

(58) MMS 点群データを用いた 道路土工構造物の抽出に関する一考察

中村 健二¹・塚田 義典²・梅原 喜政³・
今井 龍一⁴・田中 成典⁵・中原 匡哉⁶・大月 庄治⁷

¹ 正会員 大阪経済大学教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪市東淀川区大隅 2-2-8)
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

² 正会員 摂南大学准教授 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

³ 正会員 関西大学特別任命助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)
E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp

⁴ 正会員 法政大学教授 デザイン工学部 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)
E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

⁵ 正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

⁶ 正会員 大阪電気通信大学講師 総合情報学部 (〒575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70)
E-mail: nakahara@oecu.jp

⁷ 学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)
E-mail: k617301@kansai-u.ac.jp

我が国は、台風や地震等の自然災害が多発することから、道路や河川等における社会資本の網羅的な維持管理が期待されている。道路分野では、発災直後の道路法面の土砂崩れや地滑り、シェッドと大型カルバートの倒壊による避難経路の断絶を未然に防止する必要がある。こうした背景の下、道路の機能への影響が著しい特定道路土工構造物の特定土工点検の実施が義務付けられている。しかし、全ての道路法面の正確な位置や詳細な現況を管理、把握できているとは言えず、特定道路土工構造物の適切な管理が不十分な課題がある。そこで、本研究では、MMS の点群データと走行軌跡を用いて、道路法面の点群データを自動で抽出する手法を提案する。そして、検証実験により、提案手法の実現場への適用可能性を確認し、道路法面全体の抽出に向けて必要な事項を考察する。

Key Words: road earthwork structure, maintenance, feature extraction, MMS, point cloud data

1. はじめに

我が国では、多くの社会資本が高度経済成長期に建設されており、老朽化した構造物の割合が加速度的に増加している。また、台風や地震等の自然災害が多発することから、道路や河川における社会資本の網羅的な維持管理が求められている。特に、発災直後に道路やその周辺の構造物に被害が発生すると避難経路が断絶し、二次災害の危険性が高まる。これらを未然に防止するためには、既存の道路法面、シェッドや大型カルバート等の道路土工構造物を定期的かつ適切に管理し、点検する方法

が必要である。こうした背景の下、国土交通省では、道路土工構造物点検要領²⁾が定められ、特に道路の機能への影響が著しい特定道路土工構造物の特定土工点検の実施が義務付けられている。しかし、全ての道路土工構造物の位置や詳細な現況を適切に把握できているとは言えず、点検対象となる特定道路土工構造物の適切な管理が不十分な課題がある。

そこで、本研究では、道路の周辺環境を走行しながら3次元計測できるMMS (Mobile Mapping System)³⁾に着目する。このMMSで計測した点群データとその走行軌跡を用いて、道路法面の点群データを自動で抽出する手法

を提案する。そして、検証実験により、提案手法の実現場への適用可能性を確認し、道路法面全体の抽出に向けて必要な事項を考察する。

2. 既存研究と課題の整理

本章では、道路や河川を計測した点群データから法面や構造物の面の領域を推定する既存手法を説明し、各手法を道路法面に適用した場合の課題を整理する。

(1) 法面や構造物の面の領域を推定する既存手法

法面や斜面の領域を推定する既存手法は、横断面を用いる手法⁴⁾、平坦部に着目する手法⁵⁾が一般的である。

横断面を用いる手法⁴⁾は、道路空間を対象に道路中心線に垂直な横断面を作成する。そして、構造物の面上と道路面上の点とを結ぶ直線からの垂直距離が最大となる点を断面変化点として抽出する。これらを繰り返すことで、道路面と構造物の境界線を推定する。本手法は、境界線付近に地物や大きな凹凸がない道路土工構造物であれば、垂直距離が最大となる点が確実に境界線上の点となる。そのため、高精度に法面の領域を推定できる。

平坦部に着目する手法⁵⁾は、点群データから取得した構造物の平坦部を囲む外形線を法面のブレイクラインの候補線とする。これらの候補線を用いて断面変化点の抽出を繰り返し、河川堤防の天端と法面、法面と高水敷の境界線を推定する。本手法は、平坦な面で構成される構造物であれば法面の領域を正確に推定できる。

