(26) 道路法面管理のための点群データ活用法

茨木　克博[1]・西山　哲[2]・山本　道輔[3]

[1]学生会員　岡山大学大学院　環境生命自然科学研究科（〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1）
E-mail: pzef1mos@s.okayama-u.ac.jp

[2]正会員　岡山大学学術研究院　環境生命自然科学学域（〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1）
E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

[3]正会員　株式会社オーエスエー　技術管理部（〒709-4622 岡山県津山市戸脇 494-7）
E-mail: yamamoto@osa-ct.co.jp

近年，短時間豪雨の発生頻度増加により法面崩壊の危険性が高まっている．崩壊を未然に防ぐために予兆である変状を抽出する点検がますます重要となる．点検は近接目視を主として行われている．近接目視は点検を行う技術者の経験や技量に左右され，一様な結果を得ることが難しい定性的な手法である．本研究では構造物の形状を定量的に評価可能なレーザ点群を面的かつ効率的に取得できる Mobile Mapping System（MMS）と背負い式レーザ測量機器を使用し，道路法面管理への活用を目的とした．検証の結果，MMS と背負い式レーザ測量機器の 2 つの計測機器を利用することで道路法面の変状を効率的に抽出できると期待される．

Key Words: *MMS, 3D point cloud , Road Slope, Extracting Deformation,ICP*

1. 序論

近年，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おり，法面の崩壊の可能性が高まっている．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おり，この手法で得られた結果は技術者の経験や技量に大きく左右され，定性的である [1)]．また，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である．近年では，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 [2)]．点群とは，3次元座標である X，Y，Z の位置情報や色の情報（RGB）の集合体であり，法面の形状を定量的に表現できる．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，以下 MMS とする）と特定の場所の点群を短時間で取得できる背負い型レーザ測量機器を使用した．

両計測機器で取得した点群を用いて道路法面の管理への活用法の検討を目的に，Iterative Closest Point（以下，ICP）アルゴリズムを応用した解析手法による法面の変状抽出を行う．また点群の重ね合わせや異なる機器で取得した点群同士の変状抽出について検証した結果を本論文にて報告する．

2. 研究概要

(1) 計測概要

図-1 に計測対象箇所を示す．計測対象としたのは国道 54 号線沿いの全長 120m，高さ約 6m のブロック積擁

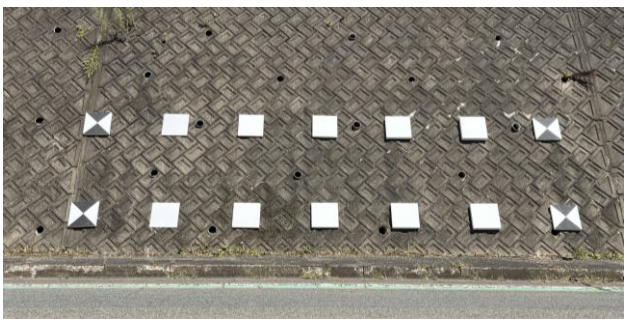


図-1　対象法面：国道 54 号線沿いブロック積擁壁

壁である．法面上には 1 辺 0.5m の 4 枚の標定点，10, 30, 50, 70, 90mm の各 2 枚，計 10 枚の供試体を設置した．MMS 計測では対象法面が位置している道路の上り車線を 50km/h で走行して法面の点群を取得した．背負い式レーザ測量機器の計測においては下り車線を自転車で計測した．

(2) 使用機器

図-2 に本研究の使用機器を示す．MMS とは車両で走行しながら連続的に点群が取得できるセンシング機器である．本研究で使用した MMS 機器は 1 秒間に 27,000 点スキャンできるものを使用した．背負い式レーザ測量機器とは UAV に搭載し連続的に取得できるセンシング装置を機器を背負える形に改良したものであり，自転車で計測を行う．本研究で使用したレーザ測量機器は 1 秒間に 60 万点スキャンできるものを使用した．

(3) 変状抽出の解析方法

変状抽出の解析方法(ICP)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，その値を変化量とみなすことで，2 時期間の変状をベクトルで表すことができる(図-3)．



図-2 MMS(左)と背負い式レーザ測量機器(右)

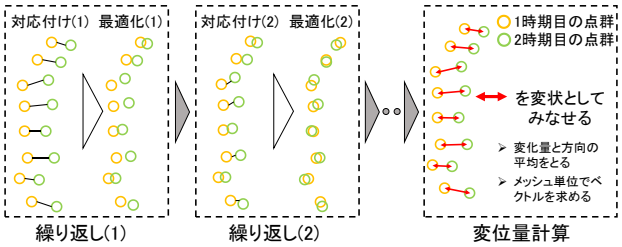


図-3 変状抽出の解析手法(ICP)

