(24) 点群データを用いた土工構造物の3次元モデル作成に関する研究

小松 慎二[1]・北田 憲嗣[2]・岡本 尚子[3]・笹井 晃太郎[4]・貝戸 清之[5]

[1]正会員　応用地質株式会社　メンテナンス事業部（〒532-0021 大阪市淀川区田川北2丁目4番66号）
E-mail: komatsu-shinnji@oyonet.oyo.co.jp

[2]非会員　応用地質株式会社　メンテナンス事業部（〒532-0021 大阪市淀川区田川北2丁目4番66号）
E-mail: kitada-noritsugu@oyonet.oyo.co.jp

[3]非会員　応用地質株式会社　メンテナンス事業部（〒651-0083 神戸市中央区浜辺通5-1-14-401）
E-mail: okamoto-naoko@oyonet.oyo.co.jp

[4]正会員　大阪大学特任研究員 大学院工学研究科 地球総合工学専攻（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
E-mail: k.sasai@civil.eng.osaka-u.ac.jp

[5]正会員　大阪大学准教授 大学院工学研究科 地球総合工学専攻（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
E-mail: kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

リモートセンシング技術の進歩により，航空レーザ測量データや MMS などを使用して，道路土工構造物周辺の高精度な 3 次元点群情報を取得できるようになった．これに伴い，災害リスクの抽出や異常検知手法などの研究が盛んに行われている．一方，点群データから構造物の 3 次元モデルを作成したり，点群データの差分解析を実施したりするには，手動で構造物の位置を認識する必要があるため，広範囲の構造物をモデル化するには多大な労力を要する．本研究では，点群データを使用して，切土のり面の法枠工を半自動的に抽出し，構造物の 3 次元モデルを作成する手法を検討した．その結果，30m 程度の短い区間であれば地表面フィルタリングの条件設定を変更することにより法枠を高精度に抽出することができた．また，精度の異なる 2 つの点群を用いることにより，のり面全体の法枠を半自動的に抽出可能であった．

Key Words: *road earthwork structure, point cloud data,maintenance,laser profiler,3D model*

1. はじめに

近年，リモートセンシング技術の進展により，航空レーザ測量データや MMS などを用いて道路土工構造物周辺の高精度な3次元点群情報の取得が可能となった．国土交通省は，平成30年度より MMS データの取得に取り組んでおり，令和4年度からは3次元点群データの提供を開始している．さらに，国土交通省は，道路維持管理の高度化を目的として，2 次元の道路台帳付図の 3 次元化を検討している[1)]．また，点群データを使用した災害リスクの抽出や複数回測定した点群データの差分解析による異常検知などの研究が積極的に行われている[2)]．その一方で，対象範囲が広く施工情報も少ない道路土工構造物では，変状の位置や相互の関係，これらから予想される災害形態や対応優先度など，点検技術者の経験に頼るところが多いのが現状である．

道路に直結し災害時の影響が大きい切土法面や盛土法面などの土工構造物は，構造物の種類が多岐にわたり（土羽や擁壁，吹付工，落石対策工，鉄筋挿入工，グランドアンカー工など），それらの機能も多様である．3 次元点群データ上ではこれら道路土工構造物のデータのほかに付属物や植生等のデータが混在していることから，構造物の管理に資する3次元モデルの生成や異常検知のための差分解析を行う際には，手動で構造物の位置を認識させる必要があり，広範囲の構造物をモデル化するには多大な労力が必要となる．

本研究では，測定方法の異なる2つの点群データを用いることによって，切土のり面の法枠工を半自動抽出し，構造物の3次元モデルを作成する手法を検討した．作成した3次元モデル上に各種の履歴データをデジタルアーカイブすることによって，インフラ管理の高度化・効率化を達成できると期待する．

表-1. 点群データの概要

測定方法	測定年	オリジナルデータの1段目の点密度（点数/㎡）
航空LP	2017	6
航空LP（高密度）	2020	181
MMS	2021	314
MMS	2022	3,143
HHLP	2022	13,342

2. 計測データの概要

本研究で対象とするサイトでは，**表-1** に示すように 5 回の点群計測が実施され，それぞれデータが取得されている．また同表には，各点群計測の精度を比較するために，1 段目のり面（最下段）内の点密度も併せて示している．HHLP はハンドヘルド型のレーザ測定機器を用いた計測であるが，スラム技術を使用して測定されており，公共測量座標を付与されていないデータのため点群密度の参考値として記載した．