(2) 既存手法を道路法面に適用した場合の課題

前述した既存手法は、都市空間の構造物を対象としている。そのため、山間部にある道路法面(図-1)を対象とした場合には、二つの課題が生じる。

一つ目は、道路法面の近くに地物がある場合、地物を法面として誤推定する課題がある。道路法面の前に図-1に示すように電柱、照明柱やガードレール等の地物が設置されていることもある。横断面を用いる手法⁴⁾をそのまま適用すると、道路法面付近にある地物上の点も断面変化点となる。その結果、前後の断面変化点を結んでいくと地物上にも境界線が生成される。そのため、これらの地物の一部も道路法面として誤推定する。

二つ目は、道路法面上にはらみ出しや沈下等による多数の凹凸面がある場合、誤った道路法面の領域を推定する課題がある。既設の道路法面には経年劣化の影響ではらみ出しや沈下により法面上に段差が多数存在することがある。平坦部に着目する手法⁵⁾をそのまま適用した際、はらみ出しや凸部が多い場合は道路法面と道路面の境界線を道路面寄りに誤推定して適正な法面の領域より広く



図-1 凹凸の激しい法面と設置された電柱

なる。一方、沈下や凹部が多い場合は道路法面の境界線を道路面と反対側寄りに誤推定して適正な法面の領域よりも狭くなる。

3. MMS 点群データからの法面抽出手法の提案

本研究では、第2章で論じた課題を踏まえて、道路法面上のはらみ出しや沈下、周辺地物を考慮して道路法面を計測した点群データを抽出するための技術を開発する。

(1) 課題への対応方針

一点目の「道路法面の近くに地物がある場合、地物を法面として誤推定する課題」に対しては、まず、道路面の点群データを除去する。次に、ユークリッド距離に基づき計測点をグルーピングする。そして、その中から水平に対する傾斜角に着目して道路法面のみを抽出することで対応する。

二点目の「道路法面上にはらみ出しや沈下等による多数の凹凸面がある場合、誤った道路法面の領域を推定する課題」に対しては、まず、確実な道路法面の計測点を抽出する。そして、その計測点を基に領域拡張法⁶⁾を用いて、周囲の類似する形状を道路法面の領域として拡張することで対応する。

(2) 提案手法の概要

提案手法の処理フローを図-2に示す。提案手法は、道路面除去機能、法面候補位置推定機能と法面抽出機能により構成される。提案手法の入力データは、MMSで計測した点群データ、MMSの走行軌跡とMMSに搭載されたGNSS(Global Navigation Satellite System)の地面からの高さとし、出力データは道路法面の点群データとする。この時、MMSで計測した点群データは平面直角座標系で得られているものとする。MMSの走行軌跡は、搭載されたGNSSで計測した平面直角座標系の点列とする。

(3) 道路面除去機能

本機能では、MMSの走行軌跡から、走行した道路面の位置を算出し、領域拡張法を用いてMMSで計測した点群データから道路面を除去する。まず、MMSの走行

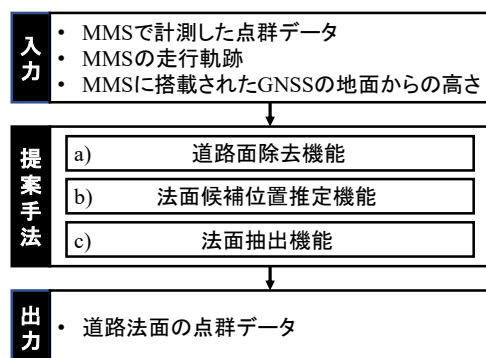


図2 提案手法の処理フロー

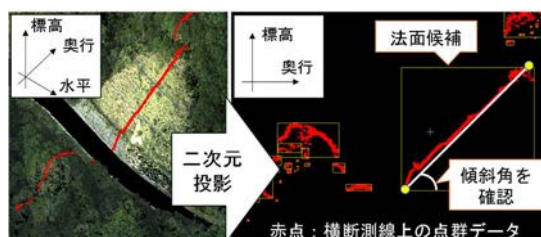


図3 法面候補位置推定機能

軌跡の点列の高さから、MMS に搭載された GNSS の地面からの高さを減算し、確実な道路面の点列を取得する。次に、道路面の点列を基に領域拡張法を用いて、道路面全体の点群データを抽出する。最後に、MMS で計測した点群データから道路面全体の点群データを除去する。

