

## 3D点群データを活用した鉄道用測量図面の品質向上と効率化の取組み

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○近藤政弘 松本美香  
J R西日本 IT ソリューションズ(株) 松村一保  
i システムリサーチ(株) 西川啓一  
(株)Geo ソリューションズ 加賀谷仁秀

### 1. はじめに

地上レーザー測量やMMS測量など、鉄道分野においても三次元(3D)点群データの活用<sup>1)</sup>が行われている。筆者らは、これまで鉄道の土木設計施工で必要となる測量(平面測量、横断測量等)の図面作成について、現地取得した3D点群データより、軌道中心線やホーム端ライン等、鉄道の設計施工で特に重要な対象物を幾何学的に精度よく、かつ省力化(半自動的に)できるようにアルゴリズムを開発した。開発概要およびこれを用いた測量の実用状況を報告する。

### 2. 開発概要

#### (1) 地上レーザースキャナによる測量の導入

これまでの鉄道設計・施工での測量は、写真-1に示すように、線路近傍での作業や場合によっては線路内作業(軌道中心線測量など)が必要となっていた。このため、作業員の安全を担保するよう列車見張り員を配置して、列車の間合い時間で作業を行う他、線路閉鎖手続きという確実に列車の進入が無い措置を実施して作業を行っており、かなり負担の大きい作業であった。一方、近年では地上レーザースキャナ機器の高精度化等が進み、公共測量作業規定でも三次元点群測量の編が新設<sup>2)</sup>され、写真-2に示すように鉄道の設計・施工における測量分野においても、従来の測量ではなく地上レーザースキャナを活用した測量の適用が進められており、これにより作業安全度の向上が図られている。

#### (2) 3D点群データから図面の品質向上と効率化

地上レーザースキャナによる測量活用により、現地での測量時間の短縮は図られている一方で、測量図面を作成する内業に多くの作業時間が必要となっていた。また、軌道中心線など現場には実際には存在しない仮想線を算定するため、人による誤差もみられることも少なくなかった。これらを改善するため、筆者らは軌道中心線位置等を自動抽出するアルゴリズムを作成し、測量へ活用することで、作業の品質向上と効率化を図っている。



写真-1. 従来測量の様子(軌道中心線測量)



写真-2. 地上レーザースキャナによる測量

キーワード 三次元測量, 鉄道, 生産性向上

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) TEL 06-6303-1446

### (3) 軌道中心線等の抽出手順

軌道中心線（左右レール直交間隔の中心）は現地に存在しない架空の線である。従来測量では、写真-1に示すように左右レールの間に測定棒をあてて軌道中心位置を一時的に特定し、その点を測量する。線路内に立ち入らない地上レーザースキャナによる測量では、測定時にこの点を直接取得することはできないので、測定されるレールの点群データから算定することになる。その手順を以下に述べる。

取得した3D点群データから、軌道付近の点群データを自動抽出する(図-1)。次に、この抽出したデータから、左右レール各々の主要な点（レール頭部天端の両端点や天端の中心位置を特定し、抽出する。なお、レールの頭部全体形状が取得されない場合も想定して、レールの主要点一部の情報からレール天端中心点を算定することも可能なアルゴリズムを作成した(図-2の右側図参照)。そして、これらレールの主要点から幾何学的に軌道中心線を測定する。なお、緩和曲線を含めた曲線区間では、列車走行性のため、カント（外軌側レールを内軌側レールよりも高くするもの）およびスラック（直線区間の軌間幅よりも内軌側レールの方へ軌間幅を少し大きくするもの）を設けている。本アルゴリズムでは、図-3に示すようにレール主要点からスラックやカント量を自動的に算定できる。

また、ホームの端について実務で必要となる位置は、列車の乗降より定められる所定のホーム高さで、最も線路側に近い位置である。場合によっては、図-4に示すように縁石やブロックの経年的な供用状況により、上記で定義されるホーム端の位置は、現物では存在しない仮想点となる場合もあり、軌道中心線と同様に、従来測量では測定棒を交差させて一時的な点を設け計測していた。これに対しても、取得したホーム形状の3D点群データから、ホーム上面ラインと線路側最外縁ラインの交差点を幾何学的に自動算定するアルゴリズムを用いて算定できるようにした。

