

30. 現況路面データを基準に用いた3D切削システム

トータルステーション不要の3D-MCシステム

株式会社トプコン ○ 平岡 茂樹
 (一社) 施工技術総合研究所 八木橋 宏和
 株式会社トプコン 小川 和博

1. はじめに

舗装業界は、ICT 舗装工が施工されて2年目に入っており、維持修繕などの第2段階に移行する時期に差し掛かっている。(図-1)そこで今回、その一助となりうる道路維持修繕工の最も一般的な切削オーバーレイ工の効率向上につながるマシンコントロールシステムを紹介する。

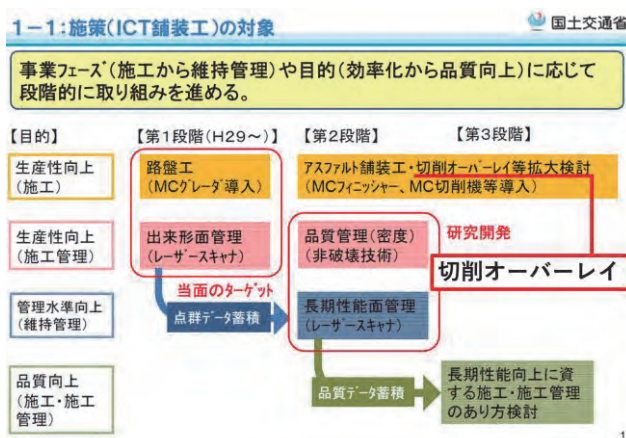


図-1 出展：国土交通省 ICT 舗装工について（国土交通省ホームページ）

従来は、現況高さから設計高さを計算して路面に切削深さをマーキングして施工していた。また、既にトータルステーション（以下 TS）を用いた3D-MCシステムも既に活用されているが、以下の課題があることから利用場面が限定されていた。

- ① 切削機の正確な位置を求めるための TS 設置に時間がかかる。
- ② 既設道路の修繕工事では、TS の設置場所が無い場合や街路樹、街灯などの障害物も多く存在し、限られた場所にしか設置できない。このため盛り替えの頻度が多くなり、大型三脚等で設置するため更に設置作業に時間がかかる。
- ③ ダンプ等により視通が遮断され、その間作業が中断するため、TS の追尾状況を監視する必要がある。

本稿では、本 MC システムの予備実験として、車載システムを台車に搭載し、システムの確実性と、従来の TS を用いた3D-MCシステムに対する作業の効率化の期待値について評価を行った。また、本システムに必要な3次元の現況面計測方法についても検証したので合わせて紹介する。

2. 本 MC システムについて

本システムは、切削オーバーレイ工に ICT を適用し、準備の効率化、作業の省人化と安全性の向上を図るシステムである。従来は、現況高さから設計高さを計算して路面に切削深さをマーキングして施工、また、3D-MC では自動追尾 TS を活用して設計高さにコントロールしていた。一方、本システムでは、従来の3D-MCが高さを持つ設計面であるのに対し、設計厚さを設計面として利用している。現場施工時は、施工機械の2次元位置を GNSS で計測する。次に制御位置高さをソニックセンサ計測し、設計切削深さ（設計厚さ）と同じになるように施工機械を制御する新しいロジックの ICT 舗装システムである。(図-2)

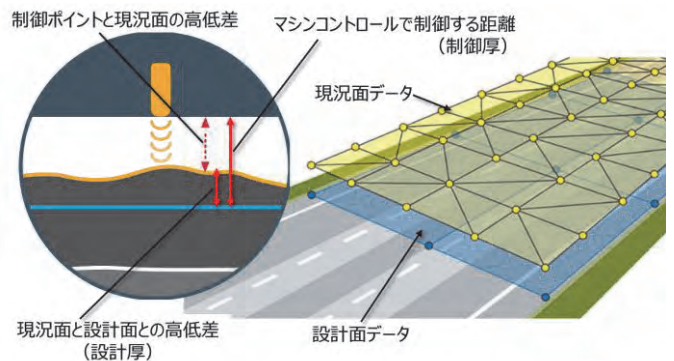


図-2 現況面と設計面の活用イメージ

作業ルーチンとしては、まず現況面データを取得し、その現況面データから設計面データ（厚さ）を作成、その2つのデータが入力された MC システムで切削機、アスファルトフィニッシャを制御

