

ICTによる舗装修繕工事の効率化について ～ICT活用による現道作業での省力化，品質向上の取組み～

古田大樹¹・望月紗輔²

¹名古屋国道維持第二出張所（〒486-0958 春日井市西本町3-270）

²名古屋国道事務所 管理第二課（〒467-0833 名古屋市瑞穂区鍵田町2-30）

これまでの舗装修繕工事では，現道上での交通規制やそれに伴う日々の交通開放などの制約があり，短時間で多くの作業員の配置と熟練したオペレータによる切削・舗設が行われていた．昨今の人手不足の問題に対応すべく，今後本格導入される舗装修繕工事のICT施工に先駆けマシンガイダンス技術を活用して，現道で交通規制を行いながらICTによる舗装修繕工事を実施した．現道上での実運用にあたり，マシンコントロール技術との比較，生産性向上（熟練工の減少対策）や品質の向上，施工上の安全性について実用性や可能性を報告する．

あ

キーワード：ICT舗装工（修繕工），情報化施工，マシンガイダンス，切削オーバーレイ工

1. はじめに

令和2年度に基準化されたICT舗装工（修繕工）は，原則として切削オーバーレイ工が対象となっている．切削オーバーレイ工は，供用中の舗装を路面切削機（以下，切削機）により切削し，アスファルトフィニッシャーで新たな舗装を構築する工法であるが，特に切削機のICT施工には課題が多い．

本報は切削機へのICT施工を広めることを目的に，課題の抽出とその解決策の一つである3次元マシンガイダンス技術（以下，MG）に着目しその適用および実用性について報告するものである．

(1) ICT施工に関する変遷

ICT施工（情報化施工）は情報通信技術を活用して高効率・高精度な施工を行うもので，縦断面図や横断面図から作成した3次元設計データを基にICT技術を使い建設機械の操作や油圧制御などを行う施工方法である．これにより仕上り精度などの品質や安全性，日当たり施工量の向上，熟練オペレータ不足への対策など様々なメリットが期待できる．

舗装工事では2004年ごろからブルドーザやモータグレーダへの3次元マシンコントロール技術（以下，MC）

のICT施工が導入され始め，他の建設機械やトータルステーション（以下，TS）を用いた出来形管理技術（以下，出来形用TS）への適用拡大が進んでいる．表-1はICT施工（情報化施工）に関する国土交通省の施策の変遷を示したものであるが，ICT施工技術の進歩に合わせて迅速に基準類が規定され，これらの一般化や実用化の推進により今やICT対応の建設機械はレンタルでも調達できるようになった．

(2) ICT舗装工およびICT舗装（修繕工）の概要

ICT舗装工およびICT舗装工（修繕工）の各施工段階における必須事項を表-2に示す．平成29年度に基準化されたICT舗装工は，新設舗装工事を対象としたもので，

表-1 ICT施工に関する変遷

年	国土交通省の動向
2007	国土交通省イノベーション推進大綱（施工の情報化の推進）
2008	情報化施工推進会議，情報化施工推進戦略
2009	社会資本整備重点計画（情報化施工等の普及促進）
2010	情報化施工技術の一般化・実用化の推進
2016	i-Construction元年，CT土工の導入
2017	ICT舗装工の導入
2020	ICT舗装工（修繕工）の導入

表-2 ICT活用工事におけるICT施工技術の活用項目

基準 施工プロセス	ICT舗装工	ICT舗装工 (修繕工)
①3次元起工測量	必須	必須
②3次元設計データ等作成	必須	切削計画は必須
③ICT建設機械による施工	モータグレーダ、ブルドーザは必須	選択（3次元位置を用いた施工管理システム）
④3次元出来形管理等の施工管理	表層は必須	選択（施工履歴データを用いた出来形管理）
⑤3次元データの納品	必須	必須

表-3 舗装工事に関するICT施工技術の比較

種類	マシンコントロール	マシンガイダンス
概要	3次元データを使って機械の装置を自動制御	3次元データを使った操作ガイドでオペレータが機械操作
主な機械	・モータグレーダ ・ブルドーザ	・バックホウ
切削機適用の課題	・対応機種が限定 ・MC用装置が希少 ・改造や脱着が難しい	左記の課題が解決できるが舗装工への利活用が少ない
切削機施工時のポイント	・誤作動時に制御困難 ・通信が途切れると作業停止	誤作動や通信遮断時はオペレータが従来操作で作業継続

現する技術が求められる。一方で施工段階のICT活用における現場条件を比較すると、新設工事が対象のICT舗装工は基本的に交通規制を行わない条件であるのに対し、修繕工事が対象のICT舗装工（修繕工）は供用中の道路を交通規制して規制時間内に作業を終える必要があるため、ICTシステムには迅速かつ確実性が求められる。

表-3 は舗装工事に関するICT施工技術を比較したものであるが、MC用の建設機械やシステムが汎用的でなく、また施工時に測位が途切れるとシステムも止まるなど多くの課題がある。そこでこの解決策の一つとしてMG方式が提案されている²⁾。MGはMCと比べて舗装工へ導入例は少ないものの、一般化されたシステムの使用・機械への着脱性・測位中断時も施工が継続できるなど切削機のICT施工に係る課題を多く解決できる。

