

# 11. 路面切削工における施工履歴データを用いた出来形管理の検討

前田道路株式会社

〃

〃

○ 宮内 賢徳

宇田川 健治

葛原 淳

## 1. はじめに

令和2年度から新たに追加されたICT舗装工(修繕工)では、路面切削工においてICT施工機械と作業装置の施工中の軌跡(以下、施工履歴データ)を組み合わせたデータを使って出来形管理を行う手法が、国土交通省の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」(以下、管理要領)に示された。従来工法では必要な切削深さなどのマーキング作業や施工のための準備作業に時間を要しており、また、交通規制など時間制限があるなかで切削面の出来形計測作業を行っていた。管理要領で示された手法により、高精度の施工やデータ管理の簡略化・書類の作成に係る負荷の軽減等が可能となるため、出来形管理作業の大幅な効率化・省力化が期待できる。しかしながら管理要領に則った管理ができるシステムは少なく、現場へ普及していないのが現状であった。

既報<sup>1)</sup>では、路面切削機のICT施工方法としてGNSSを用いたマシンガイダンス(以下、GNSS式MG)についてのシステム構成や施工方法を紹介し、取り扱いの簡便さや施工精度などについて検証結果を報告した。その後、管理要領の内容を踏まえてGNSS式MGシステムを利用した施工履歴データの取得方法についての検討を重ねてきた。

本論文は、市販のレーザー距離計を使って路面切削工の切削深さを計測・記録するとともに、GNSS式MGシステムの位置情報とレーザー距離計による計測結果を時刻同期により施工履歴データを生成する方法について、その精度検証結果と実用性を報告するものである。

## 2. 目的と概要

### 2.1 施工管理システムの要求性能

管理要領に示された施工履歴データによる出来形計測システムに求められる機能・精度を以下に示す。

- ① システム上でリアルタイムに施工機械(刃先)の位置と該当位置における設計標高値と切削高さ、あるいは設計厚さと厚さ(切削深さ)の表示が得られること。
- ② 施工履歴データによる出来形計測は、計測対象

範囲内で1m<sup>2</sup>(1m×1mメッシュ)あたり1点以上の計測点が得られる設定で計測を行うこと。ただし、縦断方向においては切削方向1mごとに1点取得し、横断方向においては切削幅に応じて、施工履歴データを算出しても良い。

- ③ 各施工日の施工開始前に、作業装置位置の測定精度がx, y座標の各成分とも±50mm以下であることを確認すること。また、標高較差の管理を行う場合は履歴取得位置との較差が0mm以下であり、深さ管理を行う場合は履歴取得位置との較差が0mm以上であることを確認すること。

### 2.2 目的

ICT舗装工(修繕工)では事前測量として地上型レーザスキャナ(以下、TLS)による3次元測量を行う。既報<sup>1)</sup>では、3次元測量で取得した現況点群データから作成した3次元現況路面データを使ってGNSS式MGを行う方法を紹介した。この3次元現況路面データとGNSSによる3次元位置データ、そしてレーザー距離計による切削深さデータを組み合わせて3次元座標を持った切削面の施工履歴データを生成するシステムを構築し、得られた施工履歴データの精度を検証することとした。

### 2.3 GNSS式MGと施工履歴システムの構成

GNSS式MGシステムおよび施工履歴システムの設置状況を写真-1に示す。



写真-1 GNSS式MGと施工履歴システムの設置状況

GNSS式MGの施工および施工履歴システムに必要な機材類およびデータは以下のとおりである。

出来形管理用トータルステーション(以下、TS)は、作業開始時に施工履歴システムの精度確認試験で使用した後、作業中はGNSS式MGにおける施工精度の適宜チェックのために用いる。

表-1は施工履歴システムで用いたレーザ距離計の諸元を示したものである。路面切削工は通常10～15m/minの速度で作業を行うため、レーザ距離計によるデータ取得間隔は1秒に1点程度が望ましく、この要求性能を満足する装置を選定した。

【GNSS式MGシステム】

- ・VRS方式GNSSローバ
- ・ローバ用マスト
- ・ガイダンス表示用モニタ
- ・出来形用TS(用途：施工精度確認)
- ・3次元切削厚さデータ

【施工履歴システム】

- ・レーザ距離計 2個
- ・白色反射板 2個
- ・履歴取得用PC 2台
- ・出来形用TS(用途：精度確認試験)
- ・3次元現況路面データ

表-1 レーザ距離計の諸元

項目	内容・性能
メーカ及び型式	Leica 社製 DISTO X3
測距精度*	1mm
測距範囲*	0.05～150m
最小測定単位	0.1mm
Bluetooth® Smart の範囲	10m 未満
温度範囲	-10～50°C

