

UAV-LiDARを用いた地表面変状抽出における 季節変化に伴う植生影響評価

国立研究開発法人 寒地土木研究所 防災地質チーム ○川又 基人
国立研究開発法人 寒地土木研究所 防災地質チーム 岡崎 健治
国立研究開発法人 寒地土木研究所 防災地質チーム 日外 勝仁

北海道は海岸沿いの急崖直下に道路を通さざるを得ない箇所が多々あり、このような箇所では、落石・崩壊等を対象とした事前の調査・点検や対策が必須である。近年LiDAR機器が小型化されUAVに搭載し近接での高密度な点群データの取得が可能になってきており、これらは斜面の調査・点検への効果的な活用が期待される。本研究では過去に転石型落石が確認されている自然斜面を試験地として、異なる季節（植生状況）に取得された点群データを比較し、植生による点群取得の影響評価及び植生下の地表面変状抽出に関する検討を行った。

キーワード：落石、点群データ、UAV、LiDAR

1. はじめに

北海道では、過去に道路防災点検の見直しの契機となるような道路斜面災害が発生しており、岩盤崩壊や落石に起因する災害が道路管理における大きな課題となっている¹⁾。筆者らはこれまで、大きな災害の兆候を見逃さない道路斜面点検の高度化を目的として、地上からの目視点検では限界のある高比高の岩盤斜面に対し、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle：以下 UAV）により撮影された2時期の空撮画像を比較することによる、変状箇所の客観的な抽出手法（背景差分法）の開発を行ってきた。

背景差分法とは、異なる時期に撮影されたほぼ同じ構図の2枚の写真を重ね合わせ、その色調差分を取ることで、写真撮影期間における変化箇所をより客観的に把握する手法である²⁾。この手法の UAV 空撮画像への適用に関して、機種や測位精度の違いによる影響評価、撮影写真を正射投影（オルソ画像）に変換しての背景差分抽出といった検討を進め、UAV 空撮画像を用いた背景差分抽出においても斜面上の数十 cm の落石発生源の抽出が可能であることを示し²⁾、その成果を道路防災カルテ点検実務への適用も想定したマニュアルにまとめた³⁾。

以上のように、主に岩盤斜面を対象とした UAV を活用した調査・点検手法については、検討段階から現場での適用・実装段階にあると言える一方、課題と言えるのが植生域における変状把握である。調査・点検上の着目箇所に植生が繁茂している状況の場合、空撮画像では対象となる地表面の形状等が隠されてしまうことに加え、2 時期の植生の繁茂状況の違いが背景差分時のノイズになることが想定される。

防災カルテ点検上着目している落石においては、その周囲に植生が繁茂している状況のものが約4割である⁴⁾。実際、北海道内で国道の通行規制が必要となるような落石災害において、その発生源が植生域にあるものが確認されている⁵⁾。すなわち植生域における転石の不安定状況の把握もしくは事前の危険箇所の抽出は、道路管理上も重要と言え、新たな調査法の開発が課題である。

そこで注目される手法の一つが、レーザー光を照射して、その反射光の情報から対象物までの距離や対象物の形状などを計測する技術（Light Detection And Ranging：以下 LiDAR）である。LiDARは多方向にレーザー光を照射する計測手法のため、植生の合間を通過したレーザー光により地表面の形状（グラウンドデータ）を点群データとして得られると期待される。さらに LiDAR 機器は近年小型化・軽量化がなされ、UAV 搭載型のほか、車両搭載型（Mobile Mapping System）、手で持ち歩きながら計測するハンドヘルド型（Hand-held Laser Scanner）等といった多様な計測の方法が可能となり、斜面での調査・点検等において効果的な活用が期待される⁶⁾。

本稿では季節（植生状況）の異なる3時期において、UAVに搭載されたLiDAR機器（以下 UAV-LiDAR）により斜面の点群データを取得し、植生による点群取得の影響評価及び植生下の地表面変状抽出に関する検討を行った。

