

鉄道施設を対象とした3次元測量における点群密度に関する一考察

東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 ○小塩 美香
 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 竹谷 勉
 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株)東北支店 正会員 内河 政佳

1. 背景

1.1 3次元測量について

建設生産システムの効率化・高度化が進む中、測量技術の分野においては、点や線で地形を表現していた時代から、3次元で大量の点群データを取得する時代に遷移しつつある。3次元測量の種類は、飛行型でのUAV（ドローン）、車両走行型のMMS（モービルマッピングシステム）、地上型のLS（レーザースキャナー）等があり、その精度は、LS>UAV>MMSの順に高く、地上型LSは緻密な点群データが精度高く得られる。なお、各々の機器に対応する点密度は、地上型LS：2～5cm、UAV：2～10cm、MMS：10cm程度である（参考¹⁾）。

1.2 点群密度

近年、3次元測量の導入が進んでおり、土工を対象とした出来形管理要領²⁾によれば、出来形計測データは1点/0.01m²、数量算出に用いるデータは1点/0.25m²、出来形評価用データは1点/1m²と、一番細かいものでも0.1mメッシュに1点のオーダーである。また、道路を含む地形を対象として、点群密度50点/m²で地図情報レベル250地形図を作成した事例が存在する³⁾。

1.3 目的

鉄道施設は、土木構造物（橋りょう、高架橋、土工、トンネルなど）や軌道（レール、まくら木など）に加え、電気設備（架線、電柱など）と、形状が複雑なものも含んでおり、点群データで実形状を再現するためには、高密度の点群データが必要である。鉄道を対象として詳細な点群密度で3次元測量を実施した例は少なく、仕様書を定めることを目指して、本稿では、鉄道橋を対象として、地上型LSを用いて3次元測量を実施した結果と考察を述べる。

2. 実施内容

2.1 測量の概要

今回の測量の対象とした橋りょうは、L=54m、4径間の河川橋りょうであり、測量範囲は線路方向100m（橋りょうを中心にその前後含む）、線路直角方向26mの範囲である。夜間2日間、昼間3日間行い、夜間には主に軌道内を、昼間は周辺の地形等を計測した。軌道内は約10mピッチごとに機器を配置した。

2.2 測量機器

3次元測量は、まず初めに従来の方と同様、TS（トータルステーション）にて基準点、水準点測量を行う。次に平板測量に関しては、TSに代わり地上型LSで代用する。今回用いた地上型LSの概要を表-1、スキャンの様子を図-1に示す。三脚で本機器を据付けした後、レーザーでスキャンを開始し、水平方向に360度、

鉛直方向に270度、高速回転しながらレーザーを飛ばして、跳ね返ってきた点群データを取得する。今回、測定間隔は10m先で、水平0.016m×垂直0.002mの点群ピッチ（約490点/0.01m²）で設定した。今回、1回あたりの計測は約15分（機器据付・起動. 設定4分、スキャン2分、写真撮影5分、計測確認1分、ターゲットの指定3分）であったが、点群密度や機器の性能によっても異なる。

表-1 地上型LSの概要

機種	ライカ Scan Station P40
寸法	238mm × 358mm × 395mm
重量	約13kg
測定範囲	水平360° 鉛直270°
測定距離	0.4 ～ 270m
スキャンスピード	最大1,000,000点/秒
測定精度	50m先での座標精度σ=3mm



図-1 スキャンの様子

2.3 点群密度の計数方法

点群密度は、単位面積あたりの点群数であるため、計測データのうち平面で点群データが得られた箇所（まくら木部分）における点群数を計数した。

3. 実施結果

3.1 測量結果

橋りょう全体を捉えた点群データを図-2に示す。次に、オリジナルデータに対して間引き率を5段階に設定し、点群密度を落とした場合の総点群数データ量及び点群密度を比較した（表-2）。オリジナルデータは全体で約7.61億点、データ量約37.2GBであった。データ容量が大きくなればなるほどコストも処理時間も増大するため、必要最小限の点群密度にすることが望ましいといえる。

続いて、2.3に記載した方法で点群密度を計数したところ、オリジナルデータで約900点/0.01m²と非常に詳細なものであった。国交省の出来形計測データが1点/0.01m²であることを踏まえれば、今回取得した点群のオリジナルデータはその900倍程度の点群密度であったことが分かる。