※：白の反射板(白塗りの壁)、周囲に強い光がなく、一般的な生活可能範囲の温度状態の条件の時

2.4 施工履歴システムの概要

写真-1に示したように施工履歴システムにおける計測装置は、切削ドラム左右のワイヤセンサ付近にレーザ距離計を、レーザ距離計直下のサイドカバー部分に白色反射板を設置したものである。

レーザ距離計による施工履歴取得方法の概念図を図-1に示す。サイドカバーは常に既設路面の高さに位置しているのに対し、切削ドラムは切削深さに応じて上下移動するため、レーザ距離計でこの間の距離を計測すれば切削深さを測定していることになる。

路面切削工の施工履歴データを取得するには一定間隔の時間で切削深さを記録必要がある。そこでレーザ距離計と履歴取得用PCをBluetoothで接続し、計測した時刻(PC時刻と同期)と距離を

1秒間隔でExcelに自動記録するよう設定した。

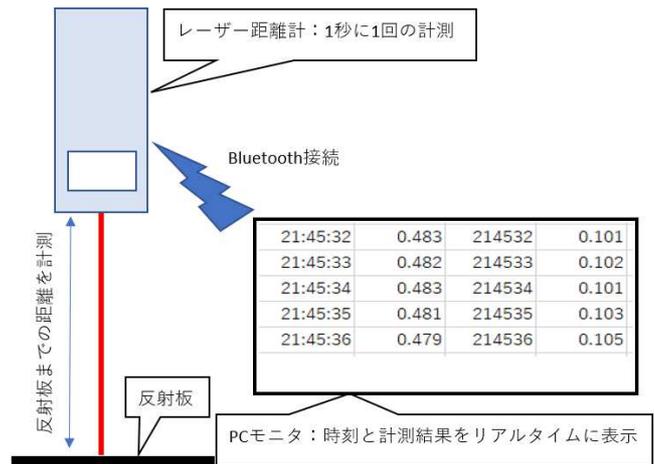


図-1 レーザ距離計による施工履歴取得方法の概念図

2.5 施工手順

施工履歴システムを使ったGNSS式MGの施工フローを図-2に示す。

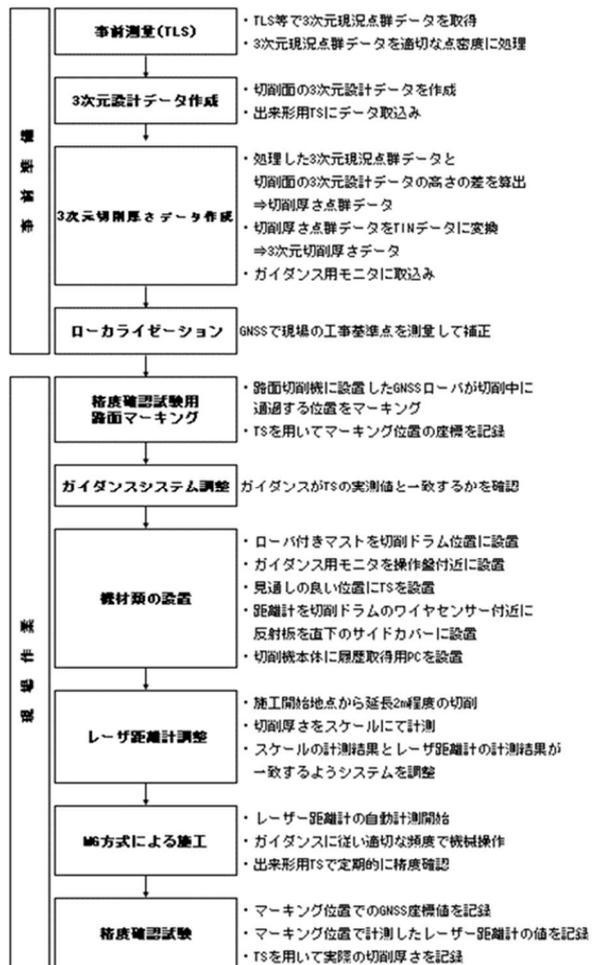


図-2 施工履歴システムを使ったGNSS式MGの施工フロー

事前準備として、TLSで計測した3次元の現況点群データに基づいて切削面の設計を行い、3次元設計データを作成し、これらのデータを用いて3次

元切削厚データを作成する。また、GNSS を使用するために現地においてローカライゼーション作業を行う。

現場作業における GNSS 式 MG システムのキャリブレーションは、MG のモニタ表示値と TS の表示値との差異を確認してシステムの調整を行う。その後、切削機の切削ドラム部分に GNSS ローバを付けたマストを、オペレータが操作する位置にガイダンス表示用モニタを設置する。

