

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

岡山大学大学院 学生会員 ○佐守 直人
 岡山大学大学院 正会員 西山 哲
 岡山大学大学院 学生会員 崎田 晃基
 国際航業株式会社 正会員 藤木 三智成
 国際航業株式会社 小野 尚哉

1. 背景と目的

日本国土の約7割は山地・丘陵地が占めている¹⁾。約50年前に迎えた高度経済成長時にこれらの山を切土し、断面に法面保護工を施すことで日本の道路交通網を発展させていったが、現在これらの法面は老朽化・劣化しつつあり、劣化度合を判断するため法面の変状を把握することは重要である。変状とは参考資料2によるとはらみ出しやクラック、法面の破断などのことである。近接目視を主とした触診や打音検査を含む非破壊検査を用いた点検手法である。得られた点検結果は現場技術者の経験や技量によるところが大きいため、別の技術者が同現場で点検をした際に異なる結果となる可能性があり定性的な点検手法であるといえる。

現在、法面の形状を定量的に評価可能な点群データ(X, Y, Z(H)の座標を有する3次元データ)を取得できるレーザスキャナを使い、近接目視の補助、変状抽出のスクリーニングとしての活躍が期待されている。このレーザスキャナを車両に搭載することで走行車両による点群取得を妨げられず、対象の点群を面的に取得できるという利点を得られる。定性的であるという課題に対してこの移動計測車両による測量(Mobile Mapping System, MMS)と得られた点群の変状を検出できると予想される差分解析手法の導入を提案する。本研究の目的をMMSと差分解析手法を用いて法面の変状を検知することとして、MMS測量で取得できる点群の精度検証、差分解析手法で得られた変状の抽出精度検証の2つを行い、実際に変状が起きていると予想される法面に本手法を用いて、その変状を確認できるか検証する。

2. 検証手法

MMS測量(図1)とはGNSS(Global Navigation Satellite System)測量機、慣性計測装置、走行距離計、レーザスキャナ装置などの機器を組み合わせることで車両に搭載し普

通走行しながら、道路周辺の地形・地物に関する三次元位置情報を効率的かつ迅速に取得できる測量手法である。差分解析手法は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う技術を用いたスキャンマッチングアルゴリズムの1つのICP(Iterative Closest Points)を応用した手法である。スキャンマッチングとは2つのスキャン(点群)の形状が一致するように位置合わせをする技術のことでICPは2つのスキャンの対応付けと位置の最適化を交互に繰り返すことで点群のマッチングを行う方法である。このICPを応用し差分を求められる解析手法を差分解析手法とする(図2)。MMS測量で得られた2時期の点群を差分解析手法を用いることでその間に起きた法面の変状を抽出できると考えられる。



図1 MMS 測量の様子

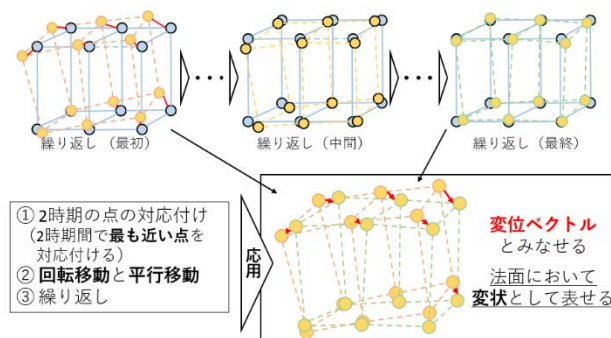


図2 差分解析手法のアルゴリズム

キーワード 法面, 点群データ, MMS, 差分解析手法

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1 407 TEL 080-6264-4760

3. MMS 測量の実施概要

本研究ではレーザスキャナ（位相差式で 1 秒間に 100 万点スキャン）、GNSS アンテナ、走行距離計などを搭載した車両を使用した。MMS データは移動しながら点群を取得するため、固定された状態で取得するトータルステーション (TS) よりも誤差が大きくなると考えられる。本研究では TS で取得した座標を MMS 測量データに対する真値と仮定して MMS 測量データの誤差を求める。TS は 1 点を高い精度で求められるため MMS 測量で取得できる点群の精度検証で使用した。