## 3. 従来測量との比較

### (1) 軌道中心線測量

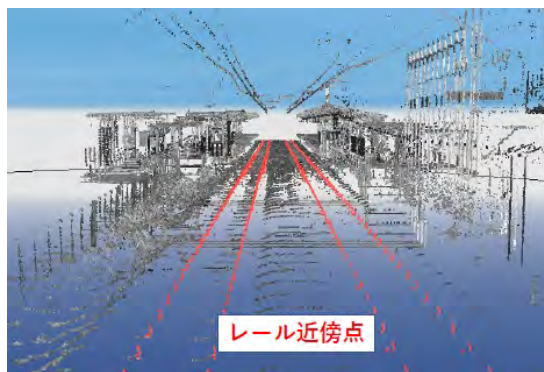


図-1. 軌道付近の点群データ抽出

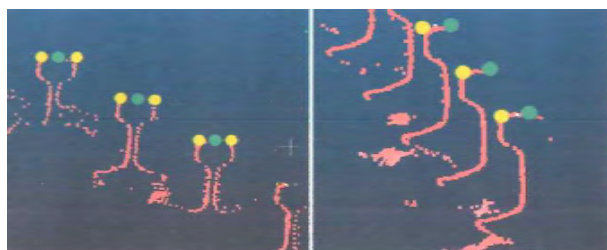


図-2. レール頭部主要点の算出

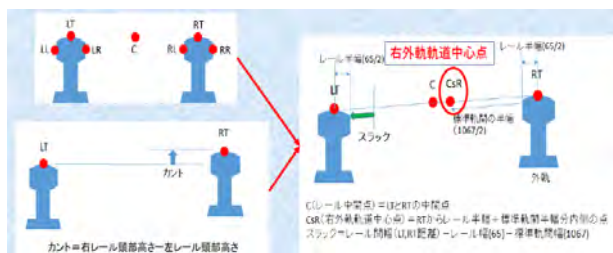


図-3. 軌道中心線の算定概要

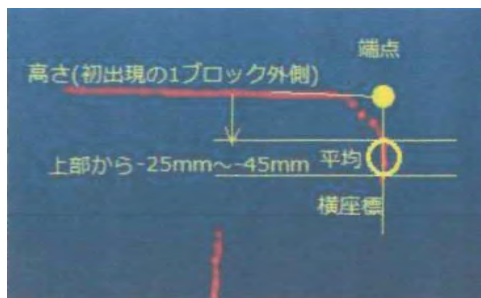


図-4. ホーム端のライン算定

従来の測量は、線路方向 5~10m 間隔の位置ごとに左右レール間に測定棒を設置、この結果について財産上の線形情報をもとに復元するものである。このように離散的な点を取得する従来測量と比較して、地上レーザースキャナでは、軌道付近の多くのデータが取得できており、2章で述べたアルゴリズムを用いることで線路内に入らなくても軌道中心線を精度よく算定できる。今回、鉄道の複線区間での現場にて、地上レーザースキャナによる測量と従来測量の両方を実施し、双方から得られる軌道中心線位置を比較した。

軌道中心線位置の比較(一部)を図-5に示す。従来測量では離散的な点(赤丸)にしかすぎないが、地上レーザースキャナ測量では連続的(今回の場合は線路方向に1mピッチ)な点での現位置情報が算定できており、現状の軌道の状況をより詳細に把握できている。

1m 毎の3D点群から算定された軌道中心位置間を直線補間して、同じキロ程で相互の位置を比較した。結果を図-6に示す。両者の差の多くが6mm以内、最大でも12mmである。従来測量においても真値とのずれはあることから精度としては十分であると考えている。また、左右レールの高さ差よりカント量も自動算定できる。下り線での算定結果を図-7に示す。曲線開始後にカントが順増していく現状を再現できている。次に、軌道の高さについても同様の比較を行った。結果を図-8に示す。3D点群(1m 毎)は連続的な軌道高さ変化をよく把握できている。

