

(51) 多地点のレーザスキャナから取得した 点群データのノイズフィルタリング手法の提案

櫻井 淳¹・田中 成典²・中村 健二³・今井 龍一⁴・窪田 諭⁵・重高 浩一⁶

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）/
国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室

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 東京都市大学准教授 工学部（〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号）

E-mail: imair@tcu.ac.jp

⁵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

⁶正会員 元 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

国土交通省では、土工とコンクリート工を中心に、UAVによる空中写真測量と地上設置型レーザスキャナの活用が検討されている。地上設置型レーザスキャナは、UAVより高精度であるが、一度の計測では不可視領域が発生するため複数回計測する必要がある。多地点のレーザスキャナから取得した点群データの重畳により、同一地点に精度の異なる点が混在するため、3次元モデル生成時に不要な点をフィルタリングする手法が求められている。そこで、本研究では、多地点のレーザスキャナから取得した点群データのノイズフィルタリング手法を提案し、実証実験により提案手法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

国土交通省は、建設現場の生産性向上を目的とした取り組みとしてi-Constructionを推進している。この取り組みでは、UAVによる空中写真測量と地上設置型レーザスキャナの計測により得られた施工現場の3次元データの活用¹⁾を主軸としている。

地上設置型レーザスキャナは、地上からの計測であるため、工事対象物や障害物によるオクルージョンが多く発生する。そのため、施工現場全体の3次元データを取得するためには、異なる位置から複数回に分けて計測する必要がある。その際、地上設置型レーザスキャナの設置位置は、複数の点群データを重畳させるためのターゲットが重複して計測されるように決定する必要があり、現場の状況によっては計測コストが増加する。一方で、地上設置型レーザスキャナは、UAVよりも高精度に計測できることや計測結果を即座に確認できることから、出来形管理や出来高管理に広く活用されている。

地上設置型レーザスキャナを複数位置に設置して計測した結果には、同一地点に対して精度の異なる点が混在する。地上設置型レーザスキャナの計測精度は、入射角や計測距離などに依存²⁾し、機器の設置位置によっては、同一地点に対して5m先から計測された点と100m先から計測された点が混在する状況となる。そのため、3次元モデルを生成する際に、不要な点をフィルタリングする手法が求められている。

既存手法では、各地点の高精度と考えられる点を取得する方法³⁾がある。たとえば、グリッドフィルタリングでは、各地点の周辺点群から平均値や最下点を取得して内挿補完する。そのため、機器の計測誤差により、地表面の標高が真値よりも低い値となった場合、計測点の精度が低下する課題がある。

そこで、本研究では、多地点のレーザスキャナから取得した点群データから、計測特性を考慮して高精度な点群データを抽出するノイズフィルタリング手法を提案する。まず、第2章で提案手法の概要を述べ、第3章で提案

手法の有効性を評価するための実証実験を実施する。そして、第4章にて、本研究を総括し今後の展望を述べる。

2. ノイズフィルタリング手法の提案

本研究では、複数位置の点群データからノイズフィルタリングを行い、高精度な3次元モデルを生成する手法を提案する。提案手法は、図-1に示すように、重畳フィルタリング機能、白線フィルタリング機能とサーフェス作成機能から構成される。

まず、重畳フィルタリング機能では、複数位置の点群データの重畳時に精度が悪いと考えられる点の除去を目的として、距離と密度を考慮したフィルタリング手法を提案する。次に、白線フィルタリング機能では、3次元モデル生成時に面と面の境界線（以下、ブレイクライン）を高精度に再現することを目的として、ブレイクラインに白線を引き、白線上の点を抽出する手法を提案する。最後に、サーフェス作成機能では、市販のAutoCAD Civil 3Dを用いて、フィルタリング後の点群データからTIN（Triangulated Irregular Network）で構成される3次元モデルを生成する。提案手法の重畳フィルタリング機能と白線フィルタリング機能の詳細を次に述べる。

