

(59) Mobile Mapping System で取得したレーザ点群の フィルタリングによる法面変状の定量化

佐守 直人¹・西山 哲²・崎田 晃基³

^{1,3}学生会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目 1-1)

E-mail: p9qz9emp@s.okayama-u.ac.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目 1-1)

近年、短時間強雨の発生頻度増加により法面崩壊の危機が高まっている。崩壊を未然に防ぐため、崩壊の予兆である変状を検出する点検が重要となっている。その法面点検は近接目視を主として行なわれている。この手法で得られた結果は技術者の経験や技量によるところが大きく、定性的な結果であるといえる。そこで構造物の形状を定量的に評価可能なレーザ点群を効率的かつ広域に取得できる Mobile Mapping System (MMS) を用いた。この MMS で取得した点群を差分解析手法という Iterative Closest Point (ICP) を応用した手法を用いて 2 時期間の変状の定量化を試み、法面点検の補助やスクリーニング手法として活用できるかを検討する。解析の結果、変状を抽出することができ、同時に行なったフィルタリングを用いた解析で変状を明瞭化させることができた。本手法は法面点検の補助としての活躍に期待できる。

Key Words: slope, point cloud, Mobile Mapping System, Iterative Closest Point,

1. 背景と目的

大雨や短時間強雨の発生頻度の増加により¹⁾、法面崩壊の可能性が高まっている。特に交通インフラに付随した道路法面が崩壊すると周囲に多大な影響を及ぼし、莫大な経済損失が生まれる。そのような状況を未然に防ぐため、崩壊の予兆である変状を検出する点検が重要となる。現在、日本の法面点検は対象物に接近して変状の有無や程度を観察する近接目視を主として行われている²⁾。そのため、この手法で得られた結果は技術者の経験や技量などによるところが大きく、定性的な結果である。点検する技術者次第で結果に違いが生じ、一様な結果が得られないことが課題となっている。

近年、構造物の形状を定量的に評価可能なレーザ点群を取得できるレーザスキャナを用いた測量が普及している³⁾。点群とは三次元座標である X, Y, Z(H) の位置情報やカメラの画像データから得た色の集合体である。取得した点群を回転、拡大・縮小させ、必要な箇所のみを切り出すことが可能である。定量的な座標値を有するため、点群は定量的なデータであり、法面の形状を定量的に表現できると考えられる。一般的なレーザスキャナは固定式であり、設置箇所周辺の点群のみを取得できる。広域に施工された法面などの構造物を計測する場合は、数回にわたり設置箇所を変更しなければならない。そこで本研

究ではレーザ点群を広域かつ効率的に取得できる車載型センシング装置(Mobile Mapping System, MMS)を使用し、点群を取得した。MMS は道路を普通走行することで車両周囲の点群を取得できるというセンシング機器である(図-1)。MMSによって取得された時期の異なる2つの点群を差分解析手法という解析手法により、その2時期間の変状の抽出を試みる。

本研究では MMS を使用して法面の点群を取得し、解析を行なうことで変状の抽出を試みた。法面の点群と解析の妨げとなる箇所を削除するフィルタリングを行なった点群で解析を行なう。これによって2時期間の法面の変状が抽出できるかを検証する。その結果、本手法が法面点検におけるスクリーニング手法として点検の補助になりえるかを考察する。



図-1 MMS が法面を計測している様子
(赤枠内が点群を取得するレーザスキャナ設置箇所)

2. 概要

本章では研究に使用した MMS と差分解析手法、対象法面について述べる。

(1) Mobile Mapping System

まずは計測機器である MMS について説明する。MMS とは連続的に高精度のレーザ点群が取得できる手法である。MMS のシステムは車両位置姿勢を計測するための GNSS (Global Navigation Satellite System) / IMU (Inertial Measurement Unit) / オドメトリ複合航法システムと車両周辺の情報を取得するシステムの 2 つに大別できる。前者のシステムのため、GNSS や IMU、オドメーターを有し、後者のためにレーザスキャナやカメラを有している。これらにより正確な道路周辺の三次元情報を取得できる⁴⁾。現在、MMS は道路施設の三次元地形図作成⁵⁾をはじめ、河川堤防の管理⁶⁾などで活用されている。

