

車載型センシング装置を用いた道路法面の変状抽出法

岡山大学 環境理工学部	学生会員	○三崎 貴雄
岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学院	個人会員	西山 哲
岡山大学大学院 環境生命自然科学研究科	学生会員	秋田 庄亮
岡山大学大学院 環境生命自然科学研究科	学生会員	茨木 克博

1. 背景と目的

日本は約50年前に高度経済成長期を迎えた。その期間に道路交通網を発展させるため、国土の約四分の三を占める山地や丘陵地を切り開き、断面に法面保護工を施すことで道路を増設していった。現在、法面は地下水の飽和・不飽和の乾湿の繰り返しによって、風化・劣化し、強度が低下している。また近年は地球温暖化に起因する線状降水帯の発生により、全国的に短時間豪雨の発生頻度が増加している(図-1)。短時間豪雨によって法面内部へ地下水が大量に侵入することで法面崩壊の可能性が高まる。交通インフラに付随した法面が崩壊することで交通を遮断することとなり、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にも、崩壊の予兆である変状を抽出する点検が重要となる。現在、日本の法面点検は近接目視を主として行なわれている。近接目視とは、対象物に接近して変状の有無や程度を観察する方法である。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い、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データ(以下、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。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情報(RGB)の集合体である(図-2)。取得した点群はそれぞれの点に値が与えられているため、必要な箇所のみを切り出すことが可能である。点群は定量的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。そこで本研究では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)(図-3)を使用した。MMSとは道路を普通走行することで車両周囲の点群を面的に取得できるセンシング機器である。現在、道路施設の3次元地形図作成をはじめ、河川堤防計測、道路維持管理などで活用されている。この計測によって取得された時期の異なる2つの点群をICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムを応用した解析手法により2時期間の変状抽出を試みる。

本研究ではMMSで2時期間の法面の点群を取得し、ICPによる解析で変状抽出の検証を行なった。検証結果により、本手法が法面点検における補助、スクリーニング手法として、活用できるかを考察する。

2. 研究概要

(1) Mobile Mapping System

MMSとは車両で走行しながら連続的に高精度の点群が迅速に取得できるセンシング機器である。本研究では計測用ポット(レーザスキャナ, GNSSアンテナ2機, 400万画素スポットカメラ8台), 走行距離計, 慣性計測装置, 車内には解析ソフトとしてInertial Explorer, Radmin, AutoPを一式搭載したMMS車両を使用した。レーザスキャナは位相差式で1秒間に100万点スキャンできるものを使用した。

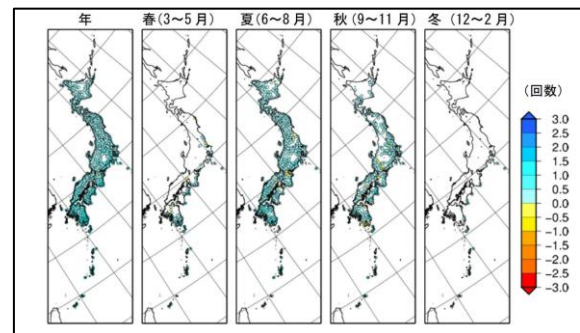


図-1 短時間強雨の発生回数の増加。年及び季節ごとの1時間降水量50mm以上の発生回数の将来(2076~2095年)変化(出典:気象庁,地球温暖化予測情報第9巻)



図-2 法面のレーザ点群データ



図-3 MMSを用いて法面点群を取得している様子

キーワード MMS, ICP, スクリーニング

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3丁目1-1 岡山大学環境理工学部棟 Tel 080-7838-5947

(2) Iterative Closest Point

ICPのアルゴリズム内容について説明する。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内と同位置の点群で最も近い点群同士を結びつけ（対応付け），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つの点群で距離が最も近づいた際にアルゴリズムを終了する。2つの点群で対応付けられている点の座標値を比較しメッシュ内でベクトルの平均値をとり，その値をメッシュの変化量とみなす（図-4）。2時期間の変状をベクトルで表すことができると考えられる。