本研究では目視点検によって地すべりの可能性があると判断された国道 9 号沿い全長約 70m の法枠付き法面を対象とした（図 3、4）。2016 年 5 月 1 日に図 3 の赤枠で囲われた点でアンカー頭部保護コンクリート片が車道に落ちる事故が発生した。その後、各種調査観測が実施され目立った変状拡大は認められないが、アンカー破断箇所周辺の法面が起点側に変位する変動形態が想定され、この法面は地すべりの可能性のある法面と判断された。そこで本研究で抽出すべき法面の変状を地すべりの兆候であるはらみ出しと定義し、はらみ出しを本手法で確認できるかを検証する。MMS で取得した点群はそれぞれ一定の誤差を含む。この誤差を除去するため調整計算を行う。法面上に調整計算で用いるターゲット (TG) を法面全体を囲むように 8 点設置した。また法面の変動を確認するための基準用ターゲット (KS) を変動の恐れがある起点側に 6 点設置した。



図 3 研究対象の法面（起点側）



図 4 研究対象の法面（左：終点，右：起点）

4. MMS 測量データの精度検証

MMS, TS を用いた対象法面およびターゲットの計測は 1 時期目を 2018 年 1 月 13 日、2 時期目を同年 5 月 28 日に行った。MMS は図 4 の矢印の車線（対象法面との距離は約 12m）を走行し、法面とターゲットの点群を同時に取得した。MMS で所得した点群は Cloud Compare というソフトウェアを用いてターゲットの中心に最も近い点を取得した。この手法で取得した点と TS で取得した KS の 6 つのターゲットの中心座標の差を取り、図 3、4 にまとめた。平均較差と RMS 誤差（平均二乗平方根）を表した。平均較差は TS と MMS のそれぞれの座標の差を示し、RMS 誤差は点群の X, Y, Z 方向のそれぞれの差分を最確値としたばらつきを示す。

$$RMS = \sqrt{(\sum DIS^2)/n}$$

RMS：平均二乗平方根，DIS：較差

図 5 に調整計算を行っていないオリジナルデータと TS データ、それぞれの座標で差を取り、平均較差と RMS 誤差の結果を示す。平均較差は MMS 測量の持つ系統誤差を示し、RMS 誤差は MMS 測量の持つ誤差を示す。オリジナルデータの誤差は地面と水平方向の ΔXY で 20mm 未満、高さ方向の ΔZ で 30mm 未満という結果を得た。図 6 には調整計算データの結果を示す。MMS の調整計算データの誤差は ΔXY で 25mm 未満、 ΔZ で 35mm 未満であった。続いてオリジナルと調整計算のデータの比較を行う。調整計算データはオリジナルデータに比べ ΔZ の平均較差の分散を抑え、系統誤差を打ち消しているが、RMS 誤差は大きくなり精度が下がってしまった。これは TG を調整計算に用いたため、それ以外の KS の点で誤差が大きくなったと考えられる。MMS 計測データは水平方向で 0.70m、標高方向で 0.33m 未満であり地図情報レベル 1000 に達しているため、良好な精度のデータが得られたといえる。

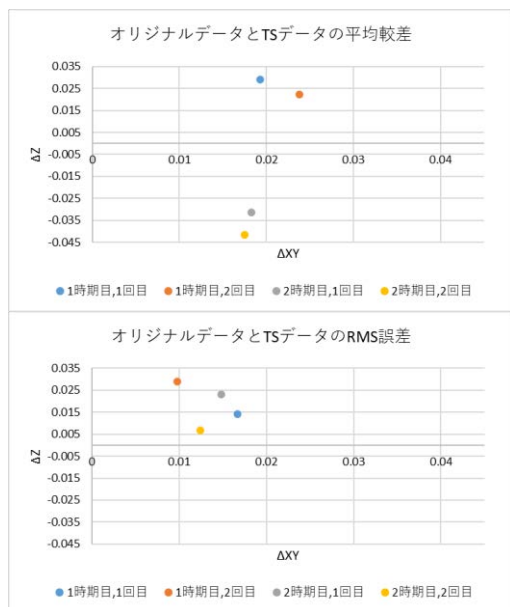


図5 オリジナルデータ結果 (単位 : m)

