

(47) 地上設置型レーザスキャナを用いた 出来高管理のための地表面抽出手法の検討

櫻井 淳¹・田中 成典²・中村 健二³・窪田 諭⁴・中原 匡哉⁵・平 謙二⁶

¹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丁目1番1号)

E-mail: k400448@kansai-u.ac.jp

²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丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

³正会員 大阪経済大学准教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪市東淀川区大隈2丁目2番8号)

E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

⁴正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

⁵非会員 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丁目1番1号)

E-mail: k732803@kansai-u.ac.jp

⁶非会員 三菱電機エンジニアリング株式会社 (〒963-8586 福島県郡山市栄町2-25)

E-mail: Taira.Kenji@ma.mee.co.jp

地上設置型レーザスキャナなどで計測した点群データの出来高管理への活用が期待されている。しかし、施工中の点群データには出来高管理に不要な建機や樹木などの情報が混在するため、これらを除去して地表面を抽出する必要がある。

点群データからの地表面抽出手法は、航空機搭載型や地上設置型のレーザスキャナの点群データに対して検討されており、都市部や森林部などの計測成果に適用されている。しかし、これらの手法を道路や河川の土工に適用した場合、天端と法面の境界であるブレイクライン、湾曲部や凹凸部が除去されるため、傾斜面や整地されていない地表面を正しく抽出できない課題がある。そこで、本研究では、土工工事における出来高管理のための地表面抽出手法を提案し、その有効性を評価する。

Key Words : laser scanner, point cloud data, filtering, construction site, i-construction

1. はじめに

国土交通省では、道路・河川土工などの建設生産プロセスの効率化を目指してi-Constructionを推進している。i-Constructionでは、UAVの空中写真測量や地上設置型レーザスキャナによる3次元計測技術の活用が中心に検討されている。たとえば、地上設置型レーザスキャナなどで計測した点群データを用いることにより、施工現場全体の3次元形状を把握できるため、Total Station (以下、TS) による横断面を基準とした現行の点・線による出来形管理から面的な管理に移行できる。さらに、定期的な施工状況を計測することにより切土・盛土量を算出できるため、出来高管理への活用も可能となる。しかし、施工中に計測した点群データには、出来高や出来形計測に不要な建機や樹木などの点群データが混在しているため、自動または手動でこれらを除去し、地表面を抽出する必要がある。

点群データから地表面を抽出する既存のフィルタリング手法は、これまで航空機搭載型レーザスキャナを用いた検討¹⁾³⁾が多くなされており、地上設置型レーザスキャナによる手法⁴⁾⁵⁾も検討されている。しかし、これらは施工現場の点群データを対象とした手法ではないため、現場の状況によって地表面がノイズとして除去される課題がある。

そこで、本研究では、既存手法を施工現場の点群データに適用した際に発生する課題を明らかにし、その課題を解消する地表面抽出手法を提案する。まず、第2章では、施工現場における既存手法の課題を明らかにし、第3章にて、その課題を解消する新たな地表面抽出手法を提案する。次に、第4章にて、提案手法の有効性を評価するため、施工現場の計測データを用いて実証実験を行う。そして、第5章にて、研究を総括するとともに、今後の展望を述べる。

2. 既存手法と課題の整理

本章では、航空機搭載型および地上設置型のレーザスキャナのデータから地表面を抽出する既存手法を説明し、各手法を施工現場に適用した際の課題を整理する。

(1) 航空機搭載型レーザスキャナの手法の課題

航空機搭載型レーザスキャナのフィルタリング手法は、最下点抽出法¹⁾、ローラ法²⁾、TIN (Triangulated Irregular Network) を用いた手法³⁾が一般的である。

最下点抽出法は、一定の大きさのグリッドに区分し、その中の最低標高値のレーザ計測点を地表面として抽出する。この手法は、グリッドサイズが固定であるため、生成されたグリッドに水平面と傾斜面との境界である断面変化点列 (以下、ブレイクライン) が含まれた場合、それらの点群データがフィルタリングされる問題がある。

ローラ法は、円柱状のローラを点群データの下に接するように転がして樹木を除去した地表面を推定する手法である。この手法は、上空から計測して樹木下の地表面が必ずレーザ照射されることを前提としている。そのため、横から計測した際に建機などの影響で発生するオクルージョンにより地表面が欠損する場合は適用できない。