する。本稿では、本 MC システムの設計厚算出値の正確性と効果、本 MC システムに必要な現況面の計測方法につき検証した。

3. 検証実施日および場所

- ・検証日：平成 30 年 2 月 15 日～2 月 20 日
- ・テストヤード概要（図-3）

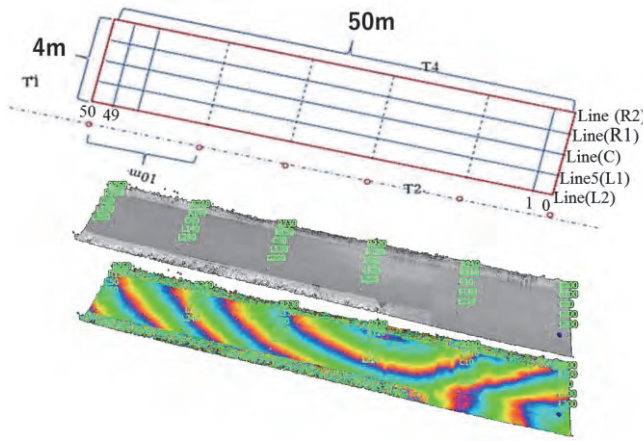
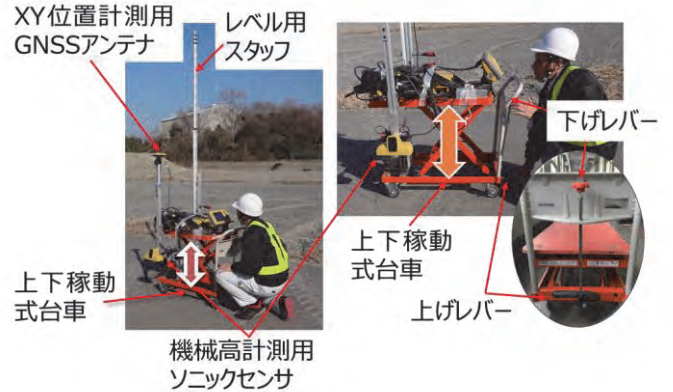


図-3 検証テストヤード

4.2 設計厚計算値検証

実際に切削工に使う前に現況面データと設計面データを入力し、専用昇降可能台車でオングレードに合わせた時の高さをレベルで計測し設計高さとの比較検証を実施した（写-1）。RTK-GNSS の位置データから施工位置を特定し、ソニックセンサで現況面計測後システムとして正しく切削厚を算出してコントロールできるか確認した。（図-5）