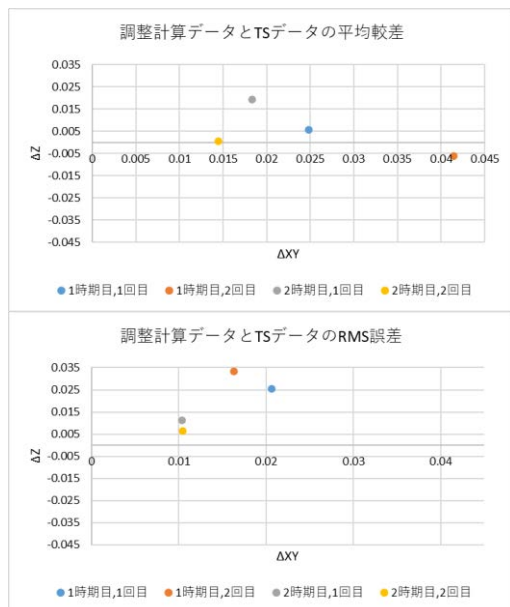


図6 調整計算データ結果 (単位 : m)

5. 差解析手法の精度検証

差解析手法の変状の検出精度を検証した. 4つの法枠に一定の変状を与えられるシート設置やはつり落とし(模擬変状)を行った. 1時期目は法面に変状を与えず対象をMMSで計測し, 2時期目に4枠に模擬変状を与え, その2時期間の変状を求める(図7). 2時期目の法枠1には模擬変状を与えず, 法枠2には一部のコンクリートを削り最大40mm程度のはつり落としを与えた. 法枠3, 4には10mm, 20mmのシートを設置した. これらを2時期で解析することで図8のような結果を得られるかを検証する. また図9には解析結果の断面図を示す. 法面表面に書かれた数値は変状量, 矢印は変状の向きと量を表す. この結果より10mm程度のはら