(1) 重畳フィルタリング機能

a) 手法の検討方針

複数位置から得られた点群データをそのまま重ね合わせた場合、同一地点に対して精度の異なる点が混在する。既存研究³⁴⁾では、計測距離が近く、レーザスキャナと計

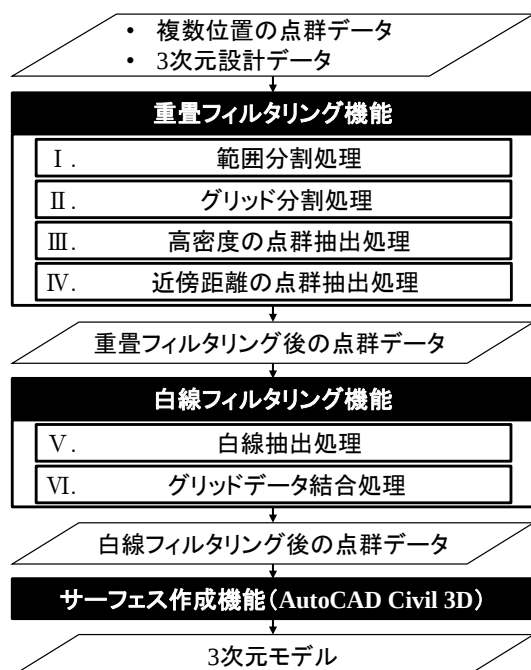


図-1 提案手法の流れ

測対象物との入射角が90度に近いほど高精度になると述べられており、また、これらの値が高いと高密度な点群データが得られる。そこで、提案手法ではそれらの特徴を考慮し、点群データが高密度な範囲の点を抽出する。また、密度が低い範囲では、計測機器との距離が近い点を抽出する。

b) 処理フロー

本機能は、範囲分割処理、グリッド分割処理、高密度の点群抽出処理と近傍距離の点群抽出処理から構成される。入力データは、同じ座標系に変換済みの複数位置の点群データと基本設計データなどの3次元設計データとする。まず、範囲分割処理（図-2 I）では、3次元設計データを用いて天端、法面や小段などの部位ごとの外形となる点を取得し、各部位に点群データを分割する。次に、グリッド分割処理（図-2 II）では、各部位の点群データを一定間隔のグリッドに分割する。そして、高密度の点群抽出処理（図-2 III）では、グリッドごとの点群データの密度を算出し、密度の最も高いグリッドを選定する。そして、その密度が閾値 α を超える場合は、その計測位置の点群データを抽出する。このとき、閾値 α は計測機器ごとに最適な値を設定し、この値未満の場合は、近傍距離の点群抽出処理（図-2 IV）にて、最近傍の計測機器の点群データを抽出する。以上の処理により、重畳時のノイズをフィルタリングした点群データを出力する。

(2) 白線フィルタリング機能

a) 手法の検討方針

本機能では、計測対象物の反射強度をもとに選択的に点群データを抽出する。地上設置型レーザスキャナから得られる反射強度は、計測対象物の輝度が高いほど高くなる傾向がある。そこで、提案手法ではブレイクラインに沿って白線を引き、その反射強度を特徴として白線上の点を抽出する。

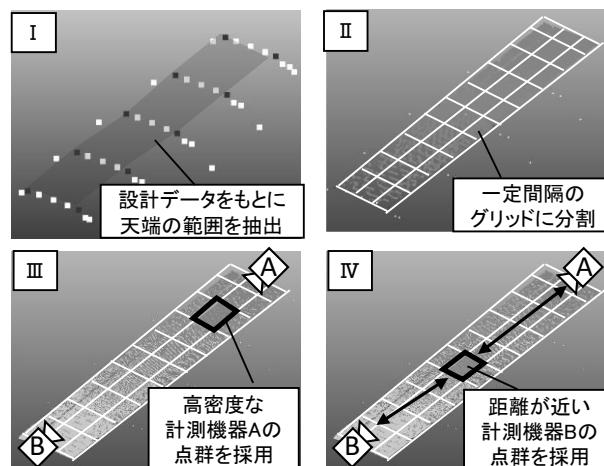


図-2 重畳フィルタリング機能の処理フロー

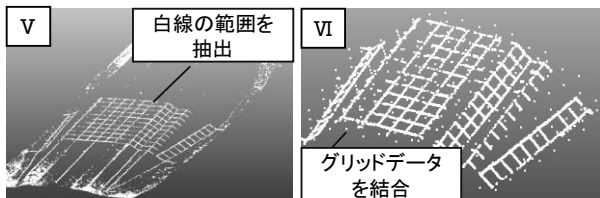


図-3 白線フィルタリング機能の処理フロー

b) 処理フロー

本機能は、白線抽出処理とグリッドデータ結合処理から構成される。まず、白線抽出処理（図-3V）では、計測機器によって白線の反射強度が異なるため、計測機器に適した白線の閾値を設定し、その設定範囲の点群データを抽出する。次に、グリッドデータ結合処理（図-3VI）では、白線が引かれていない箇所の点を生成するため、一定のグリッド間隔で内挿補間によりグリッドデータを生成し、白線の点群データと結合する。以上の処理により、白線フィルタリング後の点群データを出力する。