2. 調査地域の概要

研究の試験地としたのは、平成8年の道路防災点検時にカルテ対象箇所であったが、その後対策施設の設置に伴いランク3となり、現在は特定土工点検が行われてい

る北海道内の海岸沿いの斜面（以下、対象斜面）である。対象斜面の標高はおおよそ170 m程度であり、標高約20 mまで新第三紀の安山岩溶岩、その上位の標高約110 mまで凝灰角礫岩層や火山円礫に富む火砕岩層、そのさらに上位に第四紀の安山岩溶岩が被覆する形で斜面を形成している。遷急線が概ね標高約50 m及び約110 m付近の2つ確認され、その傾斜角度は下部から、約50度、約35度及び約25度である。特に火砕岩層に巨礫が多く含まれており、そこから転石型落石が確認されている。なお対象斜面上には落葉広葉樹等が卓越しており、季節による植生状況の変化が大きいと言える。

3. 手法

(1) 点群データの取得

使用したUAV及びLiDAR機器はそれぞれ、DJI製Matrice 350 RTK及びFLIGHTS SCAN XT32である。対象斜面は比較的急傾斜のため360度全方位（回転）型LiDARセンサーであるFLIGHTS SCAN XT32を用いた（図-1）。データ取得時期は5月（春）、8月（夏）、12月（初冬）の3回とし、対地高度を一定とした地形追従での自動飛行（サイドラップ率75%）とした（表-1）。ただし5月は飛行高度を変更して2回飛行を行った。なお、5月と8月の飛行では斜面に対して縦断方向に往復、12月は横断方向に往復する飛行方法とした。なお5月16日対地高度50 m、5月16日対地高度70 m、8月26日対地高度60 m及び12月2日対地高度60 mで取得したデータについて、それぞれ250516H50、250516H70、250826H60及び251202H60と呼称する。



図-1 データ取得に使用したUAV及びLiDAR機器

表-1 取得したUAVデータの諸元

データ取得日	2025年 5月16日	2025年 5月16日	2025年 8月26日	2025年 12月2日
季節	春	春	夏	初冬
植生状況	2*	2*	3*	1*
対地高度	50 m	70 m	60 m	60 m
サイドラップ率	75%	75%	75%	75%
飛行方向	縦断方向 ↑↑	縦断方向 ↑↑	縦断方向 ↑↑	横断方向 ↺

*1: 落葉している。

*2: 樹木に緑葉がつく。

*3: 樹木に緑葉がつき、下層植生も繁茂している。

(2) 取得点群データの解析

取得した点群データはフリーソフトウェアのCloudCompare (v. 2.14 alpha) で解析を行った。点密度の解析はソフト内の Compute geometric features 機能の Surface density を用い、0.1 m 半径の円内の近接点の数に基づき 1 m²あたりの点数を求めた。

植生除去にはソフト内のCloth Simulation Filter（以下CSF）機能を用いた。CSFは点群データを上下反転させ、その上から仮想の布を被せ、各点群と仮想の布との最短距離に基づいて、地表面とその他を分類する手法である⁷⁾。CSF処理時の各種パラメータとしては、General parameter setting内でSteep slope及びSlope processingを選択し、分解能（cloth resolution）を0.25 mとし、その他はデフォルト値とした。

また2点群間の変状箇所抽出には、同じくソフト内のM3C2アルゴリズムを用いることによる、比較する2つの点群間距離の解析により実施した。

4. 結果・考察

図-2に取得したオリジナル点群データを示す。5月14日にはすでに落葉広葉樹には緑葉がついており、8月にはさらに緑化し下草も繁茂していた。一方で12月には落葉しており、点群取得と同時に取得される直下視の写真からは、木の枝の隙間からは転石等の地表面状態もある程度確認できる状態であった。