写-1 上下稼動式台車

4. 本 MC システムの評価

今回は、実際の切削機で検証する前段階のテストとして、本システムを台車に搭載して実験を行った。

4.1 本 MC システムの構成

本 MC システムの構成（実装例）と作業手順について（図-4）に示す。

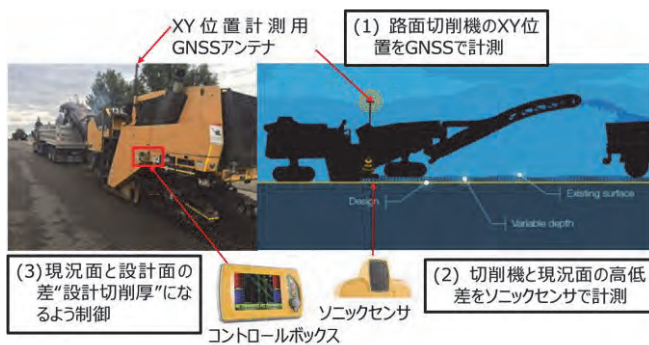


図-4 本 MC システム構成図



図-5 本システム検証状況

- ① 検証点において正しく切削厚が計算されているかを確認した。
- ② ソニックセンサの計測値により台車（切削機）を昇降した結果を計算値と比較した。

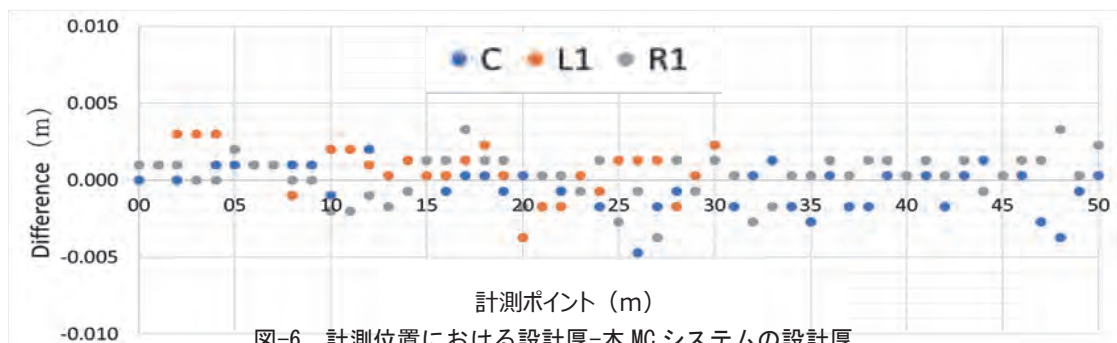


図-6 計測位置における設計厚-本 MC システムの設計厚

以下グラフは、計測位置における「設計厚一本MCシステムで計算された設計厚」をC、L1、R1ラインで1m毎に計測した結果を示したグラフである(図-6)。舗装材料が細かい舗装面では±3mm以内かつ標準偏差1.2mm、透水性アスコンの場合でも標準偏差1.5mmであり実施工でも問題なく使えるレベルと想定される。また、現地盤との比較計測用ソニックセンサの精度についても、レベルでの計測値と比較して±1mm以内であることを確認した(図-7)。

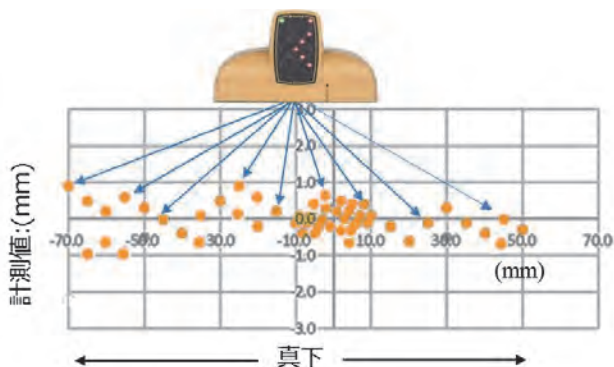


図-7 ソニックセンサ精度確認グラフ

4.3 切削工の効率化検討

本実験では、本システムの効果検証として(図-8)の3つのケースについて準備から出来形管理までの作業性を比較した。

- ・延長100m 幅員6m (2m 毎3レーン) 切削総延長300m 600 m²
- ・1レーン切削機セット5分 100m 切削時間(15m/分) 7分=12分 3レーン 36分
- ・切削作業フロー(図-8)

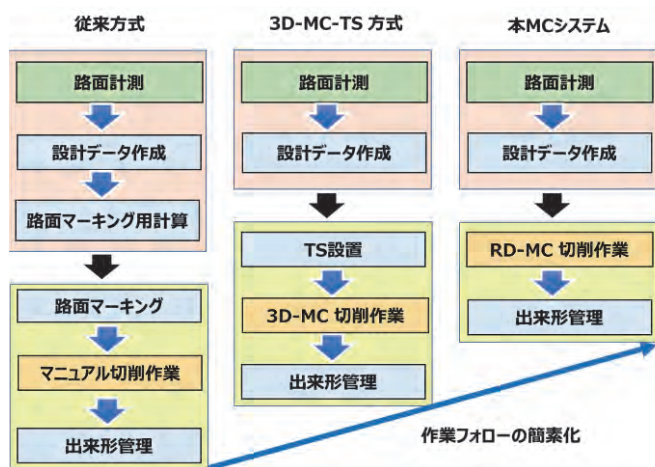


図-8 切削作業フロー比較

②検証結果

【従来工法】

- ・路面マーキング 2人工 20分
- ・切削工ではオペと左右のアジャストマン2名で3人工

【TSシステム(左右制御)】

- ・TSはスタート時左右1台ずつ設置(2回), TS盛替えは片側1回(合計3回)
- ・TS設置3分 後視点観測3分 計6分 左右2ヶ所+盛り替え1箇所 計3回となり TS設置計18分(6分×3回)
- ・プリズムをロストしないよう1名TS側駐在 TSサポート 36分
- ・切削工は切削機械オペ1人工のみ
- *TSを設置できる場所が限定され頻繁に盛り換えが必要な場合あり。もしプリズムをロストした場合切削作業ストップのリスクもある。

【本MCシステム(左右制御)】

- ・切削機械オペ1人工 36分のみ

③期待できる効果

- ・作業時間短縮

従来は2人工56分, TSは48分, 本MCシステム(VRSの場合)は, 36分となる。本MCシステムはTS設置の準備時間が無くなり, TSシステムより25%作業時間短縮となる。従来工法と比較すると更に路面マーキング作業も不要なことから36%作業時間の短縮となる。(図-9)