図-1 には各点群データの 3 次元鳥観図を示す．航空 LP データは植生を除去したグランドデータ（地表面）を，MMS はオリジナルデータ（植生を含む）をプロットしたものである．2017 航空 LP と 2020 航空 LP（高密度）を比較すると，前者は小段の位置や法面の形状は確認できるものの，構造物の種類の認識は難しい．特に植生が繁茂している 4 段目の法面はほとんど点が検出されていない．一方，後者は法枠の形状を認識可能であり，自然斜面の凹凸も読み取れる．2021 および 2022MMS では，航空 LP と比較すると，道路周辺の構造物の形状を明瞭にとらえていることが読み取れる．また，2021MMS はのり面 2 段目以上のデータがほとんど取得できないが，2022MMS では法肩までのデータが取得できていることがわかる．これは，MMS に搭載されたレーザ照射装置の性能差による．

つづいて，**図-2** に各データの横断方向の重ね合わせ図を示す．2017 航空 LP と 2020 航空 LP を比較すると，のり面の同一高さで 10cm 以上水平方向にずれていることがわかる．一方，2020 航空 LP と 2021MMS，2022MMS はのり面の外形がほぼ重なることがわかった．両者のデータを比較すると，小段など上向きの面は MMS では点が取得されておらず，1 段目，2 段目の法面勾配が急な区間は航空 LP の点が少ない．また，4 段目の植生が繁茂した箇所は 2020 航空 LP 以外ではほとんど地表面に点が到達していない．これらの特徴は航空 LP が上空から下向きに計測を行い，MMS は道路上から仰角上向き方向に測定を行うことに起因している．