3.2 点群画像の比較

間引き率10%以下のデータについて、レール・まくら

キーワード 3次元測量, CIM, 点群データ

勤務先 〒020-0034 岩手県盛岡市盛岡駅前通1-48 019-654-6942

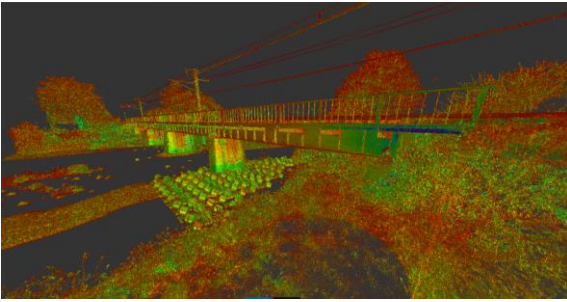


図-2 点群データ（橋りょう全体）

表-2 点群データ数とデータ量の関係

間引き率	総点群数	データ量	点群密度
100%	約 7.61 億点	約 37.2GB	約 900 点/0.01m ²
50%	約 3.80 億点	約 18.6GB	約 450 点/0.01m ²
10%	約 0.76 億点	約 3.72GB	約 90 点/0.01m ²
5%	約 0.38 億点	約 1.86GB	約 45 点/0.01m ²
2%	約 0.15 億点	約 0.76GB	約 21 点/0.01m ²
1%	約 0.08 億点	約 0.38GB	約 5.5 点/0.01m ²

ら木・バラスト部分を対象とした点群画像を作成し、視覚的に点群密度を比較した（図-3）。間引き率 10% 時（約 90 点/0.01m²）の点群画像は、軌きょう形状が十分に認識できた。点群密度が低くなるに従って、まくら木やレールの形状が認識しづらくなることが確認されたが、間引き率 2% 時（約 21 点/0.01m²）においても、軌きょう形状を認識できた。

3.3 鉄道設備を対象とした点群密度

点群密度と点間距離の比較を図-4 に示す。間引き率 10% の約 90 点/0.01m² を図-4 に当てはめると、点の直線方向の距離は 10mm 超程度であることが分かる。一方、鉄道の電気設備の中でも代表的な架線（トロリ線）は形状を捉えるのが困難な設備の 1 つと考えられる。トロリ線は標準で 110mm²（直径 12.34mm）新幹線では 170 mm²（直径 15.49mm）が一般的に用いられている。連続した線であるので、断面ごとに必ず 1 点必要とは限らないが、小さい方の直径 12.34mm を代表として、2 倍程度（24.68mm）の距離で 1 点とすれば、25mm で 16 点/0.01m² であることから、点群密度は約 20 点/0.01m² 以上必要であると思われる。

4. 考察

トロリ線の大きさから仮定した 20 点/0.01m² は、今回の点群測量データの間引き率 2% のレベルに値し、点群密度（約 21 点/0.01m²）で軌きょうの形状は認識できた。今後は点群密度 20 点/0.01m² を目標に、他の箇所でも 3 次元測量を行い、測量機器の性能の検証と、得られた点群データから形状が認識できるか検証を行う必要がある。

点群画像	点群密度	間引き率
	約90点 /0.01m ²	10%
	約45点 /0.01m ²	5%
	約21点 /0.01m ²	2%
	約11点 /0.01m ²	1%
	約5.5点 /0.01m ²	0.5%

図-3 点群画像の比較

5. まとめ

今回は鉄道設備を対象に試行的に 3 次元測量を行い、詳細な点群データを取得した。そこから点群を間引いたところ、点群密度が低くなるに従って形状が認識しづらくなることが確認されたが、間引き率 2% 時の点群密度（約 21 点/0.01m²）で軌きょう形状が認識できることがわかった。

6. 参考文献

- 1) CIM 導入ガイドライン（案） 第 1 編 共通編，国土交通省，2017 年 3 月
- 2) レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案），国土交通省，2017 年 3 月
- 3) 地上レーザースキャナによる地形測量，小松崎弘道ら，「写真測量とリモートセンシング」Vol52, No.6, 2013

0.1m×0.1mメッシュ (0.01m ²)の点群数						
点群密度	9点/0.01m ²	16点/0.01m ²	25点/0.01m ²	36点/0.01m ²	49点/0.01m ²	100点/0.01m ²
直線方向	33.33mm	25.00mm	20.00mm	16.67mm	14.29mm	10.00mm
対角方向	47.14mm	35.36mm	28.28mm	23.57mm	20.20mm	14.14mm

図-4 点群密度と点間距離の比較