(3) 対象法面と計測概要

計測対象としたのは国道9号沿いの全長約70m，高さ約10mの法枠付き法面である（図-5）。法面上には1辺0.7mの合計14点のターゲットを設置した（図-6）。8点を調整用基準点（TG）として，6点を検証点（KS）として設置した。TGとはMMS計測にて取得した点群のずれを補正するために使用するターゲットのことである。TG座標をトータルステーション（TS）で取得した座標に変換することで点群全体のひずみ（系統誤差）を補正する。本研究ではTGによる補正を行なった点群を使用している。KSはMMS計測で取得した点群の精度を求めするために使用するターゲットのことである。

MMS計測時の条件について述べる。1時期目を2018年1月13日，2時期目を同年の5月28日として，約4か月の期間を空けて計測を行なった。MMS車両は対象法面との距離が約12mである車線を時速50km/h走行し，法面の点群を取得した（図-7）。



図-5 計測対象とした法枠付き法面

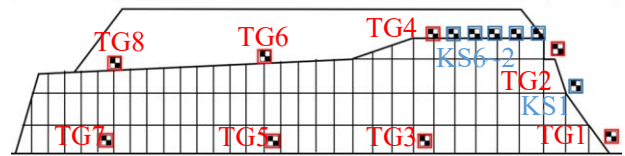


図-6 法面上に設置したターゲット一覧

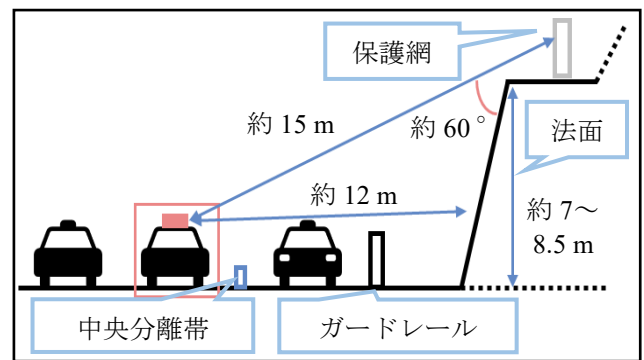


図-7 計測時のMMS車両と対象法面の関係

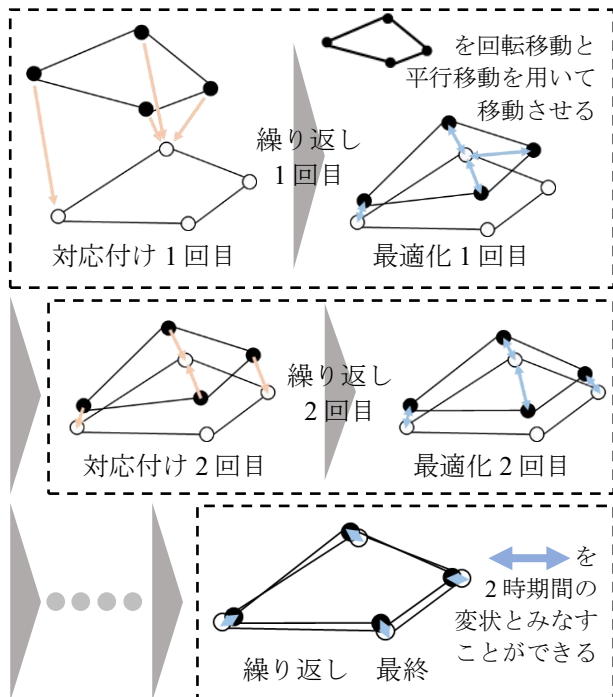


図-4 ICP アルゴリズムによる変状量算出の仕組み

3. MMSに関する検証

MMS計測の点群取得精度を求める。TS計測で得た座標値を真値として，MMS計測とTS計測で取得されたKSの中心座標を比較することでMMS計測の点群の精度とする。点群の座標値はX, Y, Zで平面直角座標系のVI系で表す（図-8）。取得したKSの中心座標を以下の式で表す。

$$DIS = OBS - TV \quad (1)$$

$$\overline{DIS} = \frac{\sum DIS}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum DIS^2}{n}} \quad (3)$$