以上を踏まえ，本研究に用いる 3 次元モデルは 2020 航

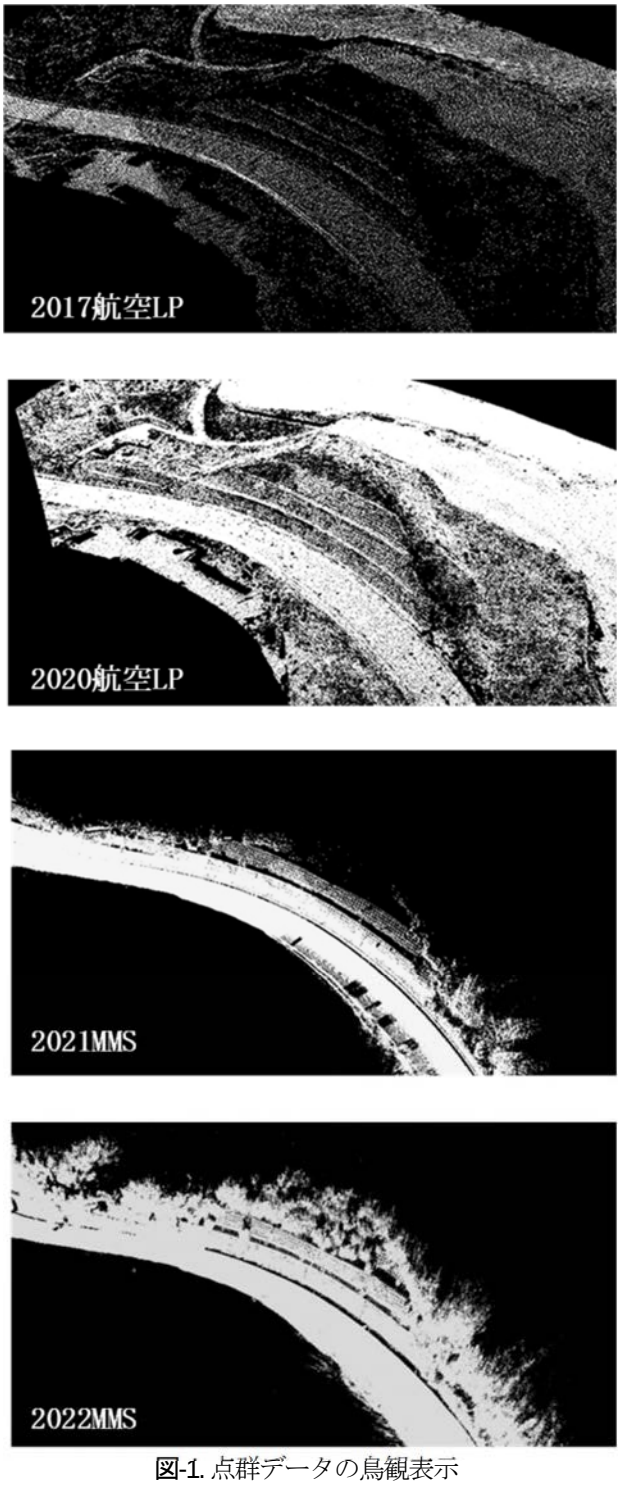


図-1. 点群データの鳥観表示

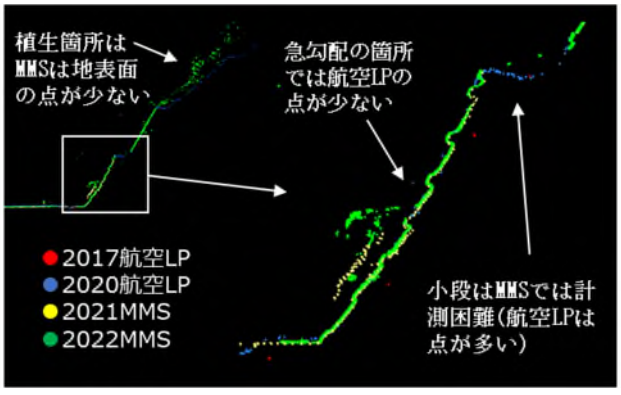


図-2. 点群データの横断図

空 LP（高密度）のグランドデータと 2022MMS とし，2022MMS データから法枠を抽出する検討を行った．

3. 法枠の抽出方法

(1) 地表面フィルタリング条件

航空 LP や MMS 等の LP 計測のオリジナルデータには，地表面のデータの他に植生や車等，地上のすべてのデータが含まれる．それらに対して，フィルタ処理を行い，地表面のみのグランドデータを生成する．本研究では，グランドデータを生成する地表面フィルタ処理の設定条件を変更することにより，法枠の抽出手法を検討した．

地表面フィルタリングは「3D 点群処理システム TREND-POINT ver.9（福井コンピュータ株式会社製）」を使用した．地表面フィルタリングは，ローラーを地表面の裏側で転がし無効点を抽出する．地形の凸凹が激しい場合は幅を狭く，地表面を認識し難い場合は長さを短く，地上面に雑草が生えている場合には厚み（浮かし）を調整する．地表面の裏側で転がすローラーの条件（**図-3**，幅，長さ，厚み）を変更することにより，法枠と地山の分離を試みた．

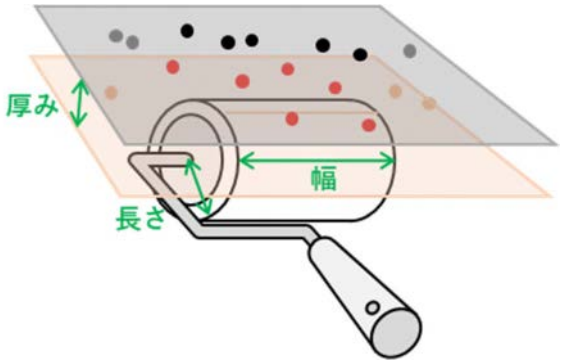


図-3 地表面フィルタリングの設定イメージ

(2) 精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出方法

図-4 に航空 LP と MMS の点群データから作成したメッシュサーフェイスを示す．MMS と比較すると，航空 LP のグランドデータは，法枠部分の点群が少ないことがわかる．そこで，航空 LP データから元の点群密度より荒い三角網を作ることで，地山の面に近いフィルタを作成し，このフィルタを MMS に重ねることによって法枠の抽出を試みた．**図-5** に三角網フィルタによる抽出イメージを示す．精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出方法では，①航空 LP の点群データの点群を間引いてメッシュデータを作成（三角網），② ①で作成した三角網を法線方向に移動し元点群が重ならないように調整，③ ②で作成した三角網を MMS の点群データに重ね合わせて三角網フィルタの上部の点群を抽出，④②で作成した三角網を航空 LP の点群データに重ね輪せて三角網フィルタの上部の点群を抽出し③と合成，という手順とした．