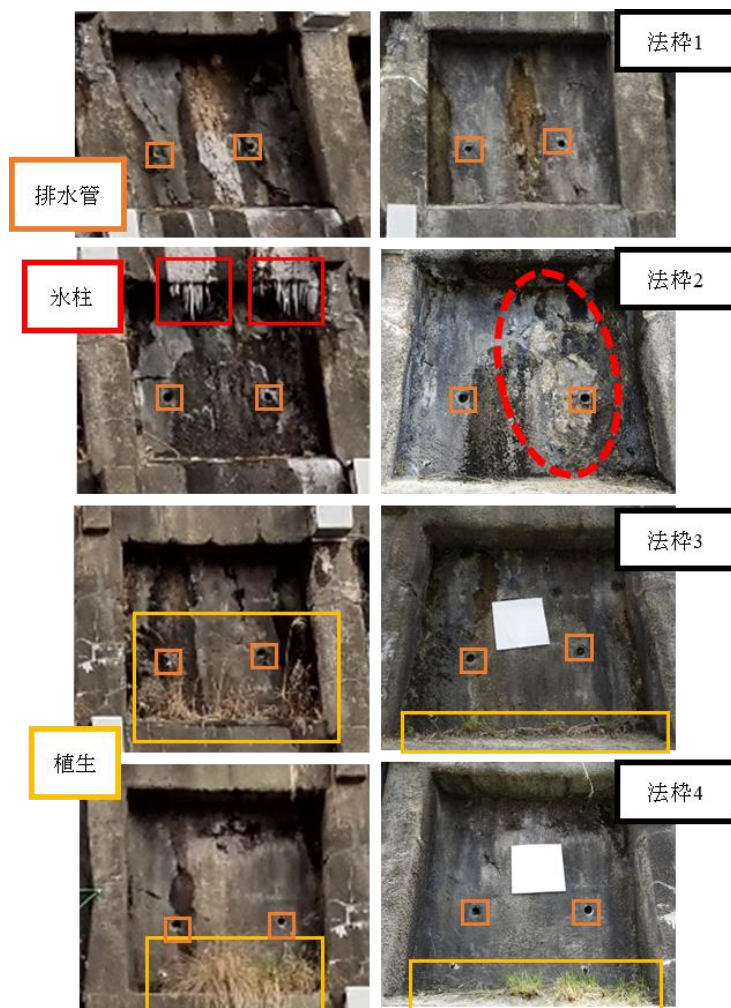


図7 法枠に与えた模擬変状の2時期の様子

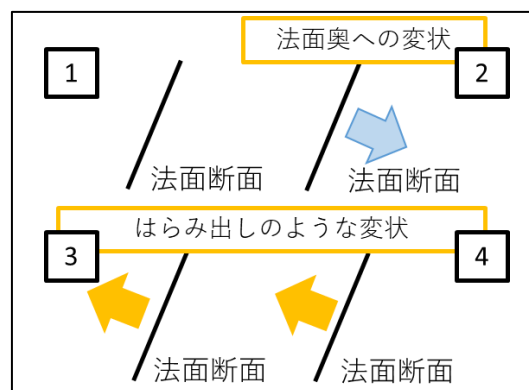


図8 予想される解析結果

み出しは変状として確認できることが分かった.

この結果を用いて変動が疑われている起点側の法面に対して差解析手法を用いて変状を抽出した. 3のMMS測定の精度検証と同時期の2018年1月13日, 同年5月28日に取得した調整計算を終えた点群データに解析を行った. またこの範囲の法面のKSのターゲット中心座標をTSで測定した結果, 2時期間の平均較差は平面方向で2mm, 高さ方向で-1mm, RMS誤差はそれぞれ1mmであり, 機械誤差程度であったため, この法面には変動が生じていないことが確認できた. そこで