ここでDIS：較差，OBS：観測値，TV：真値， \overline{DIS} ：較差の平均値，n：検証点数，RMSE：平均二乗誤差（Root Mean Square Error）とし，RMSEをMMS測量の誤差とする。 \overline{DIS} はMMS計測とTS計測で得た座標の差を表し，RMSE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表す。表-1はMMSで計測したKSの座標値からTSで計測した座標値を引いた較差を表示している。これらの座

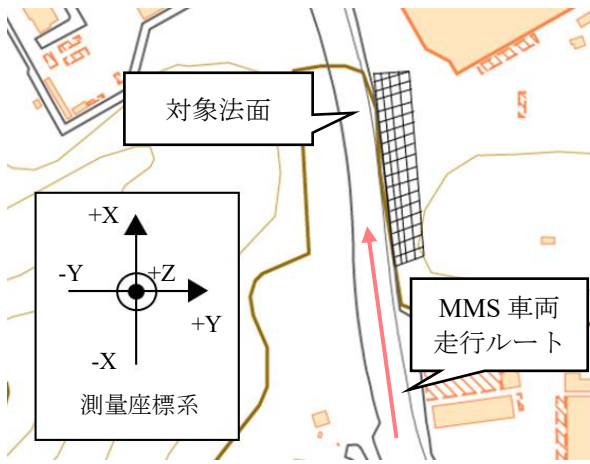


図-8 対象法面とその測量座標系

表-1 MMS 計測の KS 座標値から TS 計測の KS 座標値を引いた較差 (単位は m)

MMS 計測- TS 計測	較差			総計	
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔXY	ΔZ
KS1	-0.041	-0.021	0.014	0.046	0.014
KS2	-0.001	-0.029	0.053	0.029	0.053
KS3	-0.015	-0.004	0.034	0.016	0.034
KS4	0.005	-0.023	0.052	0.024	0.052
KS5	0.012	-0.001	-0.014	0.012	-0.014
KS6	-0.003	-0.011	0.012	0.011	0.012
平均値	-0.007	-0.015	0.025	0.023	0.025
最大値	0.041	0.029	0.053	0.046	0.053
RMS 誤差	0.019	0.011	0.026	0.013	0.026

標値はそれぞれ 1 時期目の値である。以上の結果より、MMS 計測で取得した点群は ΔXY 方向 (地面と水平方向) で 13 mm, ΔZ (地面と垂直方向) で 26 mm であることがわかった。

4. ICP に関する検証

MMS 計測によって得られた点群を用いて ICP 手法の変状抽出の検証を行った。対象法面の法枠 4 つを使用し 1 時期目にはそのままの法面点群を MMS 計測にて取得し、2 時期目には模擬変状を与えて、それを ICP 手法により検出できるかを検証する。

法枠内に設置した模擬変状について説明する (図-9)。法枠 A は 1 時期目と 2 時期目ともに模擬変状を設置せず、解析の結果、変状が検出されないことを確認する。法枠 B の 1 時期目には模擬変状を設置せず、2 時期目には全長約 1 m で深さ最大 40 mm 程度で表面のコンクリートを削る、はつり落としを法枠中央右付近に行なった。法枠 C, D では 1 時期目に模擬変状を設置せず、2 時期目にはそれぞれ厚さ 10 mm, 20 mm の一辺 0.5 m のシートを設置した。以上を ICP 手法がどの程度の変状を抽出できるかを

検証する。また図-9 の通り、法面上には氷柱や植生などの点群が存在している。そこで、これらを除去するフィルタリングを行ない、解析を行なう。

結果は図-10 の通りである。それぞれ予想していた通り、法枠 A では変状が抽出されず、法枠 B, C, D でははつり落としを行なった箇所、シートを設置した箇所が変状として表れている。