図-9 切削作業時間比較

・省人化

従来は, 路面マーキング作業, 左右2名のアジャストマン作業が入り, 延べ人工時間148分, TSシステムの場合, 最初の2台の機械設置作業で2人工, プリズムロスト回避のサポートで1人工を含め延べ人工時間は90分。

一方, 本MCシステムの延べ人工時間は, 切削機械オペ1人工36分となる。よって本MCシステムは, 従来に比べて76%削減, TSに比べて60%削減の省人化が期待できる。(図-10)

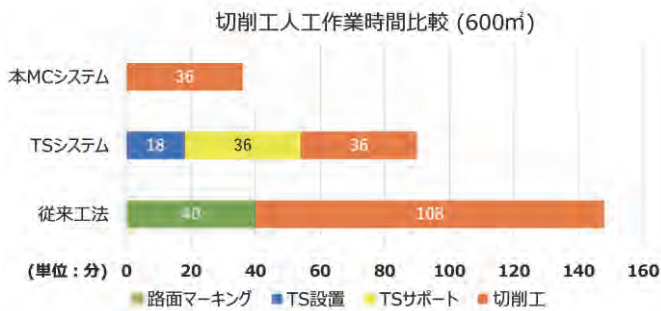


図-10 切削延べ人工作業時間比較

④従来工法, TS システムの課題解決効果

本システムを活用することにより, 以下従来工法および TS システムの課題解決効果が考えられる。

- ・路面マーキングする必要が無いため, マーキングのために道路を遮断する必要がない。
- ・TS を設置する必要がないため, TS 設置場所まで光源を置く必要がない。
- ・TS の視通を確保するため大型三脚の使用, あるいは頻繁に盛り変える必要が無い。
- ・TS を使用しないのでダンプなどの遮断によるロスもなく, TS 側に作業員を置くなどの“お守り”をしなくて良い。
- ・夜間作業は, 昼間作業より危険であり, 省人化が図れば安全性も向上する。

5. 現況面観測方法の検証

本 MC システムの利用においては, 現況面を正確に計測する必要があり, 現況面を効率的に取得する方法について検証を行った。

1m メッシュを TS (X,Y), レベル (H) で計測し, 各計測方法 (①~④) の標高を比較した。

5.1 検証計測方法

①移動式路面計測装置“RD-M1”(以下「本計測装置」という (図-11, 写-2)。



図-11 RD-M1 システム構成



写-2 移動式路面計測装置計測状況

②地上型レーザースキャナ (写-3)



写-3 地上型レーザースキャナ計測状況

③車輪移動式プリズムを用いた自動追尾型 TS (国土地理院で規定が無い TS 等光波方式) (写-4)



写-4 車輪移動式プリズムを用いた自動追尾 TS 計測状況

④ノンプリズム型 TS (2 級 TS) (写-5)



写-5 ノンプリズム TS 計測状況

5.2 現況面計測精度検証結果

現況路面 3 次元データの取得について, 以下に述べる 4 種類の方法を検証した。比較検証は, 1m メッシュを TS (X,Y), レベル (H) で計測し, 各

計測方法の標高を比較した（表-1）。

5.3 現況面計測時間比較

- ・自動追尾 TS+車輪移動式プリズムの計測時間が圧倒的に短い。
- ・移動式路面計測装置は 400 m²以上になれば車輪移動式プリズムを用いた自動追尾 TS より計測時間が短くなる。
- ・ノンプリズム型 TS の計測時間は、移動式路面計測装置、地上型レーザースキャナとほぼ変わらないが自動計測機能を使えば視準作業は不要となり省人化につながる。（図-12）

5.4 現況面計測方法比較結果まとめ

現況面データ取得方法では交通規制ができる場合とできない場合があり、施工規模でも効率が変わってくるが、小規模現場では車輪移動式プリズム方式がレベルと比較しても計測時間を 64%削減できた。中規模から大規模現場では移動式路面計測装置がかなり有効だが他計測方法よりばらつきがやや大きい。

また、交通規制ができない場合は、舗装工事の要求精度を考えるとノンプリ TS あるいは地上型レーザースキャナになるが、コスト面から考えるとノンプリ TS、わだち等の詳細も計測したい場合