TINを用いた手法は、Terrasolid社の点群処理ソフト TerraScanで使用されており、一定間隔のグリッドの最低標高値からTINデータを生成し、角度と距離に応じてTINデータを反復的に生成して地表面を抽出する手法である。この手法は、状況に合わせたパラメータ設定が必要であり、その設定によって尾根と谷の起伏が大きい地表面が抽出されない問題が指摘³⁾されている。そのため、施工の過程において地表面が整地されていない場合は、地表面を示す点群データの一部がフィルタリングされる。

(2) 地上設置型レーザスキャナの手法の課題

地上設置型レーザスキャナのフィルタリング手法は、平坦度算出による手法⁴⁾や主成分分析を用いた手法⁵⁾が提案されている。前者は、平坦部と非平坦部を分類することにより平坦部を地表面と推定する手法である。しかし、道路などの平らな面を想定しているため、凹凸がある地表面には適していない。

後者は、地表面と樹木の比率の違いに着目して樹木を除去する手法である。この手法は、樹木を対象とした手法であるため、建機や建物などを除去できない。

(3) 土工に適用した場合の課題

前述した既存手法の課題から、地上設置型レーザスキャナにて施工現場を計測した点群データを対象とした場合に生じる課題を整理・分析する。

ローラ法、平坦度算出による手法や主成分分析を用い

た手法は、現場の建機などの地物を地表面として誤抽出するため、施工現場での活用に適していない。一方、最下点抽出法とTINを用いた手法は、施工現場で活用できるが、その際には、2つの課題が発生すると考えられる。

一点目は、法面などの傾斜がある地表面を正しく抽出できない課題である。土工の現場は、傾斜部の法面と平坦部の天端や小段から構成されるため、ブレイクラインが多く存在する。また、道路や河川堤防は湾曲していることが多く、法面も同様に湾曲形状となる。そのため、本手法をそのまま適用した際には、ブレイクラインや湾曲形状の傾斜面の点が間引かれる課題がある。

二点目は、整地されていない地表面を正しく抽出できない課題である。TINを用いた手法は、最下点を優先的に抽出するため、施工中の凹凸があり整地がなされていない地表面の場合、凸部分の地表面が抽出されない。そのため、本手法をそのまま適用した際には、地表面は抽出できるが、出来高を正確に算出できない課題がある。

3. 地表面抽出手法の提案

本研究では、第2章で論じた2つの課題を踏まえて、傾斜面と未整地の施工現場の状況を考慮した新たな地表面抽出手法を提案する。

(1) 課題への対応方針

「傾斜がある地表面を正しく抽出できない課題」に対しては、最下点抽出法を拡張し、一定の傾斜がある範囲を細かく分割することにより対応する。これにより、ブレイクラインや湾曲形状の傾斜面の点も抽出できる。

「整地されていない地表面を正しく抽出できない課題」に対しては、推定した地表面から標高方向へ一定範囲の幅に含まれる点群データを抽出することにより対応する。これにより、TINを用いた手法では抽出できなかった凹凸地形の凸部分も抽出できる。

(2) 提案手法の概要

提案手法の処理フローを図-1に示す。提案手法は、TINデータ生成機能、傾斜面分割機能と地表面抽出機能

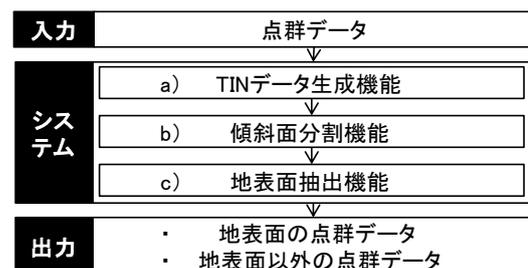


図-1 提案手法の処理フロー

により構成される。TINデータ生成機能では、点群データを入力し、地表面候補のTINデータを出力する。傾斜面分割機能では、「傾斜がある地表面を正しく抽出できない課題」を解決するために、地表面候補のTINデータを入力し、地表面のTINデータを出力する。地表面抽出機能では、「整地されていない地表面を正しく抽出できない課題」を解決するために、地表面のTINデータを入力し、地表面と地表面以外の点群データを出力する。