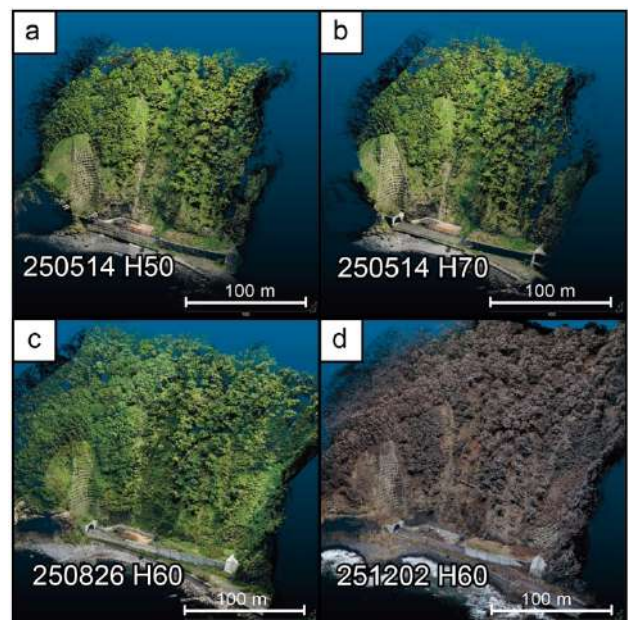


図-2 それぞれの時期に取得した対象斜面のオリジナル点群

(1) 飛行高度及び飛行方法の違いによる点群取得結果

それぞれの時期における飛行高度・方法の違いによる点群の取得状況（点密度）の違いを考察するため、データ取得範囲内の植生のない同一面積の平面（アスファル

ト面)における、それぞれの時期に取得された点群データの点密度のヒストグラムを作成し比較した(図-3)。

250516H50、250516H70、250826H60及び251202H60の、それぞれの対象とした平坦面における総点数は240,438点、172,044点、286,123点及び618,663点となり、点密度の中央値はそれぞれ605/m²、446/m²、668/m²、1496/m²となった。

250516H50と250516H70では約1.4倍の点密度の差があるが、これは対地高度の差により単位面積あたりのLiDARスキャン間隔が広くなり生じた可能性が高い。

一方、250826H60は250516H50より対地高度は高いものの点密度はやや大きい結果となったが、これは飛行経路等の設定が必ずしも5月と同じ経路ではないことによる誤差的な要因があると考えられる。

251202H60はその他のデータと比べて約2~3倍程度点密度が大きい結果となった。251202H60は斜面方向に対し唯一横断方向で計測を行なっている。今回用いたのはUAVの進行方向に対して直角方向にレーザを照射する回転型センサーのため、横断方向の往復とすることにより斜面に効果的に点群を照射できた可能性がある。

今回使用したのは回転型LiDARであるが、その他UAVに搭載される小型LiDARとしては、回転機構を持たずレーザーの照射角の範囲でレーザー光の走査を行う非回転型(Solid State式)もある。非回転型はレーザー照射角が限定されるため、特に急崖斜面の計測においては計測方向・範囲に注意が必要と言える。