3. 点群に関する検証

(1) 点群の重ね合わせ

本研究で使用した MMS の点群は点群密度が小さいため，点群同士の重ね合わせを行った．重ね合わせを行った点群を図-4 に示すが，重ね合わせが多い点群の方がより鮮明に表現できている．しかし，断面図では重ね合わせを行った点群は表面に厚みが出ていることがわかる．

(2) 点群密度

MMS の点密度は重ね合わせなしで 189 点/m^2 であり，重ね合わせを増やすことで点密度は増加した．また図-5 に示すように法面上部の方が点群密度が小さく，法面下部の方が点群密度が大きくなる結果が得られた．これは法面の角度により，上部は機器とのの距離が離れることが原因だと考えられる．一方，背負い式レーザ測量機器の点群密度は 3704 点/m^2 であり，MMS の点群密度に比べ約 20 倍の大きさであった．

(3) 点群精度

各計測機器で取得した点群の精度を求める．トータルステーション（TS）計測で得た座標値を真値として各機器での計測と TS 計測で取得された標定点の中心座標を比較することで点群の精度を算出した．MMS の点群は点群密度が小さいため，標定点の中心点の近傍点では

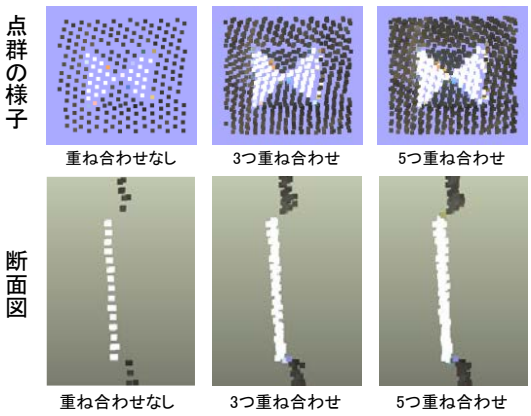


図-4 点群の重ね合わせ

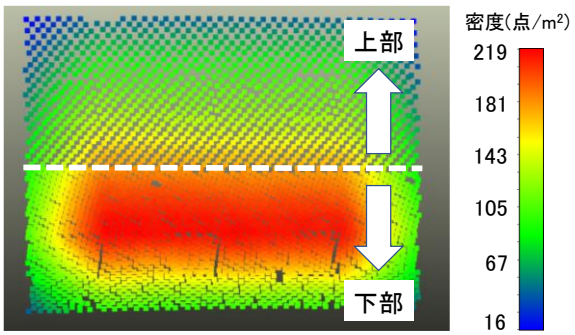


図-5 MMS で取得した点群の上段と下段の密度の差

誤差が大きいため内挿によって求めた．標定点の白線ラインから想定した 2 直線の最接近位置を中心座標とした．取得した標定点の中心座標の平均較差と二乗平均平方根誤差を算出した．**表-1** は平均較差と RMSE をまとめたものである．MMS の点群は重ね合わせありでも精度に変化はなかった．背負い式レーザ測量機器の点群は水平方向（⊿XY）が 30mm 以下，鉛直方向（⊿Z）で 10mm 以下の精度を確認できた．

(4) 点群の再現性

図-6 に示すのは MMS 計測による重ね合わせを行っていない点群である．法面と供試体の表面の差分を計算した．30mm よりも厚い供試体は差分が供試体の厚さに近い値になっており点群によって変状を再現できていることが分かる．しかし，10mm 供試体は法面と供試体の表面に差分が確認できなかった．

図-7 に背負い式レーザ測量機器の点群取得結果を示す．MMS とは異なり，10mm 供試体でも差分を計算する

表-1 点群精度

		平均較差(mm)		RMSE(mm)	
		ΔXY	ΔZ	ΔXY	ΔZ
MMS	重ね合わせなし	162	−47	163	53
	重ね合わせあり	156	−43	157	47
背負い式レーザ測量機器		20	−2	23	7

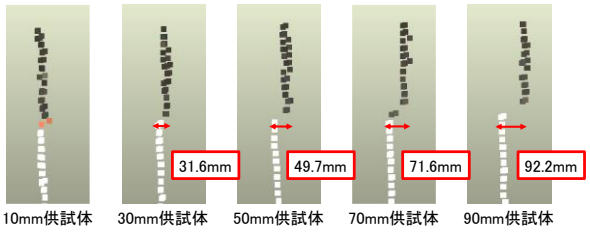


図-6 供試体の厚み(MMS)