(2) 差分解析手法

続いて 2 時期間の点群から変状を抽出できると考えられる差分解析手法について説明する。差分解析手法とは SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれる自己位置推定と地図構築を同時に行なうスキャンマッチングアルゴリズムの一つの ICP (Iterative Closest Point)⁹⁾を応用した手法である。スキャンマッチングとは 2 つの点群の形状が一致するように位置合わせする技術のことである。まず ICP のアルゴリズムについて説明する。まず点群をメッシュと呼ばれる正方形の格子に区切る。2 時期間の点群でそのメッシュと同位置の点群で対応付けを行ない、点群全体で位置の最適化（回転移動と平行移動）を行なう。この対応付けと最適化のセットを繰り返し、2 つの点群でそれぞれの距離が最も近づいた際にアルゴリズムを終了する。差分解析手法では、この ICP 終了時の点群状況を応用する。2 つの点群で対応付けられている点の座標値を比較し、ベクトルとする。そしてそれぞれのメッシュ内でベクトルの平均値を取り、その値をメッシュの変化量とみなす（図-2）。このようにすることで変化量をベクトルで表すことができると考えられる。

(3) 対象法面

点群を取得する対象の法面（図-3）について説明する。計測の対象としたのは国道 9 号線沿いの全長約 70m、高さ約 10m の法枠付き法面である。法面上には検証に用いるターゲットを設置している。このターゲットは 1 辺 0.7m の正方形で合計 14 個を設置した。そのうちの 8 点を調整用基準点として法面全体を囲むように、6 点を検証点として設置した。調整用基準点とは取得した点群のずれを補正するために使用する点のことである。

MMS で取得した法面内にある調整用基準点の座標をトータルステーション (TS) で取得した座標に当てはめ、補正する。本検証で使用する点群はすべて補正を行なったものである。また検証点とは MMS の点群取得精度を検証するために設置したターゲットである。本研究で用いた MMS の点群取得精度は、固定式のトータルステーションを真値として、地面と水平方向で 25 mm、標高方向で 30 mm であった。この値は平均二乗誤差であり、比較した MMS で取得した点群は調整用基準点を用いて補正を行なったものである⁷⁾。

3. 検証方法

法面から変状抽出する検証概要と方法について述べる。

検証の概要として計測時期、計測方法について説明する。1 時期目の点群取得時期は 2018 年 1 月 13 日、2 時期目は同年の 5 月 28 日とした。MMS 搭載の車両は 50 km/h で対象法面との距離が約 12 m である追い越し車線を走行し、法面の点群を取得した。

変状抽出を行なう検証方法について説明する。対象を法枠内の A, B, C, D の 4 つの法枠として、変状の供試体を設置し、その変化の様子を確認する（図-4）。まず A から D の法枠について説明する。1 時期目の計測時、これらの法枠には何も設置せず、2 時期目の計測時には以下に記述する供試体を設置した。A の法枠にははらみ出し