(4) 法面候補位置推定機能

本機能では、道路面を除去した点群データから道路法面の候補となる点群データを推定する。まず、MMS の走行軌跡の点列からなる線形に対して一定の間隔で垂線を生成し、横断測線とする。次に、図-3に示すように横断測線ごとに線上の点群データを抽出し、二次元投影する。そして、点間のユークリッド距離に基づいてラベリングし、グルーピングする。最後に、グループ化した点群データ内の標高最低点と最高点を結ぶ線分と水平面がなす傾斜角と標高最低点と最高点の高さの差を算出する。これらが共に一定値以上であれば、道路法面の候補となる点群データとして出力する。ただし、それらが複数抽出された場合は、MMS の走行軌跡の点列に最も近いものを道路法面の候補の点群データとする。これにより、道路法面の近くに地物がある場合であっても道路法面だけを抽出できるため、一点目の課題を解消できる。

(5) 法面抽出機能

本機能では、法面候補位置推定機能で推定した法面の候補の点群データに基づき領域拡張法を用いて道路法面全体の点群データを抽出する。まず、標高最低点と最高点の midpoint に最も近い点を法面の候補の点群データの中から取得する。次に、その点を基準として領域拡張法を用

表-1 提案手法のパラメータ

パラメータ	設定値
横断測線の間隔	1.00m
道路法面の候補と見なす傾斜角	30~80°
道路法面の候補と見なす高さ	5.00m 以上
ボクセルサイズ	0.10m
植生と見なすボクセル数	5

いて周囲の類似する形状を計測した点群データを取得し、一定の大きさのボクセルに分割する。このとき、道路法面上に繁茂する植生の点を基準とした場合、領域拡張法で取得できる点群データの範囲は小さくなり、ボクセル数が低下する。そのため、取得した点群データのボクセル数が一定数以下の場合は、植生を抽出したものとして除去する。これらの処理を横断測線ごとに繰り返し適用し、点群データ全体をボクセル分割する。そして、点群データを含むボクセルを連結してラベリングする。最後に、ラベリングされたボクセル群ごとにその中に含まれる点群データを道路法面の点群データとして出力する。これにより、道路法面上にはらみ出しや沈下等による多数の凹凸面がある場合、それらも含めて道路法面の領域として推定できるため、二点目の課題を解消できる。

4. 検証実験

(1) 実験内容

本実験では、道路法面周辺を MMS で計測した点群データに提案手法を適用し、提案手法の各機能により既存手法の2つの課題を解消可能かを検証する。そして、道路法面全体の抽出に向けて必要な事項を考察する。

(2) 検証方法

本実験では、提案手法により2つの課題を解消可能であるかを検証するため、道路法面上に多数の凹凸があり、付近に電柱、標識や標識柱がある現場を選定する。その条件に一致する実験現場として、静岡県下田市柿崎の国道沿いにある吹付法面の現場①と同市白浜の国道沿いにある吹付法面の現場②を選定した。それぞれの現場の点群データの可視化結果を図-4と図-5に示す。現場①と②の計測点数は、それぞれ16,274,584点と39,203,770点で計測密度は、13,802 点/m²と13,424 点/m²である。これらの現場を対象に提案手法の抽出精度を確認する。提案手法のパラメータを表-1に示す。

道路法面の抽出精度は、手動で作成した図-4と図-5に示す正解データと提案手法により抽出した道路法面の点群データを比較し、適合率、再現率とF値で評価する。現場①では、図-4Aに示すように吹付法面上や法肩付近に植生が繁茂している。現場②は、図-5Aに示すように

吹付法面の法肩まで計測できておらず、上方の一部だけが計測できている。

(3) 結果と考察

提案手法による吹付法面の抽出結果を図-4、図-5、抽出精度を表-2に示す。まず、図-4と図-5の正解データと提案手法の抽出結果を比較すると、図-4 Bと図-5 Bに示す吹付法面付近にある電柱、標識や照明柱を除いて吹付法面を抽出できている。このことから、一点目の道路法面の近くに地物がある場合、地物を法面として誤推定する課題を解消できたと言える。次に、現場①の吹付法面全体の領域を確認すると、吹付法面上の植生や凹凸によらず、上部の植生下も含めて吹付法面全体を抽出できている。このことから、二点目の道路法面上にはらみ出しや沈下等による多数の凹凸面がある場合、誤った道路法面の領域を推定する課題を解消できたと言える。