施工履歴システムの準備として、まず、施工履歴システムの精度確認用に日々の施工開始地点付近の GNSS ローバが通過する位置を選定し、その位置の設計値を路面にマーキングする。その後、切削ドラム左右のワイヤセンサ付近にレーザ距離計を、レーザ距離計直下のサイドカバー部分に白色反射板を、リアルタイムに計測結果を保存する PC をそれぞれ設置する。

施工履歴システムのキャリブレーションは、作業開始時に延長 2m 程度の予備切削を行って現況面と切削面の差(切削深さ)をスケールで計測し、PC に表示されたレーザ距離計の数値とスケールによる実測値が一致するようシステムを調整する。

GNSS 式 MG システムおよび施工履歴システムのキャリブレーションが完了後、施工履歴システムで計測を行いながら GNSS 式 MG の作業を行い、作業終了後に各装置を切削機から取り外す。

### 3. 施工履歴データの生成手順

施工履歴データの生成に必要なデータを以下に示す。まず、GNSS ログデータの点群処理を行い、この高さデータを 3 次元現況路面データの値に置換する。次に、その処理データに対応する時刻の切削厚さをレーザ距離計のログデータから抽出し、両データを合成させるという手順で行う。

- ・ 3 次元現況路面データ
- ・ GNSS のログデータ(時刻,x,y,z)
- ・ レーザ距離計のログデータ(時刻,切削深さ)

#### 3.1 GNSS ログデータの点群処理

GNSS ログデータは使用するシステムや計測時間によって異なるものの、1 日の施工あたり 10,000 ~100,000 点程度のデータが得られる。このデータには施工履歴として必要となる作業中のデータだけでなく、ノイズと呼ばれる路面を切削していない(切削ドラムが路面より高い位置にある)時のデータが含まれている。

点群処理方法を試行錯誤した結果、まず切削機の進行方向に対し 0.25~0.5m 毎に 1 点の GNSS ログが残るよう表計算ソフトで点群密度調整を行い、次に施工レーン毎にデータが得られるように点群

処理ソフトで各点群の計測時刻に注意しながらノイズ処理を行い、最後に、施工レーン毎のデータとなるよう区分けを行う方法とした。施工履歴データをレーン毎に作成する概念図を図-4 に示す。

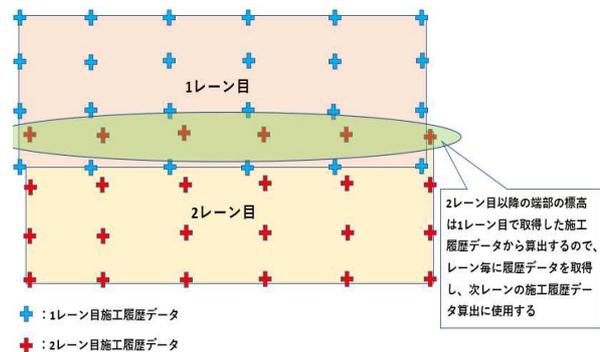


図-3 切削レーン毎の施工履歴データ

#### 3.2 現況高さのログデータの生成

レーザ距離計は切削ドラムの両端に設置しているものの、GNSS ローバは切削ドラムの片側のみの設置である。そこで、GNSS ローバと反対側のレーザ距離計の位置は、GNSS ログデータから得られる切削機の進行方向に対して直角方向に 2.05m(切削ドラムの幅)の位置として新たに点群を設けた。

次に、GNSS 測量は ICT 舗装工(修繕工)で要求される高さ精度が確保できないため、TLS 測量で求めた 3 次元現況路面データを使って各点群の高さ(z 方向)データを置換して現況高さのログデータ(時刻,x,y,現況高さ)を生成した。

#### 3.3 出来形評価用施工履歴データの生成

生成した現況高さのログデータ(時刻,x,y,現況高さ)とレーザ距離計のログデータ(時刻,切削深さ)を使って切削高さの施工履歴データ(時刻,x,y,切削高さ)を算出し、これを施工履歴データとした。

算出した施工履歴データは切削機の進行方向から直角に 2.05m 幅で配置されたデータ群である。管理要領では横断方向においては切削幅に応じて施工履歴データを算出して良いとなっていることから、前工程で得られた両端 2 点を使って点補間を行い、密度調整をすることで、出来形評価を行うための計測点が 1m<sup>2</sup>に 1 点以上となる施工履歴データを生成した。

### 4. 施工履歴データの精度検証

#### 4.1 検証内容の概要

今回の手法により取得した施工履歴データの検証を目的に、施工履歴システムを使った GNSS 式 MG を行った切削面について TLS 計測を行い、それぞれの面管理による出来形評価結果を比較した。