3. 評価実験

提案手法の有効性を評価するために、2種類の実験を実施する。実験Ⅰは重畳フィルタリング機能の精度評価、実験Ⅱは白線フィルタリング機能の精度評価である。

(1) 実験概要

a) 実験場所

評価実験は、日本建設機械施工協会施工技術総合研究所の道路土工（盛土）の模擬現場（図-4）にて実施する。工事目的物は、延長50mで延長方向に勾配があり、片側斜面に小段を挟んだ凸型形状で構成される。また、中間の10m区間では、白線フィルタリング機能の評価のために、ブレイクライン上とその間を約1m間隔の格子状に白線を引いた。

b) 計測機器

地上設置型レーザスキャナには、FARO社製のFocus3D X330 HDRを用いる。また、精度評価の正解データとして、管理断面および約1m間隔の白線同士の交点に対して、TS計測を実施する。TSは、2級TSであるニコン・トリムブル社のTrimble S6を用いる。

c) 計測位置

計測位置は、始点側と終点側の天端上と左右法面下付近の計6箇所（図-4の i～vi）として計測を行った。

(2) 実験Ⅰ. 重畳フィルタリングの精度評価

a) 実験内容

本実験では、複数位置からの計測データをそのまま重

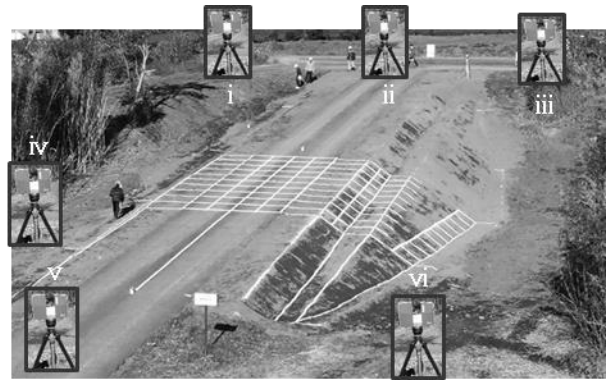


図-4 実験場所と計測機器

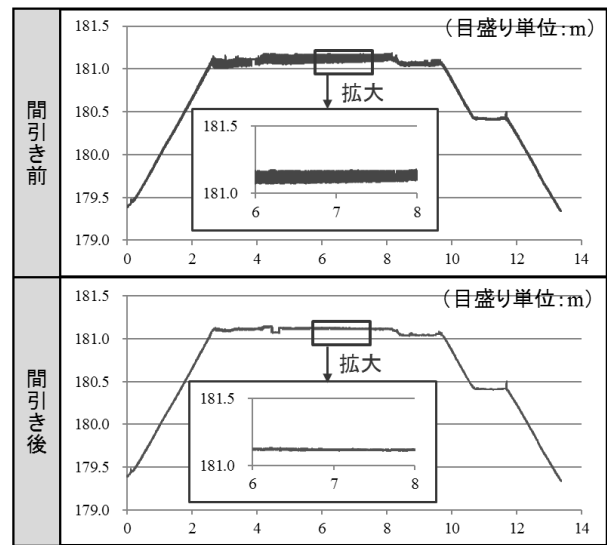


図-5 実験Ⅰの断面比較結果

表-1 実験Ⅰの評価結果

対象	評価結果				
	A評価	B評価	C評価	点数	削減率%
間引き前	4,889 (82.3%)	1,029 (17.3%)	19 (0.3%)	28,047,402	—
間引き後	4,973 (83.8%)	938 (15.8%)	26 (0.4%)	21,142,697	24.6

ね合わせた場合の点群データ（以下、間引き前）と重畳フィルタリング後の点群データ（以下、間引き後）とを比較する。実験手順は、まず、点群データからバッファ幅10cmで横断面を生成する。次に、作成した横断面から1cm間隔で垂線を下ろし、正解データの横断面との標高差を算出する。そして、その標高差をA～C判定で評価する。出来形管理の規格値が標高較差 $\pm 5\text{cm}^2$ であるため、A評価0～5cm、B評価5～10cm、C評価10cm以上に設定する。また、評価対象は管理断面の5断面とする。

b) 実験結果と考察

間引き前後の点群データについて、断面比較結果を図-5、精度評価結果と点数比較結果を表-1にそれぞれ示す。図-5より、間引き後では、特に天端上において点の

ばらつきが軽減している。また、表-1より、提案手法を用いることで点群データの取得精度がA評価で1.5%向上し、点数を約25%削減できている。よって、点群データの精度向上とデータ容量の削減との両面で結果が向上しており、重畳フィルタリング機能の有効性を示した。