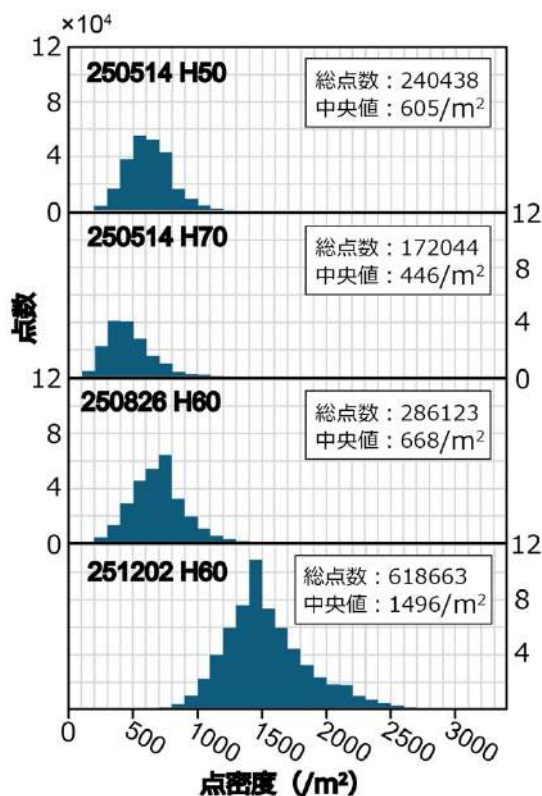


図-3 植生のない平面における点密度のヒストグラム

(2) 植生状況の違いの影響

図-4に斜面上の下草繁茂域及び落葉広葉樹範囲域(樹木域)における、それぞれの時期に取得されたUAV点群データのオリジナル点群とCSFによる植生フィルタリング後(グラウンドデータ)の色付き点群を示す。

下草域でのオリジナル点群データの点数は250516H50、250516H70、250826H60及び251202H60でそれぞれ127,678、87,373、114,082及び224,833となった。一方グラウンドデータはそれぞれ117,655、81,788、78,667及び190,520となった(表-2)。

樹木域ではオリジナル点群データの点数は250516H50、250516H70、250826H60及び251202H60でそれぞれ492,483、295,032、629,860及び1,124,016となった。一方グラウンドデータはそれぞれ52,469、34,388、53,101及び455,950となった(表-2)。

オリジナル点群のうちのグラウンドデータへの到達度を透過率として整理すると下草域においては250516H50、250516H70が90%を超える透過率であるのに対して、250826H60は約70%であり、さらに初冬時期の251202H60においても約85%と春の透過率より低い結果となった。251202H60の解析範囲に注目すると、植生のない樹木域に対して、下草域では夏場に繁茂した下草が立ち枯れ状態として残存している様子が確認できる(図-4)。積雪寒冷地ではこのような立ち枯れた植生は冬季の積雪により押しつぶされる。そのため、下草域においては一冬を超えた春季の方がグラウンドデータを得る上で適しており、地表面形状を正確に取得する上で有利と言える。

一方、樹木域では、5月の時点ではすでに緑葉に覆われており、その透過率は10%程度であった。また250826H60では地表面に透過する点数が少なくCSFフィルターがうまく機能せず、地表面を抽出できていない範囲も見受けられた(図-4)。落葉期の251202H60では約40%の透過率となり、春~夏時期取得のデータと比較して4~5倍程度の透過率となった。この40%透過率の場合、地図情報レベル500(点密度:400/m²)に準拠した飛行計画⁹⁾であれば、植生域においても100/m²以上の比較的高密度な点群を得ることができる。

以上の点群透過率の観点からは、特に北海道等の積雪寒冷地における精緻な地形データの取得において、樹木が落葉し、さらに下草が押しつぶされかつ繁茂前の状態の「春先」が斜面計測に最も適していると示唆される。

(3) 斜面変状の抽出について

図-5に250516H50及び251202H60の点群間の距離解析結果を示す。斜面上でまだ模様状に赤・青の箇所が散見されるが、必ずしも全てが変状を示しているわけではなく、植生が除去しきれなかったもの等の影響が散見されるため、特に植生域の斜面の解析においては点群間距離の抽出結果に加えて色付き点群等も見比べて評価する必

