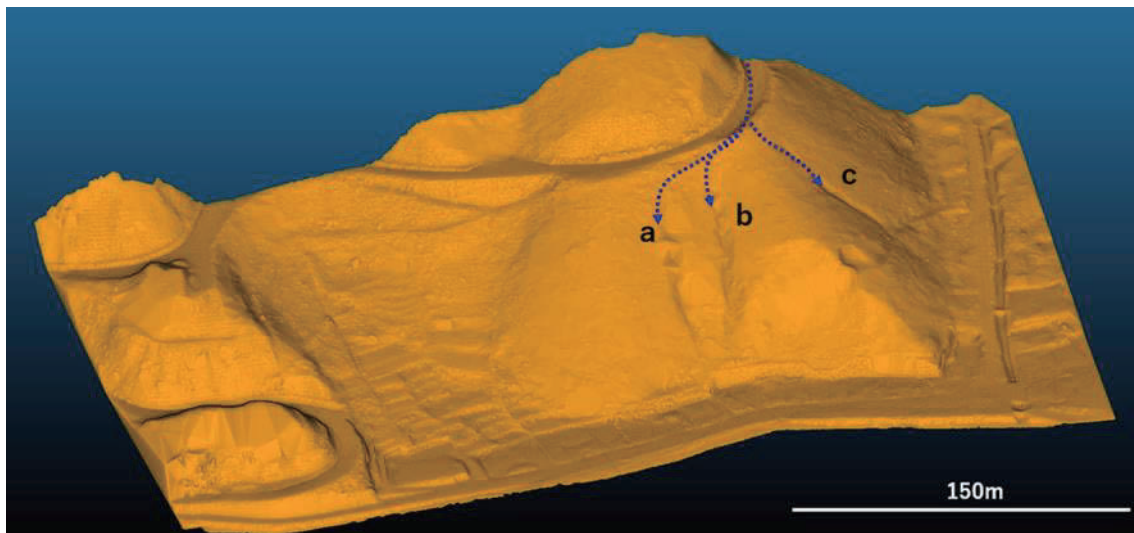


図 11 フィルタリング後の点群をメッシュ化して作成した 3D 地形モデル

雨水による 3 条のガリ浸食とみられる谷筋(a. b. c)が確認できる

作成された地形の 3D モデル（図 11）の斜面上に，3 条のガリ浸食とみられる谷筋（図 11.a.b.c）が確認できる．この成因について考えてみる．

対象斜面を含む流域は琵琶湖北岸の標高 470m から続く稜線に囲まれた流域（図 12）で，約 15 の小流域か



らなる．対象斜面は尾根型斜面で，本来，谷は発達しない．この流域を奥琵琶湖パークウェイが，尾根部から高度差約 200m を琵琶湖岸まで下りている．道路建設以降，降雨時には雨水が道路に沿って流れ，流域外の雨水が対象斜面（図 12：A，B）に流れる構造が予想される．現地でも，道路湖岸側の法肩で洗堀と流れ込み跡が確認される．

本来は尾根部には，こうした谷は発達しない．これらのガリ浸食谷は，道路建設に伴い，流域外から道路沿いを流れてきた雨水がカーブでオーバーフローして斜面を流れ下る過程で浸食して形成されたものと推定される．今後この状況が継続すれば，ガリ浸食が拡大し崩壊につながる危険が考えられる．現在斜面末端部の民家裏山の急傾斜対策が進められ，対策が完了した部分の安全性は向上する．しかし，崩壊は未対策の斜面上部から発生し対策斜面を乗り越えて，民家に崩壊土砂が及ぶ危険性がある．このような視点から斜面全域の地形を可視化し，斜面崩壊のリスク評価を行うことが望ましい．



図 12 菅浦背後の地形と対象斜面への道路雨水の流れ（カシミール3Dにより作成）

#### 4. まとめ

地球温暖化で頻発する線状降水帯の影響を受け，わが国では，豪雨による自然災害が多発している．この中で，人命が失われる例として裏山の斜面崩壊があげられる．裏山斜面は樹木に覆われ，本来の地形形状を把握することが難しいケースが殆どである．こうした斜面崩壊の危険性を評価するためには，樹木を取り除いた斜面の可視化が最重要である．さらに実際に命綱を付けて急傾斜対策工事を担当する技術者にとって，作業中の安全確保が最重要で，事前に詳細な地形形状を把握・理解しておくことは焦眉の課題である．

近年その発展が目覚ましい UAV 搭載レーザ測量では，低高度・高密度での計測飛行が可能で，これまで原則として避けてきた植生密集斜面でも，より正確な斜面の地表面を捉えられる可能性がでてきた．そこで，本研究では手法の適用・検証を目的に植生が繁茂する 7 月末～8 月の時期に滋賀県と福岡県の急傾斜対策が予定されている斜面での計測を実施した．

その結果，最も植生が繁茂する厳しい条件でも，地形の 3D モデルが作成でき，地形判読・現地調査及び起工測量レベルの精度は担保された．落葉後の良い計測条件を選べば，地表からの「レーザ計測点」が確保

され，十分な成果が得られることは間違いない．今後本手法が現場に確実に実装され，斜面地形の画像診断技術が進めば，命が失われる裏山の斜面崩壊のリスクが軽減されると期待される．

#### 謝辞

今回の計測の実施にあたり，地元の方々，滋賀県長浜土木事務所はじめ関係省庁の方々にご協力を頂きました．これらの方々に感謝いたします．

#### 参考文献

- 1) 国土地理院，航空レーザー測量の仕組み，[https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser\\_senmon.html](https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html) .
- 2) 原口強，杉本一起，富井隆春(2018)，ドローンレーザー計測による斜面崩壊地形の迅速可視化 ～2018年4月耶馬溪土砂災害を例として，都市防災研究論文集，第5巻，pp. 33-39.
- 3) 国土交通省国土地理院（2020），UAV搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案），pp. 1-57.
- 4) 国土交通省国土地理院（2016），UAVを用いた公共測量マニュアル（案），pp. 1-35.