a) TINデータ生成機能

本機能では、最下点抽出法を参考に、地表面候補のTINデータを生成する。まず、点群データを一定間隔のグリッドに分割し、グリッドごとに最下点を抽出する。このとき、1つのグリッドに1点以上の地表点を含む必要があるため、グリッドの大きさは除去対象の地物に応じて調整する。たとえば、2.0mの建機を除去する場合、3.0m程度のグリッドとする。次に、最下点同士を結んで三角形の網からなるTINデータを生成する。ただし、TINデータを構成する各三角形に着目し、その角度が80度以上の場合は地表面ではなく建物や建機と考えられるため、三角形の構成点から標高が最も高い点を除去する。そして、残りの点を用いて再度TINデータを生成する。

b) 傾斜面分割機能

本機能では、図-2のⅠ～Ⅳの手順に示すように、地表面の傾斜部の精度向上を目的としてTINデータの傾斜面

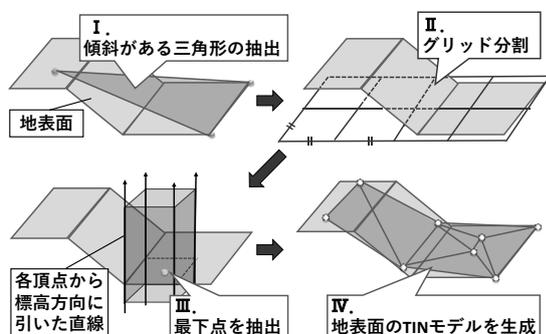


図-2 傾斜面分割機能



図-3 実験場所



図-4 地上設置型レーザスキャナの計測風景

を細分化する。まず、傾斜面とする角度の範囲を設定し、この範囲に含まれる三角形を抽出(Ⅰ)する。次に、その三角形を一定間隔のグリッドに分割(Ⅱ)する。そして、グリッドの各頂点から標高方向に直線を引き、直線に囲まれる点群データから最下点を抽出(Ⅲ)する。最後に、抽出した点とTINデータ生成機能で抽出した点から地表面のTINデータを生成(Ⅳ)する。

c) 地表面抽出機能

本機能では、凹凸があり整地されていない地表面の抽出を目的に、生成したTINデータから一定範囲の点を抽出する。まず、点群データの各点からTINデータまでの垂直距離を算出する。そして、その距離が一定の距離以内である場合は地表面の点として抽出する。また、一定の距離以上である場合は地表面以外の点として抽出する。

4. 実証実験

(1) 実験概要

a) 実験計画

実証実験では、提案手法の有効性を評価するために、「実験Ⅰ. 横断面の可視化による評価実験」と「実験Ⅱ. 地表面抽出精度の評価実験」を実施する。

実験Ⅰでは、断面の目視確認により傾斜面を抽出できることを確認し、実験Ⅱでは、建機の除去精度の評価により未整地の地表面を抽出できていることを確認する。

b) 実験場所

実験場所は、図-3に示す淀水垂地区の河川堤防の築堤工事と加古川流域の河道掘削工事で実施する。実験Ⅰは両方の現場のデータを使用する。また、実験Ⅱは地表面が未整地である後者の現場のデータを使用する。

c) 計測機器と計測位置

地上設置型レーザスキャナは、図-4に示す三菱電機エンジニアリング社製の「フィールドビューア」を用いる。設置箇所は、現場とほぼ同じ高さの数十m離れた位置とし、レーザ計測により点群データを取得する。

(2) 実験Ⅰ. 横断面の可視化による評価実験

a) 実験内容

本実験では、土工の点群データを用いて提案手法の結果を横断面で目視確認し、提案手法の有用性を検証する。横断面は、点群データを横断方向に約1.0mの幅で取得して生成する。提案手法の各パラメータは、TINデータ生成機能のグリッドの長さ(以下、格子長)は5.0m、傾斜面分割機能の傾斜面とする角度は4~80度、地表面抽出機能の距離閾値は0.3mに設定する。

b) 実験結果と考察

2つの施工現場における2断面の表示結果を表-1に示す。

表-1 実験Ⅰの断面表示結果

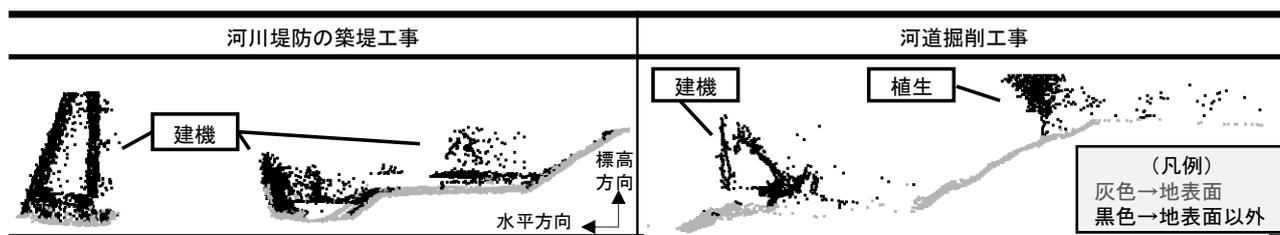


図-5 実験Ⅱの出力結果例 (格子長 3.0m)