場合は地上型レーザースキャナとなり状況に合わせて選択する必要がある。

6. おわりに

本稿では、切削オーバーレイ工で使う最新の本 MC システム“RD-MC”の効果について、新しいロジックを使って本システムが正しく切削厚を算出しているか、作業効率も含めて検証した。その結果、目標厚さ（レベル）に比べて標準偏差で 1.2mm と高精度にコントロール可能であること、従来の TS システム（3D-MC）と比べ作業効率（省人化）が 60%向上するシステムであることを確認した。

また、本システムを活用することにより、TS の設置とサポート作業がいらなくなることから省人化だけではなく、路上の作業員削減により、夜間の安全面という点でも大きなメリットになると考える。

一方、本システムに必要な現況面データの計測方法については、①移動式路面計測装置、②地上型レーザースキャナ、③車輪移動式プリズムを用いた自動追尾型 TS、④ノンプリズム型 TS について比較実験を行ったが、交通規制ができる場合とできない場合、また規模によって使い分ける必要があることがわかった。

表-1 計測精度比較表（計測点数：n=255）

計測方法	条件	平均値 (m)	標準偏差 (m)	最大 (m)	最小 (m)	最大-最小 (m)
ノンプリズム型TS	1 mに1箇所 ファインモード	0.001	0.0009	0.002	-0.003	0.005
地上型 レーザースキャナ	ファインモード	-0.002	0.0012	0.002	-0.006	0.008
車輪移動式プリズムを用いた自動追尾TS	移動体計測	0.001	0.0019	0.007	-0.006	0.013
移動式路面計測装置 “RD-M1”	最大時速 10km	-0.011	0.0041	0.000	-0.023	0.023

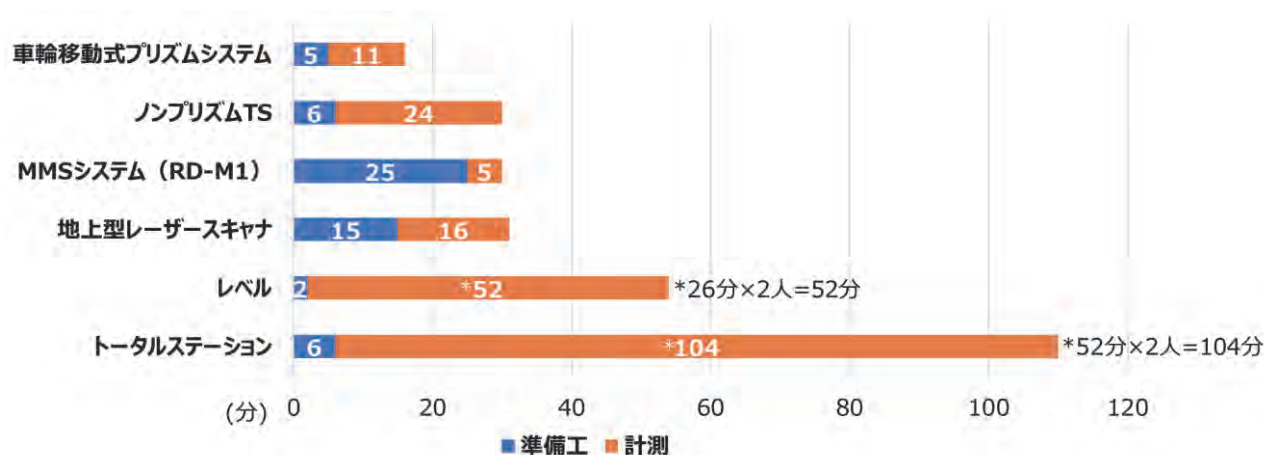


図-12 現況測量計測時間比較表 (4m×50m 200 m²)

今回の実験では、交通規制できる場合は、車輪移動式プリズムを用いた自動追尾 TS、交通規制できない場合は、既に出来形管理でも活用されている地上型レーザースキャナ他、ノンプリ型 TS の活用も効率向上に有効と考えられる。

本実験により、舗装維持管理においても ICT を用いた本 MC システムが「生産性向上」、「熟練オペレータ不足への対応」、「安全性の向上」に寄与できる可能性を確認できた。今後は、実機による効果検証等によりシステムの適用性の確認とその効果、また、極端なわだち掘れや切削機のタイヤ式とクローラ式の違いによる影響など今後の取り組み課題として検証していきたい。

本システムが舗装維持管理の生産性革命の一助になると幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調製課, 第1回ICT導入協議会 (平成29年3月7日開催), 【資料-4】 ICT舗装工について, P1, 2017