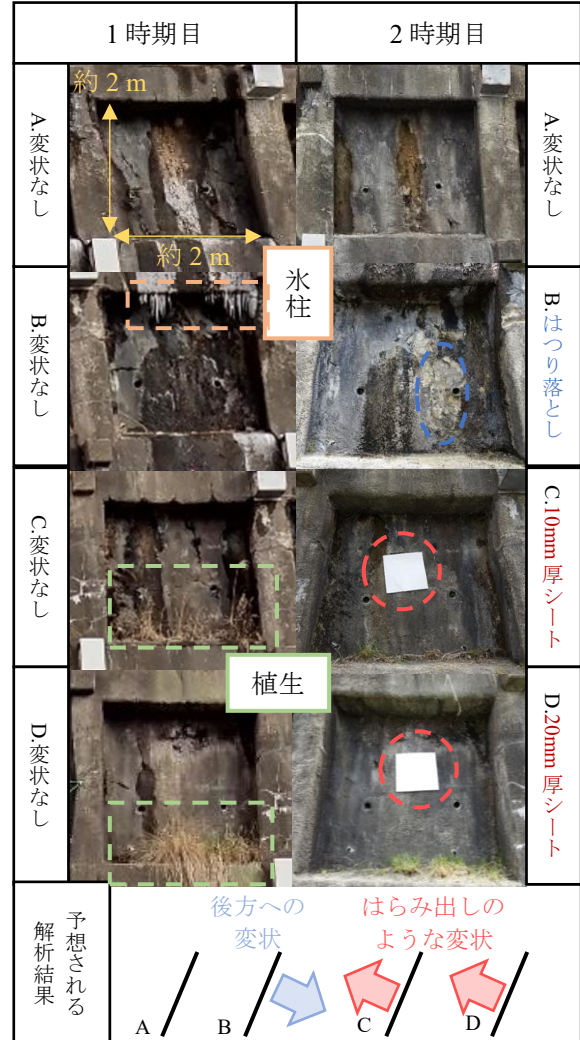


図-9 法枠内に設置した模擬変状と予想される解析結果

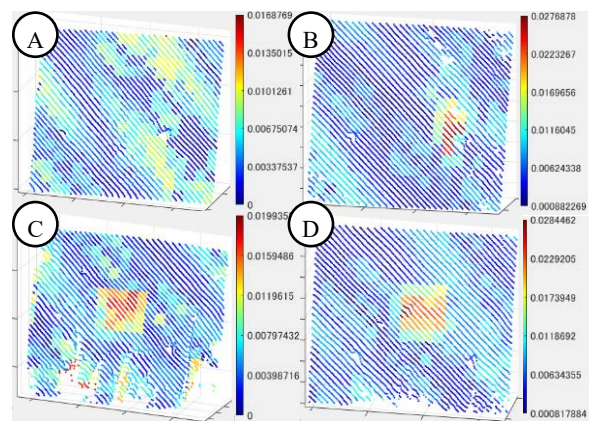


図-10 2 時期間の模擬変状の解析結果 (単位は m)

5. アンカー設置後の法面変化抽出の検証

本法面は2時期目計測後、アンカーを打設した。その後の2019年7月10日にMMS計測を行ない、点群を取得した。この点群を3時期目の点群として、1時期目の点群と比較することでアンカー打設前後の変化を抽出できるか検証した。アンカー打設前後の法面の变化点は法枠交点のアンカーキャップの撤去、法枠内アンカーの新設である(図-11)。

その解析の結果は図-12の通りである。これらの点群は可能な限り植生や電線の点群、MMS計測時のノイズの点群を削除し、変状を上限0.5m、下限-0.5mで表示している。まず法枠内アンカーを新設した箇所に着目する。法枠の下から3段目の箇所においては植生の影響もあり、十分な変状としてとらえられていないものの、アンカーを新設した箇所を法面前面に変位する変状として抽出することができている。続いて法枠交点のアンカーキャップについて着目する。1時期目には設置されており、3時期目からは撤去されたため、法面後方へ移動した変状として抽出されている。また法枠交点で1時期目でキャップが存在していない箇所は変状として抽出されていないことが確認できる。