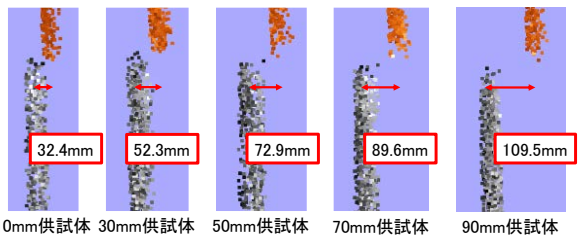


図-7 供試体の厚み(背負い式レーザ測量機器)

表-2 解析の条件

	1時期目(供試体なし)	2時期目(供試体あり)
Case1	MMS点群 重ね合わせなし	MMS点群 重ね合わせあり
Case2	MMS点群 重ね合わせあり	MMS点群 重ね合わせあり
Case3	MMS点群 重ね合わせあり	背負い式レーザ測量 機器の点群

ことができた．しかしどの差分も本来の供試体の厚さに比べ約 20mm ほど大きいという結果となった．また，点群自体にも厚みが生じたため，扱う際には本来の表面の点群がどこなのか定義する必要がある．

4. 法面の変状抽出に関する検証

(1) 変状抽出の検証

ICP 手法の変状抽出解析を行いその正確性を検証した．1 時期目にはそのままの法面点群，2 時期目には供試体を設置した点群を使用する．供試体は 1 辺 0.5m の正方形であり，供試体の厚みは 10mm，30mm，50mm，70mm，90mm の 5 種類である．**表-2** に解析の条件を示す．Case1 と Case2 ではともに MMS の点群を使用しているが，変点群の密度に違いがある．Case1 で用いた点群の密度は 189 点/m^2，Case2 で用いた点群の密度は 940 点/m^2 である．Case3 では 1 時期目は MMS 計測で得た点群，2 時期目に背負い式レーザ測量機器の計測で得た点群を用いた．これにより，異なる機器で計測した点群の併用が可能かどうか検証する．

(1) MMS の点群を用いた変状抽出

MMS の点群を用いて変状抽出を行った．ヒートマップ図により変状の度合いを色によって表現する．Case1 の解析結果を**図-8** に示す．10mm 供試体以外はヒートマップ図に色の違いが出ており変状を確認できている．10mm 供試体はヒートマップ図の色の違いが分かりづらく変状を確認できなかった．変状が抽出できている場合でも供試体の正方形の正確な形までを捉えることができないことが分かった．

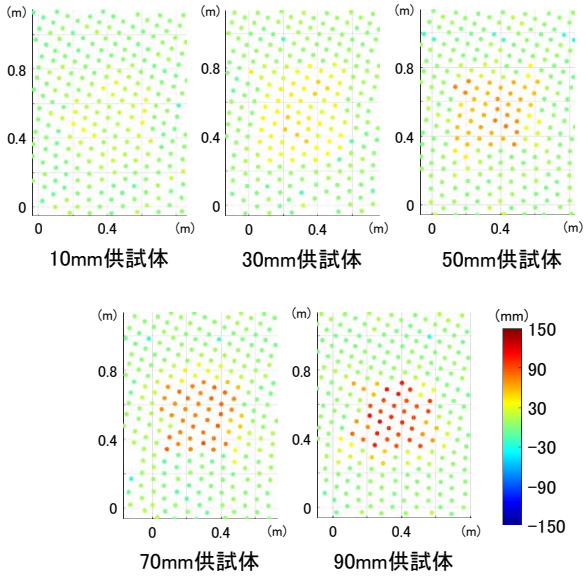


図-8 Case1 の解析結果

次に Case2 の重ね合わせを行った点群での変状抽出について検証を行う．**図-9** に Case2 の解析結果を示す．10mm 供試体は Case1 に比べヒートマップ図に色の違いが出ており変状を抽出できていることが分かる．30mm より厚い供試体では点群密度が大きい分，Case1 よりはっきりと変状を抽出できている．また変状の部分がより正方形に近づいている．このことから重ね合わせを行い点群密度を大きくすることでより正確に変状抽出できることが分かった．

(2) MMS と背負い式レーザ測量機器の点群を用いた変状抽出

図-10 に Case3 の解析結果のヒートマップ図を示す．30mm より厚い供試体はヒートマップ図の色が変わっているため変状を抽出できていることが分かる．10mm 供試体は所々色は変化しているが完全には抽出できていない．また変状が抽出できている部分も，本来の供試体の厚さに比べそれよりも小さい値の変状として抽出している．これは MMS の点群と背負い式レーザ測量機器の点群のそれぞれの密度に大きな差があることや，背負い式レーザ測量機器の点群は点群自体にかなりの厚みがあることが原因と考えられる．