表-2 実験Ⅱの評価結果

格子長(m)	提案手法			最下点抽出法		
	適合率	再現率	F値	適合率	再現率	F値
1.0	0.85	0.84	0.84	0.42	0.88	0.56
3.0	0.91	0.83	0.87	0.33	0.95	0.49
10.0	0.63	0.86	0.73	0.27	0.98	0.42

灰色の箇所が地表面，黒色の箇所が地表面以外の点を示している。表-1左の築堤工事の結果では，建機を全て除去でき，高水敷と法面を地表面として抽出できた。また，表-1右の河道掘削工事においても，河床の建機や法面の植生を除去でき，湾曲がある法面やブレイクラインを地表面として抽出できた。このことから，「傾斜がある地表面を正しく抽出できない課題」を解消できた。

(3) 実験Ⅱ. 地表面抽出精度の評価実験

a) 実験内容

本実験では，2台の建機が含まれる19,971点の範囲を対象に，色付き点群データの色をもとに手動で判別した5,293点の建機の点を正解データとして，提案手法と既存手法の最下点抽出法との建機の除去精度を比較する。

除去精度の評価は，適合率と再現率から算出されるF値により行う。各手法のパラメータについて，提案手法のTINデータ生成機能と最下点抽出法の格子長は1.0，3.0，10.0mとする。また，提案手法の他の閾値は実験Ⅰと同様とする。

b) 実験結果と考察

提案手法の格子長3.0mの場合における出力結果の例を図-5に，提案手法と既存手法の評価結果を表-2に示す。表-2の再現率を確認すると，提案手法と既存手法ともに0.8以上であり，建機を大半を除去できていることがわかる。一方，適合率を確認すると，提案手法が0.63～0.91であり，既存手法の0.27～0.42より高い。これは，既

存手法では建機と共に傾斜面のデータも誤って除去されたためである。このことから，提案手法は既存手法よりも高精度に地表面を抽出できることがわかる。ただし，提案手法では，格子長10.0mのF値は0.73であり，格子長1.0，3.0mのF値は0.84～0.87とばらつきがあるため，最適な格子長を設定する手法の検討が必要である。

以上より，最適な格子長を設定した場合，高い水準で建機を除去し地表面を抽出できるため，「整地されていない地表面を正しく抽出できない課題」を解消できた。

5. おわりに

本研究では，点群データから地表面を抽出する既存手法について，地上設置型レーザスキャナを用いて土工に適用した場合の課題を整理した。そして，その課題を解決するための地表面抽出手法を提案し，実証実験により土工の出来高管理への適用可能性を示した。

今後は，時系列の点群データを用いて地表面のオクルージョン領域の補完技術の確立を目指す。また，提案手法の最適な格子長を自動で決定する手法を検討する。

参考文献

- 1) Petzold, B., Reiss, P. and Stossel, W.: Laser Scanning—Surveying and Mapping Agencies are Using a New Technique for the Derivation of Digital Terrain Models, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol.54, No.1 pp.95-104, 1999.
- 2) 横田宏行, 中島保, 民野孝臣: ローラー法によるフィルタリングの紹介, *写真測量とリモートセンシング*, 日本写真測量学会, Vol. 45, No. 4, pp. 18-21, 2006.
- 3) 都竹正志, 島周平, 廣田安男, 滝澤昭博, 稲葉伸二: TerraScan によるフィルタリングの紹介, *写真測量とリモートセンシング*, 日本写真測量学会, Vol. 45, No. 4, pp. 22-25, 2006.
- 4) 横山大: 地上掘置型レーザスキャナを用いた地形計測のためのフィルタリング手法に関する研究, *写真測量とリモートセンシング*, 日本写真測量学会, Vol. 43, No. 3, pp. 22-29, 2004.
- 5) 横山大: 地上掘置型レーザスキャナを用いた地形計測結果からの樹木の自動除去, *写真測量とリモートセンシング*, 日本写真測量学会, Vol. 54, No. 5, pp. 237-247, 2015.