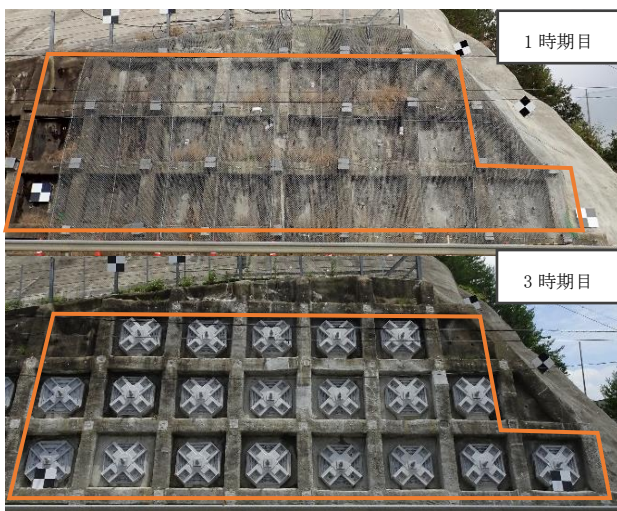


図-11 1時期目と3時期目の法面の様子

6. 結論

本研究では現在の法面点検において定性的であることと効率性に関して課題があることを背景として、MMSで取得した点群を使用し、ICP手法で法面の2時期間の変状抽出を試みた。この一連の手法により、法面点検の補助、スクリーニング手法としての活用が期待できるかを目的として、MMSとICPに関わる2つの検証を行なった。

1つ目の検証ではMMS計測で得られる点群の精度を求めた。その結果、MMS計測の精度はRMS誤差で表し、地面と水平方向(ΔXY)で13mm、標高方向(ΔZ)で26mm以下であった。

2つ目の検証では模擬変状を用いて、ICP手法で2時期間の法枠の比較をすることでこれらの変状を抽出できるかを検証した。その結果、ICP手法で10mmの厚さ、一辺0.5mの法面前面に変位する変状と法面後方に変位する変状を抽出することができた。

この2つの検証結果をもとに法枠内アンカーが新設された3時期目の点群の変化点抽出を試みた。その結果、新設アンカーと法枠交点のアンカーキャップの撤去を変化点として抽出することが確認できた。

以上より、本手法は法面点検の補助、スクリーニング手法としての活躍が期待できる。本手法はMMSという効率的に測量できる機器を使用しているため、法面点検のパトロールをMMS車両の普通走行で置き換えることができる。そこで取得できる点群は座標値を持つ定量的なデータであるため、ICPアルゴリズムにより解析することで2時期間の変状を数値で取得することができる。この点群と変状量データを蓄積して、長期的な管理を行なうことで維持管理に効果を発揮すると考えられる。

また今後の展望として河川堤防や道路など維持管理対象物への本手法の適用例を増やしていきたい。

参考文献

1) 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, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, Vol72, VI-20, 2020

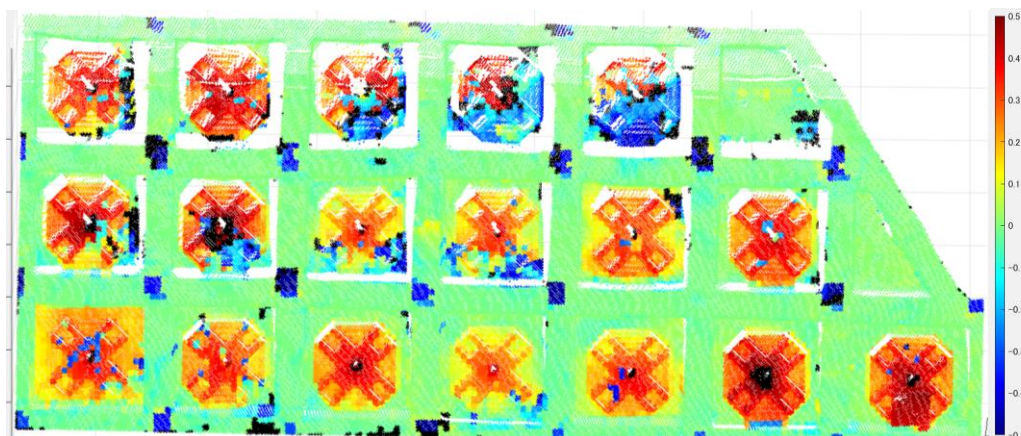


図-12 1時期目と3時期目法面の変状抽出の解析結果(単位はm)