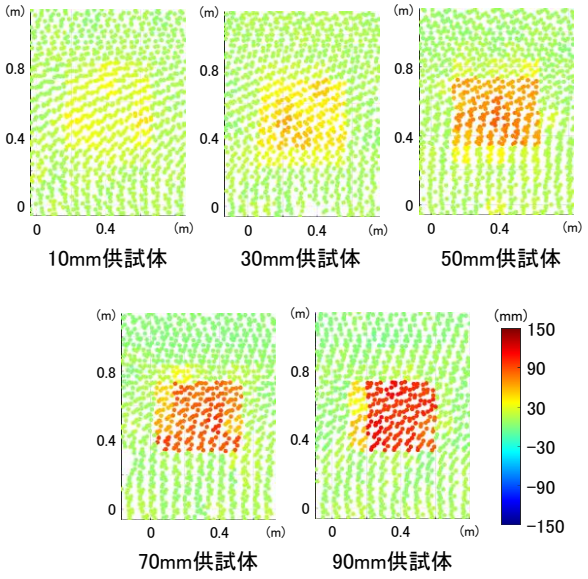


図-9　Case2 の解析結果

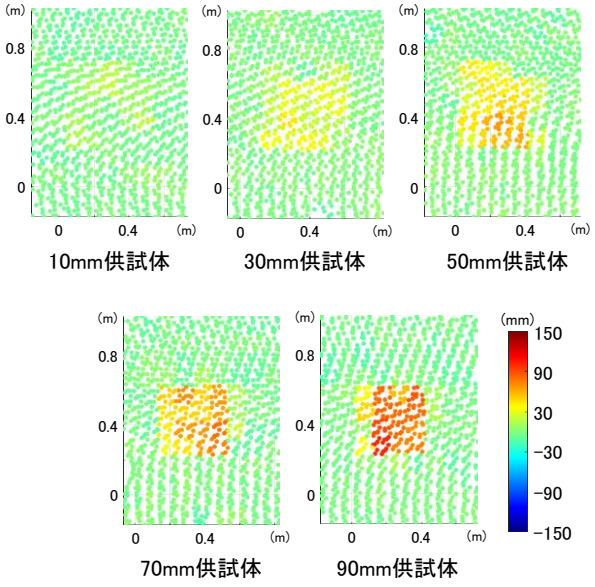


図-10　Case3 の解析結果

5. まとめ

以下に本研究で得られた知見をまとめる．

1) MMS は法面を面的に 180 点/m²ほどの密度で計測できたが，点群精度が約 160mm と誤差が大きかった．また点群の重ね合わせにより点群密度が上昇するが，点群自体に厚みが出てしまうので扱いに注意が必要である．

2) 背負い式レーザ測量機器は特定の個所を面的に短時間かつ高密度で計測することができた．点群精度は約 30mm と高精度で計測することができ，迅速な対応が求められる災害時などの管理に有効である．

3) MMS 計測で取得した点群での法面の変状抽出では点群を重ね合わせ点群密度を上昇させることで 10mm の変状を抽出することができた．MMS と背負い式レーザ測量機器の点群を併用した変状抽出は 30mm 以上で変状は抽出可能であることが確認できた．

以上より，本研究で用いた MMS は点群精度がまだ十分とは言えないため，道路土工構造物点検要領に記されている通常点検や特定土工点検に使用することは難しいと考える．しかし，MMS と背負い式レーザ測量機器の点群の 2 つの計測機器を利用することで道路法面の変状抽出を効率的に行うことができると期待される．MMS は広範囲を計測できるが計測に時間がかかる．それに対して背負い式レーザ測量機器は特定の場所を短時間で計測ができる．広範囲の場合は MMS，道路防災上重要な個所では背負い式レーザ測量機器を用いて計測し，計測の頻度を機器によって調整することで道路防災上重要な個所とそれ以外の個所の経年変化を効率的に検討することが期待できる．

今後の課題として，MMS 点群は重ね合わせによる点群の厚みを解消するためにより正確な重ね合わせ手法を検証することが挙げられる．

参考文献

1) 国土交通省 道路局 国道・技術課：道路土工構造物点検要領（暫定版），p.15，2022.
2) 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マニュアル(案)，pp.4-10，2018.