検証を行った工事概要を表-2 に、施工状況を写真-2 に示す。現場は片側 2~3 車線のうち上り追越

車線の直線部分で計測を行った。なお、路面切削機はホイール式の酒井重工業社製 ER552F であり、熟練オペレータが機械操作を行った。

表-2 施工履歴データの検証を行った現場概要

項目	内容
工事名	R 2 神奈川出張所管内舗装修繕他工事
発注者	国土交通省 横浜国道工事事務所
施工場所	神奈川県横浜市戸塚区東俣野町付近
施工数量	上り車線、L=65.71m、W=約 3.5m
施工内容	切削オーバーレイ工 路面切削 (t≒100mm) オーバーレイ (基層 t=50mm、表層 t=50mm)



写真-2 施工履歴データ取得の施工状況

#### 4.2 検証結果

施工履歴データと TLS 計測それぞれの面管理による測定結果一覧を表-3 に、出来形評価結果をヒートマップで比較したものを図-4 に示す。

なお、測定項目は標高較差であり、データ処理は管理要領に基づき以下の方法で行った。

- ① 計測対象面について 1m<sup>2</sup> 以内のグリッドを設定し、グリッドの中央あるいは格子点に評価点 (x, y) を設置する。
- ② 評価点の標高値は、評価点を中心とする 1m<sup>2</sup> 以内の実計測点と設計面との差の最頻値又は差の平均値を設計値に加算した値を用いる。

表-3 測定結果一覧

項目	施工履歴データ	TLS 計測データ
データ数	223	223
平均値	1mm	0mm
最大値	8mm	10mm
最小値	-5mm	-8mm
ばらつき(±80%以内)	100%	100%
ばらつき(±50%以内)	100%	99.5%
ばらつき(±20%以内)	81.1%	81.1%

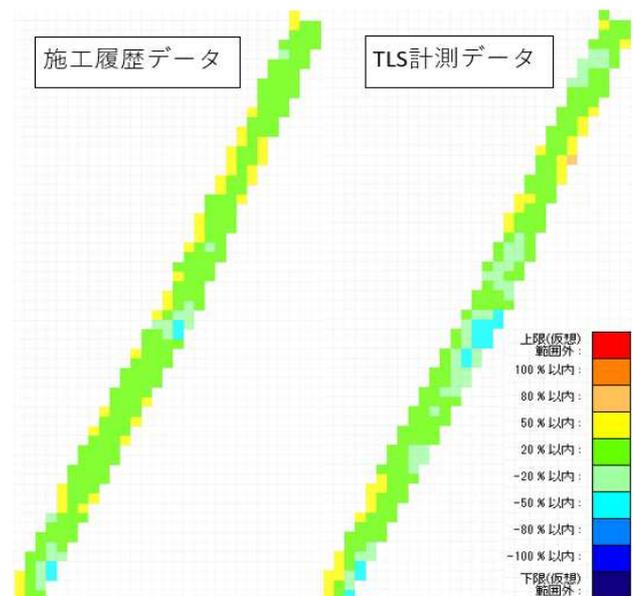


図-4 ヒートマップ

#### 4.3 検証結果の考察

図-4 より、施工履歴データと TLS 計測データのヒートマップは色区分の分布が類似していることが分かる。施工履歴データのヒートマップにおいて青色よりも黄色が多い分布である理由は、点群データより平均値が 1mm 程度高くなったことが原因として考えられ、施工開始時のレーザ距離計の調整を正確に行うことで解決できると考えられる。

表-3 において平均値、最大値、最小値を比較すると、各項目とも非常に近い結果が得られている。最大値、最小値それぞれの差については TLS 計測の評価対象点数が約 21,000,000 点であるのに対し、施工履歴データの評価対象点数約 2,000 点と点密度に差があり、最大値、最小値の振れ幅に違いが出たと考えられる。しかし、評価点全点におけるばらつきはほぼ一致しており出来形評価に使用する施工履歴データとして、十分な精度が得られていると判断できた。

#### 5. まとめ

今回得られた結果から、本手法による施工履歴データは出来形資料として十分利用できると判断できる。本技術を路面切削機の MC・MG と併用することで、従来の路面マーキング作業や切削面の出来形管理を削減することができ、生産性・安全性の向上に寄与できると考える。今後は様々な現場条件に適應できるよう改良を行い、路面切削工におけるさらなる生産性の向上を目指す。

##### 参考文献

- 1) 宮内ほか：路面切削機での GNSS を用いたマシンガイダンス活用事例について、令和 1 年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集