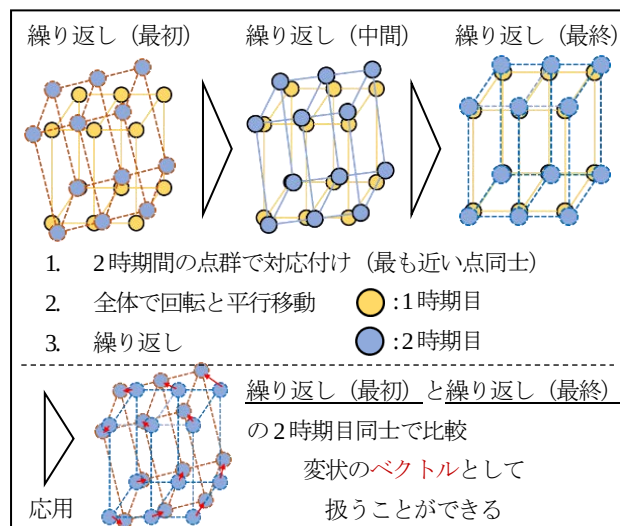


図-2 ICP と差分解析手法のアルゴリズム

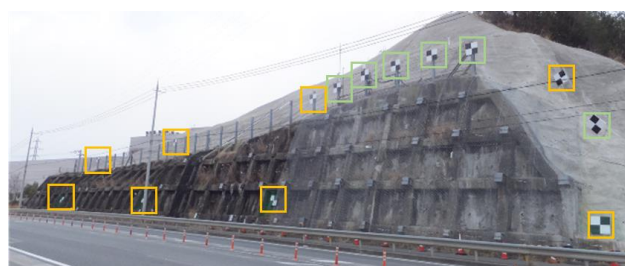


図-3 検証法面の全景（黄枠：調整用基準点、緑枠：検証点）

を模した厚さ 20mm のシート、B には厚さ 10mm のシートを設置した。C には法面の表面を 40mm ほど削る、はつり落としを行なった。D の法枠には変状の供試体を設置せず、2 時期間で変化の様子が表れないことを確認する。これらの法枠を 2 時期間で解析した際にそれぞれの変状が表れることを期待する (図-5)。またこの 4 つの法枠で解析を行なったのちにフィルタリングを行ない、再度解析を行なう。本検証ではそれぞれの法枠点群から法面に存在する植生や計測の際に発生したであろうノイズなどの点群を除去する。フィルタリングを行なった前後の解析結果を比較して、それぞれの評価を行なう。解析を行う際のメッシュサイズは 0.1m とした。

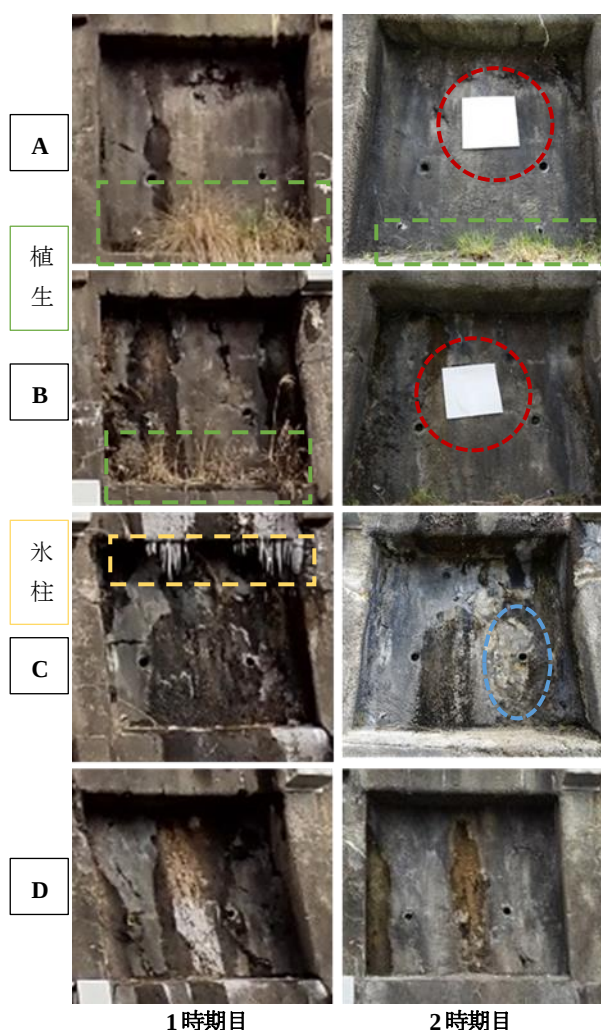


図-4 変状の供試体を設置した法枠

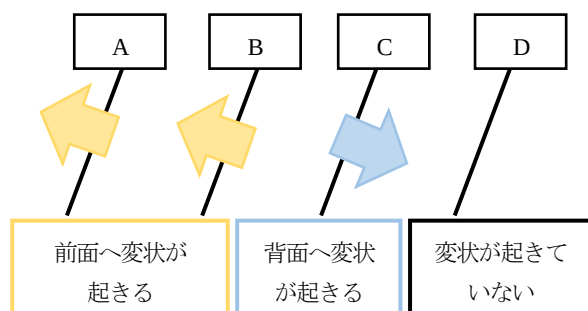


図-5 期待される法面変状

4. 検証結果と考察

対象とした法枠の解析結果、その考察を述べる。結果は以下に示している (図-6, 7)。変化の大きさをヒートマップ (青色から赤色に近づくほど変化量が大きい) で表し、法枠の右側にある値が変化量である (単位は m)。