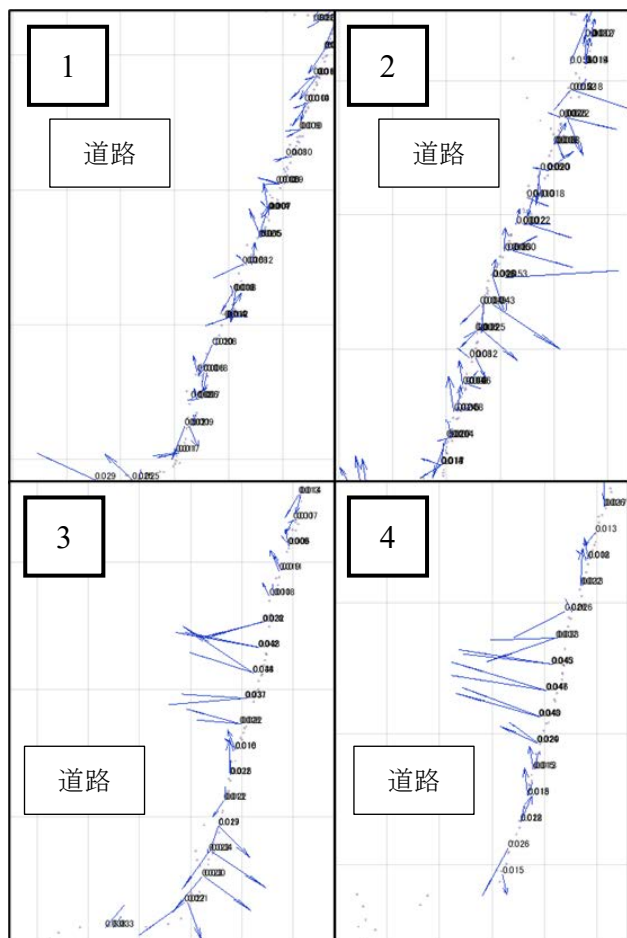


図9 法面断面の解析結果

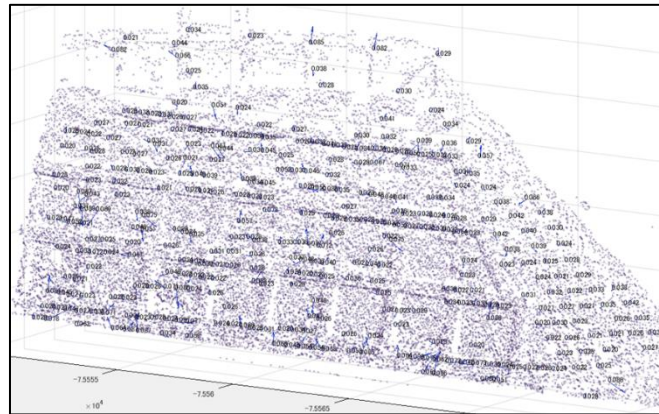


図10 対象法面の解析結果

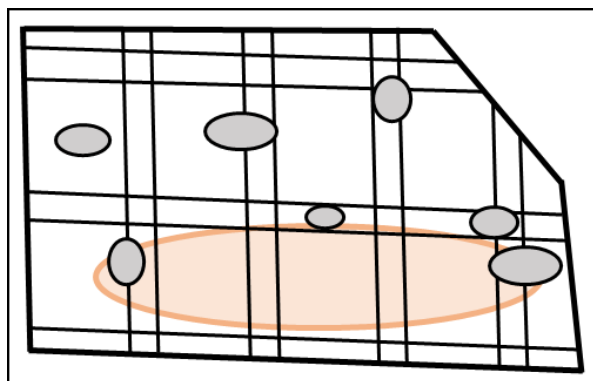


図11 はらみ出しが起きた場合の法面の様子

MMS で取得し差分解析手法で求められた結果の変状が起きていないことを確認する。

MMS で取得した2時期の点群データを解析した結果が図10である。変状の向きを矢印の向き、変状の大きさを矢印の大きさ、数値で表している。もしこの法面が実際にははらみ出しを起こしている場合、図11のように広域に変状が表れると予想される。本研究対象の法面の解析結果は全体に植生や氷柱による誤差、前述のMMS 計測のデータが持っている誤差などが全体に表れてはいるものの、図11のように広域に前面へ変状が起きていないことが確認できる。これによってMMS 測量で取得した点群を用いて差分解析手法で変状を求めることができることが分かった。

6. 結論

本研究は MMS と差分解析手法を用いることで法面の2時期間の変状を検知できるかを目的とし、2つの検証を行った。1つ目はMMS 測量で取得できる点群の精度の検証と2つ目は差分解析手法で得られる変状の検出精度の検証である。

MMS 測量における誤差はTS 測量値を真値とするとRMS 誤差を真値とすると RMS 誤差を用いて水平方向で20mm 未満、高さ方向で30mm 未満で調整計算を行ったデータではそれぞれの方向で30mm 未満と、地図情報レベル1000と同程度でよい精度で点群を得られることが分かった。差分解析手法で得られる変状の検出精度は約10mm 程度のはらみ出しを模した変状と約40mm 程度の欠落を模した変状を検出することができた。この2つの検証結果よりはらみ出しの可能性を持っている法面は、はらみ出しが起きていないことが分かった。差分解析手法についてはMMS で取得できる点群の誤差を調整計算で補正することで精度が向上していくと考えられる。MMS で取得できるデータはすべて系統誤差が含まれており、この誤差を計測範囲周辺に設置したターゲットを用いて、取り除くことで変状箇所を抽出することができる。今後は法面の2時期の解析で変状量の精度の向上について検証する余地がある。

参考文献

- 1) 一般財団法人 国土技術研究センター, 国土を知る, <http://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary07>, 2020年3月30日取得
- 2) 国土交通省 道路局, 道路土工構造物点検要領, p. 7, https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/ty_h2908.pdf, 2020年3月30日取得