(3) 実験Ⅱ. 白線フィルタリング機能の精度評価

a) 実験内容

本実験では、再近隣法²⁾でグリッド化した既存手法の3次元モデル（以下、グリッドフィルタ）と提案手法の3次元モデル（以下、白線フィルタ）を比較する。実験手

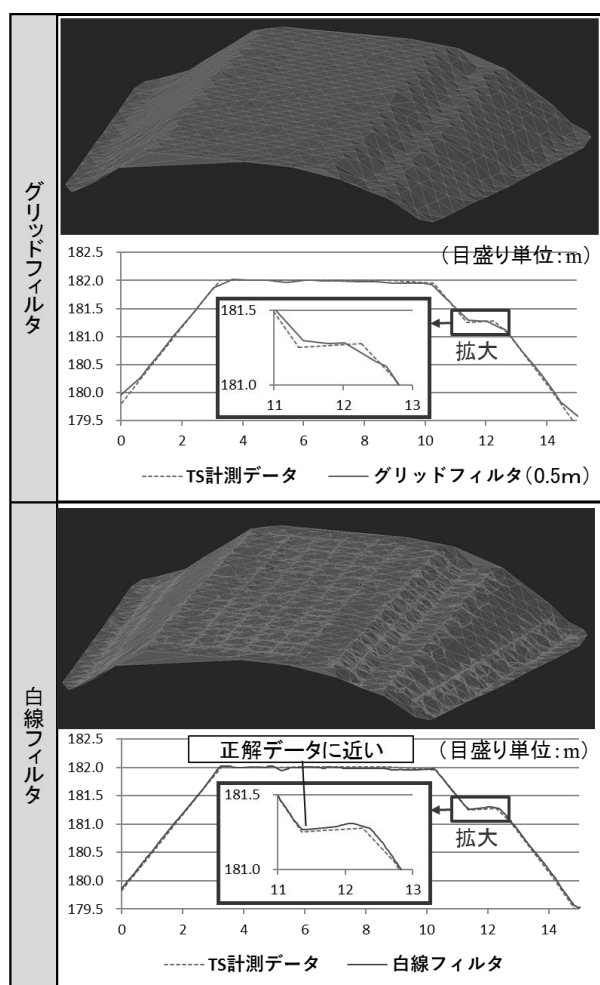


図-6 実験Ⅱの断面比較結果

表-2 実験Ⅱの評価結果

対象		評価結果			点数/㎡
		A評価	B評価	C評価	
グリッドフィルタ	1.0m	10,810 (72.7%)	3,311 (21.7%)	1,512 (9.9%)	1
	0.5m	12,609 (83.1%)	1,944 (12.8%)	425 (2.8%)	5
	0.1m	13,260 (89.1%)	1,486 (10%)	141 (0.9%)	122
白線フィルタ		14,120 (92.6%)	849 (5.6%)	281 (1.8%)	72

順は、まず、TINで構成される3次元モデルに横断線を引き、その線とTINとの交点から断面を作成する。次に、前述の実験と同様に、1cm間隔で垂線を下ろし、標高差からA～C判定で評価する。評価対象は、管理断面の2断面とその間を1m間隔で分割した任意断面の9断面とする。また、グリッドフィルタのグリッド間隔は1.0, 0.5, 0.1mとし、白線フィルタのグリッド間隔は1.0mとする。

b) 実験結果と考察

3次元モデル生成結果の一例として、0.5mのグリッドフィルタと白線フィルタの3次元モデルおよび断面比較結果を図-6に示す。また、各3次元モデルの精度評価結果と1㎡あたりの点数を表-2にそれぞれ示す。図-6より、ブレイクラインを中心にグリッドフィルタよりも白線フィルタのほうが正解データに密着している。また、表-2より、グリッドフィルタはA評価72.7～89.1%であるのに対して、白線フィルタはA評価92.6%であるため、白線フィルタが最も精度が良い。さらに、0.1mのグリッドフィルタの点数が122点であるのに対し、白線フィルタは72点と点数も軽減されている。このことから、点群データの精度向上とデータ容量の削減との両面で白線フィルタリングの有効性を示した。

4. おわりに

本研究では、複数位置から計測した点群データのノイズフィルタリング手法として、重畳フィルタリング機能と白線フィルタリング機能を提案した。そして、これらの機能の評価実験により、点群データの精度向上とデータ容量の削減との両面で結果が向上することを確認し、提案手法の有効性を示した。

今後は、実現場での出来形管理への適用実験を行い、提案手法の適用可能性を検証する予定である。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省国土技術政策総合研究所委託研究「平成27年度点群計測データの3次元モデリングにおける精度確保技術に関する研究」により実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編），2016。
- 2) 国土交通省：レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編），2016。
- 3) 江里口貴生：レーザースキャナーによる施工管理に関する一考察，九州技報，九州地方計画協会，Vol. 45，2009。
- 4) 鹿田正昭：地上型レーザースキャナーデータ計測の標準化に関する調査研究，JACIC 研究助成報告書，第2010-10号，2012。