結果の図を比較する。フィルタリング前は植生などの設置した変状以外の変化が表れている。期待した変状はわずかであるが、確認できる。フィルタリング後は植生などの変化がなくなり、求める変状が明瞭化された。

以上より MMS で取得した 2 時期間のレーザ点群は差分解析手法を用いることで変状を抽出できることが確認できた。そして必要箇所のみを抽出するフィルタリングを行なうことで変状を明瞭化することも確認できた。本手法は法面点検の補助としての活躍が期待できる。

本手法は法枠ごとの管理を行なうことで今後の維持管理で効果を発揮すると考えられる。法面それぞれの法枠に番号を与え、変状を抽出し、経年ごとの変化の様子を蓄積していくことで補修や点検のタイミングを容易に判断することができるのではないかと。

また本研究の今後の展望として、変状の定量化の精度向上があげられる。変状の進行具合を正しく知ることによって今後の維持管理に大きく貢献できるのではないだろうか。

謝辞：本研究にあたり、国際航業株式会社にはご協力いただき、感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省 気象庁：気候変動監視レポート 2020, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020_all.pdf>, (入手 2021 年 6 月 12 日)。
- 2) 国土交通省 道路局：道路土工構造物点検要領, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/ty_h2908.pdf>, (入手 2021 年 6 月 12 日)。
- 3) 国土交通省 国土地理院：地上レーザスキャナを用いた公共測量, <<https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/public/tls/index.html>>, (入手 2021 年 6 月 12 日)。
- 4) 橘菊生, 間野耕司, 島村秀樹, 西山哲, : 河川堤防計測へのモバイルマッピングシステムの適用, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No.4, pp.166-177, 2015.
- 5) 末久博行：高規格計測車両を用いた道路施設計測, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 47, No. 5, pp.28-31, 2008.
- 6) Besl, P.J and McKay, N.D, : A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.14, No.2, 2019, pp.239-256.
- 7) 佐守直人, 西山哲, 崎田晃基, 藤木三智成, 小野尚哉：Mobile Mapping System によるレーザ点群データを用いた法面変状の定量化, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol. 45, pp.97-100, 2020.