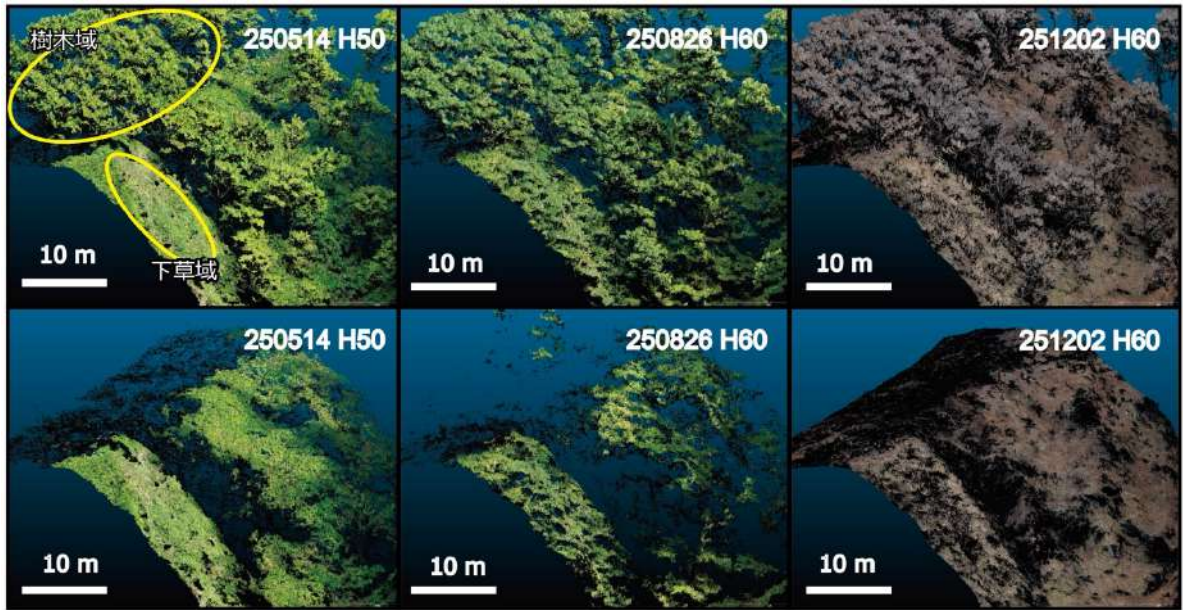


図-4 樹木域と下草域における各点群データ（上段：オリジナルデータ、下段：フィルタリング後のグラウンドデータ）

表-2 各点群データの植生影響による透過率

植生域 データ種類	下草域			樹木域		
	オリジナル(点)	CSF後地表面(点)	透過率%	オリジナル(点)	CSF後地表面(点)	透過率%
2025/5/16 対地高度：50 m	127678	117655	92.1	492483	52469	10.7
2025/5/16 対地高度：70 m	87373	81788	93.6	295032	34388	11.7
2025/8/26 対地高度：60 m	114082	78667	69.0	629860	53101	8.4
2025/12/2 対地高度：60 m	224833	190520	84.7	1124016	455950	40.6

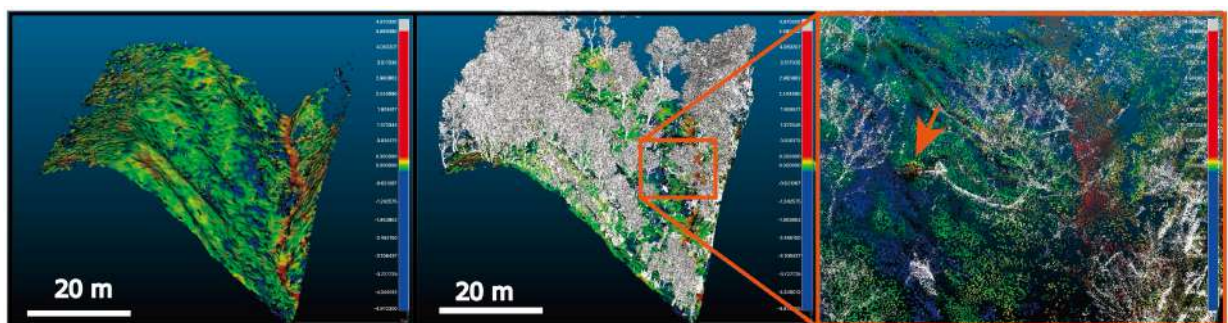


図-5 250516H50及び251202H60の点群データの点群間距離の解析による変状抽出結果

橙矢印は根倒れによる変状の可能性がある箇所を示す。赤及び青色は0.3m以上の点群間の距離がある箇所である。

要がある。その中で、明瞭な変化が確認されたのが沢部である。沢部溪床に沿って0.3 m程度の点群間距離が検出され、上流からの土砂流入・堆積があったことが示唆された。