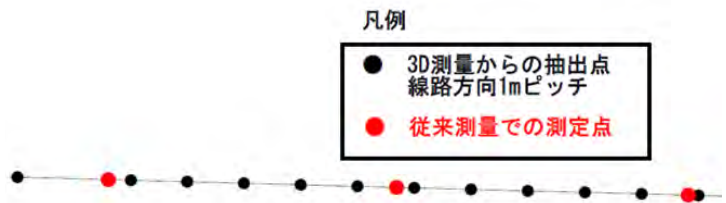


図-5. 軌道中心位置の比較

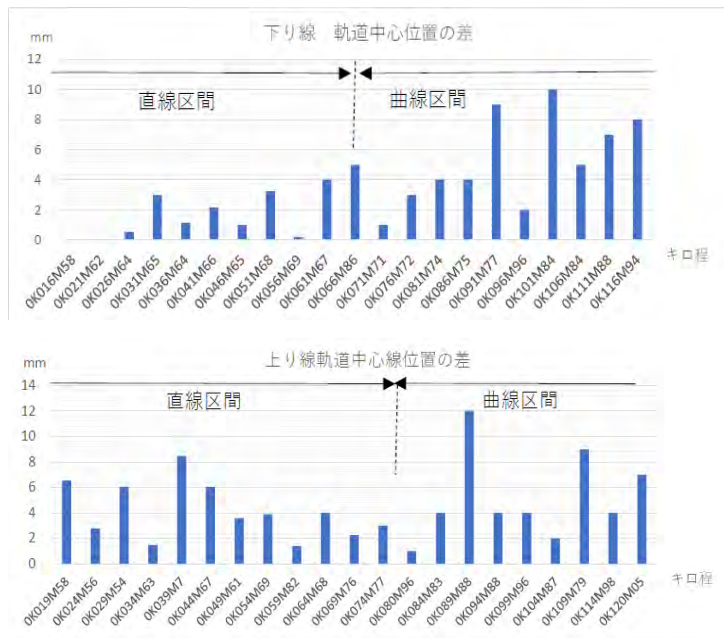


図-6. 従来測量と3D点群から自動算定結果との差 (同じキロ程における軌道中心位置の相互距離差)