表-2の抽出精度を確認すると、適合率は0.921以上、再現率は0.755以上となり、適合率よりも再現率が低いことがわかった。本計測データの中には吹付法面の凹凸以外の実際の形状から浮いた小さな計測ノイズが多分に含まれている。それらを領域拡張法だけでは抽出できず、図-4と図-5に示すように正解データよりも抽出結果にムラが発生したため適合率よりも再現率が低下した。そのため、抽出した結果に対してTINを生成し、TINからの垂直距離が一定の閾値以内であれば、追加で抽出するといった改良が必要であると考えられる。また、現場①よりも現場②の再現率が低いのは、上方の吹付法面の一部を抽出できなかったためである。現場②は本来、30.00m近くの高さの吹付法面である。しかし、MMSでは、走行位置と吹付法面との距離が近く、図-5に示すように10.00m以上上方にある吹付法面全体を計測できなかった。これらを抽出するためには、航空レーザやUAV等による上空からの測量データとの連携が必要と考えられる。

5. おわりに

本研究では、MMSで計測した点群データから道路土工構造物の法面を対象にその領域の点群データを抽出する手法を提案した。今後は、MMSだけでは計測が困難な法面全体の抽出を目指して手法の改良と他の機器の計測データとの連携方法を検討する。そして、抽出した道路法面の点群データを用いて、点検、整備や補修の要否を判断するための指標を自動で推定する手法を開発する。

謝辞：本研究の一部は、静岡県「スマートガーデンカントリー”ふじのくに”モデル事業」のデータ利活用に関

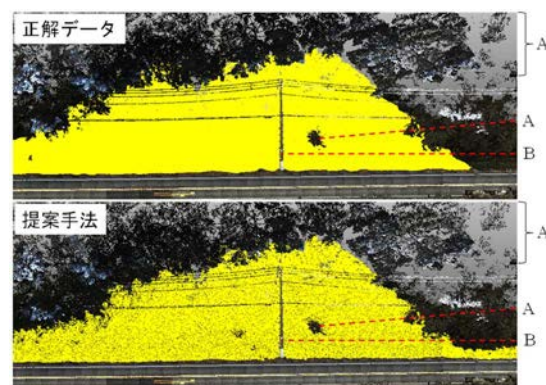


図-4 現場①の抽出結果

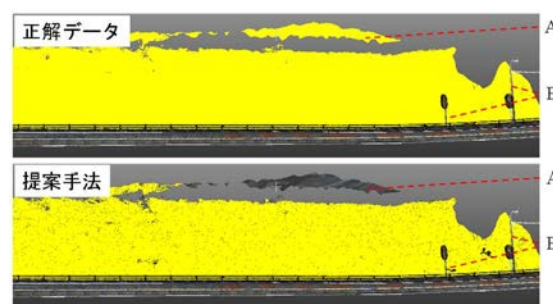


図-5 現場②の抽出結果

表-2 提案手法による吹付法面の抽出精度

現場	適合率	再現率	F 値
現場①	0.921	0.785	0.847
現場②	0.988	0.754	0.855

する共同研究の成果である。本研究の遂行にあたり、静岡県、日本インシーク社と日本工営社の皆様にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書，<<https://www.mlit.go.jp/statistics/file0000004.html>>，（入手 2021.6.7）。
- 2) 国土交通省：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 2021.6.9）。
- 3) 日本インシーク社：MMS，<<https://www.insiek.co.jp/business/technology/ict/mms.html>>，（入手 2021.6.8）。
- 4) 田中成典，中村健二，山本雄平，今井龍一，窪田論：MMS 点群データを用いた高架道路橋の線形の自動生成に関する研究，知能と情報，Vol.28，No.5，pp.826-845，2016。
- 5) 田中成典，中村健二，今井龍一，窪田論，梅原喜政：LP データと河川定期縦横断測量成果を用いた任意地点の横断図生成手法に関する研究，知能と情報，Vol.28，No.5，pp.810-825，2016。
- 6) Deschaud, J. and Goulette, F.: A Fast and Accurate Plane Detection Algorithm for Large Noisy Point Clouds Using Filtered Normals and Voxel Growing, *Fourth Int. Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission*, 2010.