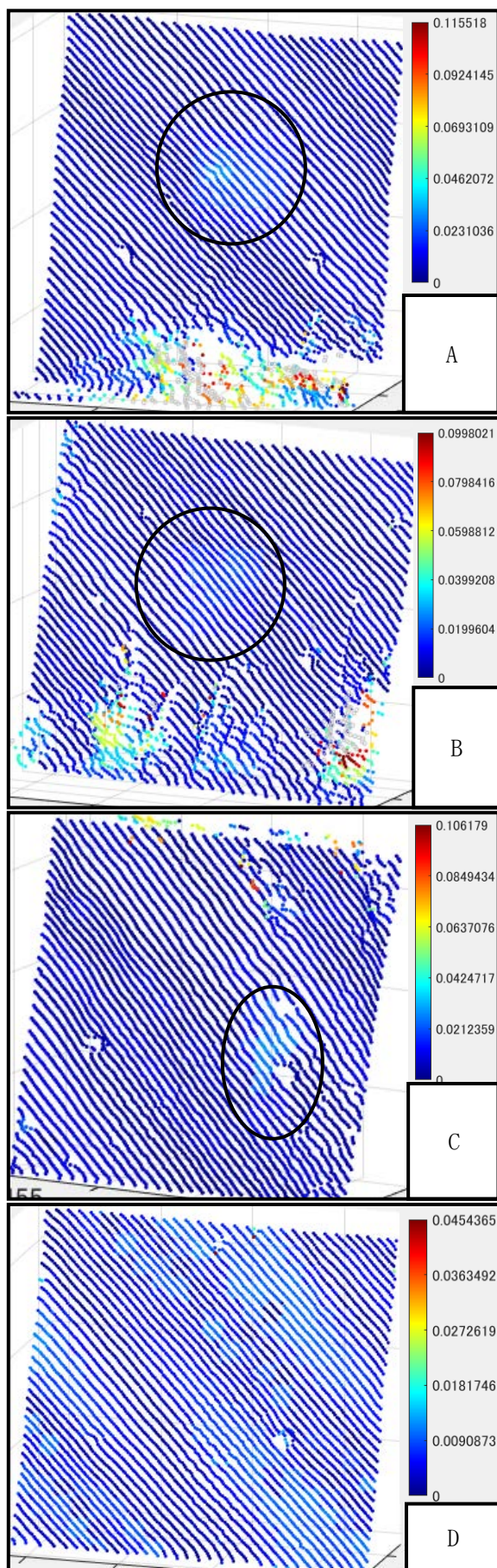


図-6 フィルタリング前の法枠の解析結果
黒枠は変状を設置した箇所

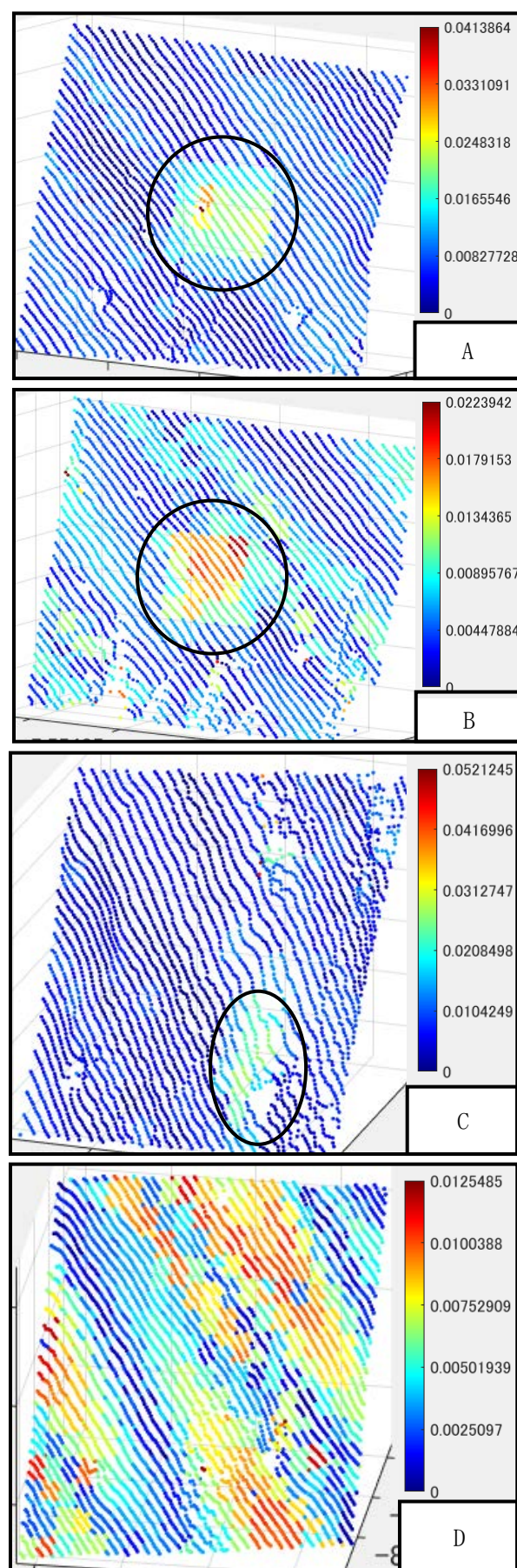


図-7 フィルタリング後の法枠の解析結果
黒枠は変状を設置した箇所