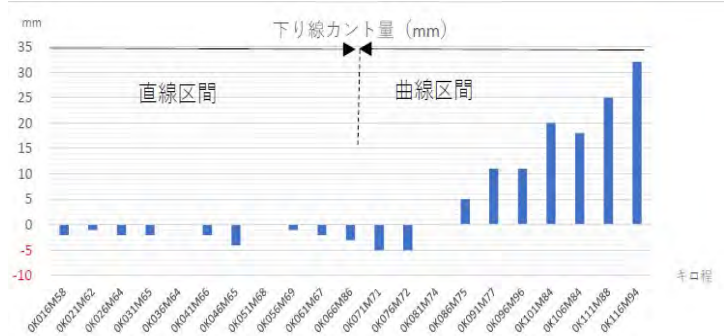


図-7. 3D点群から自動算定でのカント量

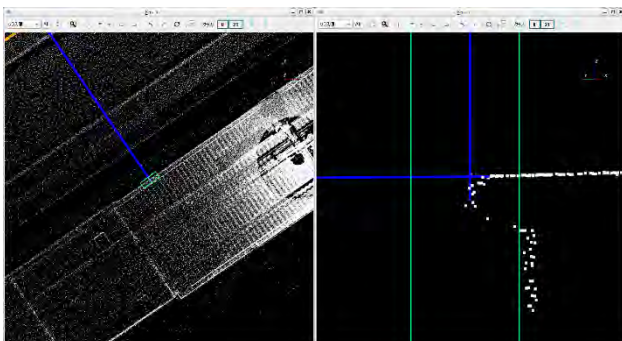


図-9. ホーム端位置の算定事例

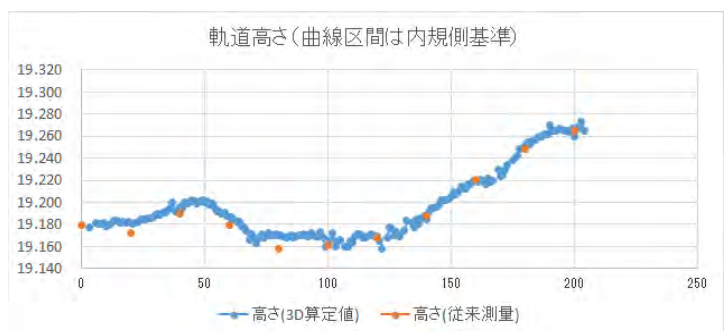


図-8. 3D点群から自動算定の軌道縦断

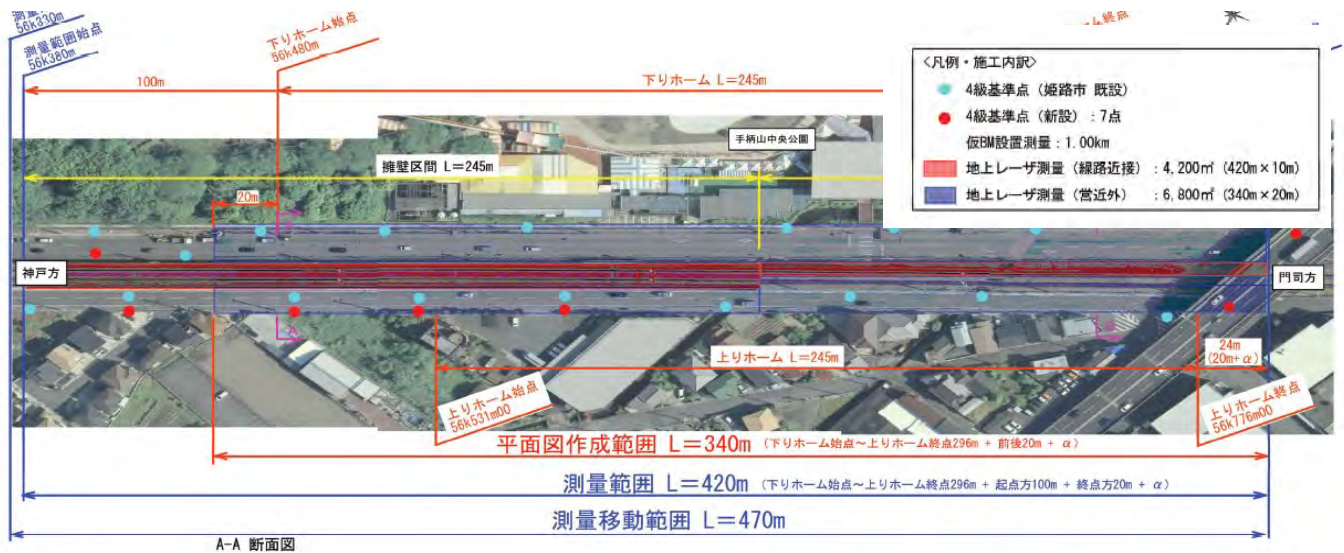


図-10. 鉄道複線区間の測量における基準点および地上レーザースキャナ設置事例（平面）

## (2) ホームの測量

相対式ホームの駅において、対面側のホームから地上レーザースキャナで想定し、本アルゴリズムでホーム端を算定した結果を図-9に示す。実際には現地に存在しないホーム端位置を精度よく抽出している。

## 4. 実運用

### (1) 地上レーザースキャナでの現地測量

鉄道工事（現在、複線区間 400～500m 区間）の設計施工に用いる測量のため、地上レーザースキャナによる 3D 点群データを取得した事例を述べる。機器の平面的な配置位置を図-10、また、線路横断面での機器の配置位置を図-11に示す。基本的に施工基面外に機器を設置し、約 20m 程度間隔で測定位置を移動して 3D 点群データを取得した。一部擁壁区間があり、この区間のみは施工基面内に入るため線路近接作業となるが、この区間以外は線路から離れた位置での作業が可能であり、従来測量と比較して測量作業の安全度は大幅に向上した。また、従来測量での必要日数の 3 割程度の日数で現地作業を終えることができた。

### (2) 内業（測量図面作成）

各位置で測定された 3D 点群データを合成する。この際に、現地で別途実施した 4 級基準点測量で設けた標定点で絶対座標系を与える。軌道中心線とホーム端の抽出とその部分の図化について、本アルゴリズムを用いないで実施していた際は約 5 時間の作業であったが、本アルゴリズムを用いての図化作業は、3.5 時間となり、これまでの図化処理と比較して約 3 割の時間削減効果があった。

## 5. おわりに

地上レーザースキャナ機器による 3D 点群データの他、MMS やドローン測量によって取得する 3D 点群データからも本アルゴリズムを用いて、軌道中心線やホーム端等の抽出は可能である。目的や用途に応じて、これらのレーザー測量も活用し、鉄道測量での品質向上と効率化に取り組んでいきたい。

- 参考文献**
- 1) 例えば、藤田ら、橋まくらぎ合成化事前調査への移動体三次元計測システムの応用、土木学会第 71 回年次学術講演会 VI-343、平成 28 年 9 月
  - 2) 国土交通省、公共測量作業規定の準則、第 4 編三次元点群測量、2020 年 3. 31