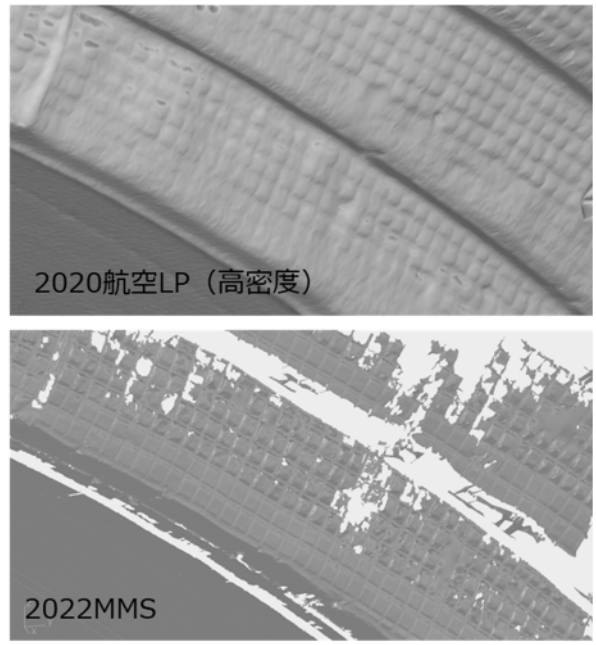


図-4 航空 LP と MMS のメッシュサーフェイスモデル

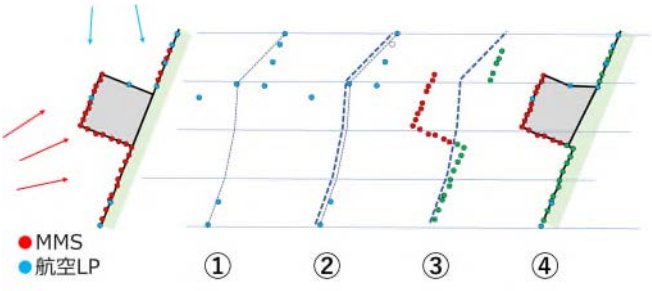


図-5 三角網フィルタによる抽出イメージ

4. 抽出結果と考察

(1) 地表面フィルタリングを用いた法枠抽出

図-6 に 2022MMS の約 30m 間の点群データから地表面フィルタリングを適用した結果を示す．フィルタリング条件を工夫することで，地山部と法枠を分離することができる．同様に，のり面全体（延長約 300m）に同様のフィルタリングを行った結果を**図-7** に示す．のり面全体を対象としたフィルタリングでは，ある区間の抽出精度