また、根倒れしている樹木の地表面付近において、ス

ポットの的に変状の傾向が検出された（図-5 橙矢印）。これはフィルタリングにより分離した樹木要素もグラウンドデータに再投影することにより確証を得られるものであり、3次元点群を活用した変状抽出の強みと言える。

5. まとめと今後の課題

本報告では植生が卓越する斜面における LiDAR 点群を活用した効果的な斜面変状抽出手法の構築に向け、植生状況の異なる複数時期に取得されたデータ比較によりその植生影響評価を行った。結果を以下にまとめる。

- LiDAR 機器により取得される点群は、対象までの距離（UAV の場合は比高）によりその密度・精度が異なってくるが、さらに飛行方法（斜面に沿って横断・縦断方向への往復）によっても変化する場合がある。特に急崖斜面においては、取得したい地表面現象・解像度を考慮した上で、使用する機器の特徴・精度を踏まえて飛行方法を考えることが重要だろう。
- 落葉期における樹木域の点群の地表面への到達度合い（透過率）は 40%程度と、緑葉時期と比較して 4-5 倍となった。一方で下草域においては、初冬期では立枯れ状態のものが残存している影響から、その透過率は春よりも若干低い結果となった。以上の結果、透過率のみの観点においては、積雪寒冷地では樹木に緑葉が付く前かつ積雪・融解後の条件を満たす「春先」が、地表面データを取得する上で最も適していると示唆される。
- 同年 5 月と 12 月に取得した点群データの点群間距離の解析により、沢部の土砂堆積のみでなく樹木の根倒れに伴う地表面の変状と見られるものが検出できた。LiDAR 機器で取得される点群において、地表面データをを得る目的の場合、樹木はフィルタリングで除くが、それを調査・点検の新たな着目点としても挙げることも可能性として考えられるだろう。
- UAV-LiDAR の測量分野への運用においては、公共測量マニュアルも公表されているが、本検討のような急崖斜面の特に植生域においては、まだ検討例も多いとは言えず、今後も効果的な調査・点検への運用面を見据えた実証的な検討が必要だろう。

謝辞：現場調査の協力及び既往調査資料の提供を受けた北海道開発局の関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 全国地質調査業協会連合会：道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等) [改訂版] -DX 時代に向けたチャレンジ, p.145, 2022.
- 2) 日外勝仁、倉橋稔幸：UAV 撮影した岩盤斜面写真に対する背景差分法による変化箇所把握手法の開発、寒地土木研究所月報、第 830 号, pp.14-27, 2022.
- 3) 寒地土木研究所防災地質チーム：写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル（案）（令和 6 年 7 月版）, p.131. <https://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>（2026 年 1 月 5 日閲覧）.
- 4) 川又 基人、日外 勝仁：斜面点検における着目すべき落石を対象とした点群計測機器の適用性の検討、令和 7 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.269-270, 2025.
- 5) 例えば、国土交通省北海道開発局小樽開発建設部：管内国道の通行規制解除について（第 3 報：終報）
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ot/release/juthpp0000002vda-att/juthpp0000003sik.pdf>（2026 年 1 月 5 日閲覧）.
- 6) 西山 哲：災害に関する調査技術および調査データの活用 災害に対する調査・モニタリング技術の現状と今後の課題、地盤工学会誌、第 71 巻、pp.2-6, 2023.
- 7) Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing., 8(6):501, 2016.
- 8) 国土交通省国土地理院：UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）、p.57, 2018.