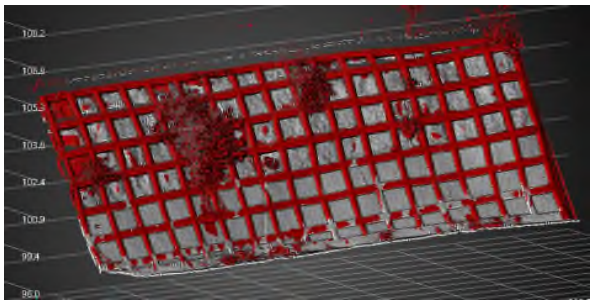


図-6 一定区間の地表面フィルタリング抽出結果

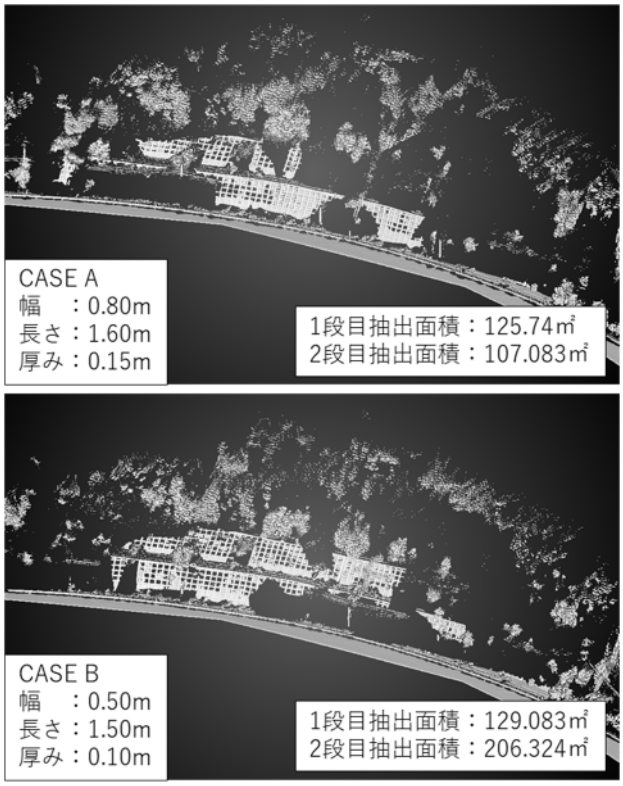


図-7　のり面全体の地表面フィルタリング抽出結果

を高くすると他の区間の抽出精度が劣るなど，のり面全体の法枠の抽出を一律の条件で行うのは困難であった．対象区間は法枠の高さが 1 段目と 2 段目で異なること，緩いカーブの区間であることが原因と考えられる．以上より，地表面フィルタリングの条件設定では，短い区間では精度の高い分離が可能であるが，法面単位での分離は困難な結果となった．

(2)　精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出

図-8 に精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出結果を示す．三角網フィルタは航空 LP のオリジナルデータから植生を除去後 1m グリッドデータを作成し，それぞれの点をつないだメッシュデータを用いた．この三角網フィルタを用いて MMS データと航空 LP データそれぞれから地山とそれ以外の点群を分離し，さらに後者から植生を分離することで法枠部分の抽出を行った．精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出では，図-7 に示す地表面フィルタリングを用いた抽出方法と比べて法面全体の法枠の抽出精度が高いことがわかる．

5. おわりに

本研究では，MMS の点群データから法枠工を半自動で抽出する方法を試行した．点群処理システムの地表面フィルタリング機能を使った手法と，航空 LP データからフィルタとなる三角網を作成して抽出する方法を試行した．前者は単区間（30m 程度）では，精度の高い抽出が可能であるが，法面単位の抽出は困難であった．後者は前者ほどの抽出精度はないが，のり面全体の抽出が可能であった．

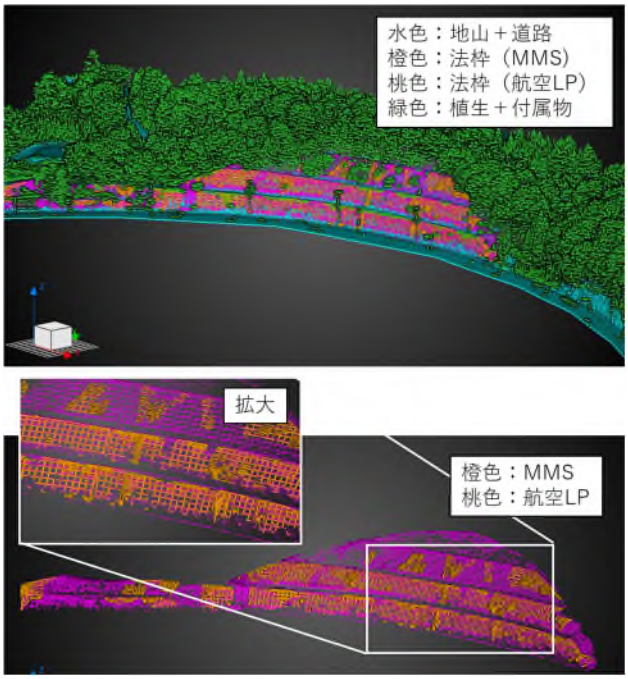


図-8　精度の異なる 2 つの点群を用いた抽出結果

点群データから法枠等の構造物を分離することにより，対象となる構造物自体に補修履歴等の属性データを付与することが可能となる．また，自動抽出した構造物によりポジショニング（位置合わせ）を行うことで点群の差分解析等の異常検知精度が向上すると期待する．

今後は，分離した三次元点群を使用した異常検知手法等について研究を行い，道路土工構造物の効率的な維持管理手法を確立する予定である．

謝辞：本研究は，新都市社会技術融合創造研究会「道路管理の高度化・効率化に資する 4 次元インフラマネジメント手法の開発」（プロジェクトリーダー：貝戸清之）によって実施されたものであり，ここに感謝申し上げる．

参考文献

1) 森義孝，高木久，西村大助，藤木三智成，政野敦臣： 3 次元道路台帳附図検討業務における仕様検討について, 先端測量技術 (116), pp.92-98, 2022.
2) 間野耕司：モービルマッピングシステム(MMS)の計測技術と活用事例， 計測と制御 第 60 巻 第 10 号 2021 年 10 月号, pp.706-710, 2021.