以上のことから、切削機のMG方式の適用および実用性について検証を行った。

2. 実施現場

(1) 工事概要

切削機にMG方式を適用した現場の工事概要は以下のとおりである。

工事名：令和元年度 尾張舗装修繕工事

工事場所：名古屋国道維持第一，第二出張所管内

（R41豊場地区，R1螺貝地区など5か所）

工事内容：切削オーバーレイ工（A=13,000m²），

区画線工，仮設工

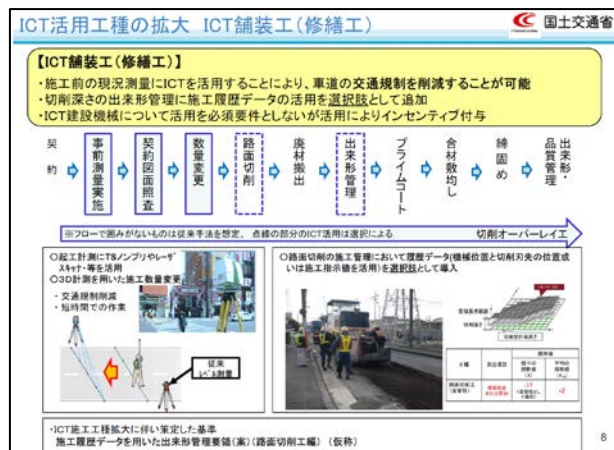
工期：2019年11月01日～2020年06月19日

発注者：名古屋国道事務所

受注者：前田道路株式会社

(2) 実施方法および使用機材

切削機のMGの方法には、一般化技術である出来形管理用TS等を用いるTS方式（以下、TS式MG）と、人工衛星を用いるGNSS（衛星測位システム）方式がある³⁾。本工事では各方式を現場条件に応じて適用したが、本報は豊場地区（A=6,240m²）で行ったTS式MGの実施結果

図-1 ICT舗装（修繕工）の概念図¹⁾

表中の①～⑤の全ての施工段階でICT施工技術を活用することが必須であり、起工測量や出来形管理に地上型レーザースキャナ（以下、TLS）等を活用し、不陸整正工や路盤工の施工でMCモータグレーダ等を使用することにより、測量の効率化や丁張りの省略やICT施工などで工期短縮や省人化を図るものである。

一方、ICT舗装工（修繕工）は、図-1 に示すように舗装修繕工事を対象としたもので、表-2 の①～⑤の施工段階はICT舗装工と同じであるものの、必須は①、②、⑤の3項目であり③と④は選択項目となっている。具体的には、TLS等により現況測量を行い切削計画するまでが必須であり、路面切削工にMC切削機等を使用して3次元位置の施工履歴データを取得することや、施工履歴データを使った切削深さの出来形管理は実施を選択できる。ICT舗装（修繕工）でTLSを活用することで、現況測量時の車道の交通規制の削減が図られ、選択項目ではあるもののICT施工による省力化や出来形管理の効率化が期待できる。

(3) 修繕工事におけるICT施工および切削機の課題

路面切削工の切削厚さの出来形管理基準は-7mmであり、切削機のオペレータにはミリ単位の高度な操作技術が求められ、ICT施工においても同様の高度な操作を実

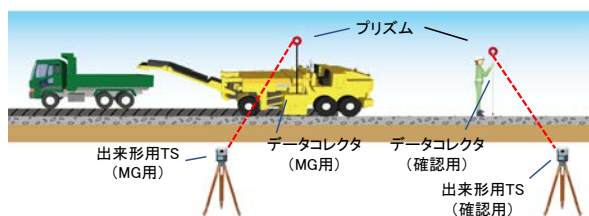


図-2 TS式MGによる切削工の概念図

について報告する。

TS式MGの施工における機材類および配置の概念図を図-2 に示す。出来形用TSは測距するTS、ターゲットとなるプリズム、データ処理を行うデータコレクタで構成されている。路面切削工は基本的に1回の切削作業で仕上げる施工方法であり作業の手戻りは難しい。そこでMG用のTSに加えて切削深さ確認用に別途TSを配置して作業状態の管理を行った。

(3) ICT舗装工（修繕工）の実施

a) 3次元起工測量

3次元起工測量はTLSを歩道部や路肩部などに設置し起工測量を行った。3次元起工測量に要した日数は、工事基準点の設置など事前準備で1日、TLS計測で1日であり、全てを車道の交通規制無しで作業を行うことができた。計測状況写真を図-3 に示す。

計測で得られた3次元データはソフトウェアを使って所定の点群密度になるよう整理し、これを3次元測量データとした。3次元測量データを図-4 に示す。

b) 3次元設計データ等作成

設計図書および3次元起工測量の測量データを用いて切削計画（切削ボリューム計算）を行った。次に切削計画に基づいて切削面およびオーバーレイ面（表層面）の3次元設計データをソフトウェアにて作成した。

c) ICT建設機械による施工（TS式MG）

準備した2セットの出来形用TSに3次元設計データを事前に取り込み、各出来形用TSを現場作業に支障のない位置に配置し、プリズム付ポールを切削機の切削ドラムの位置に取り付けた。

日々の開始時の効率化およびキャリブレーションとして、作業開始箇所の計画切削深さを路面にマーキングし、切削作業開始時には路面のマーキング値とMG用のデータコレクタの作業指示値、および作業確認用の出来形用TSの計測値が合致するよう各システムを調整した。

TS式MGによる切削状況を図-5 に示す。切削作業は、数メートルごとの頻度でMG用データコレクタの指示値に従ってオペレータが切削機の操作を行い、作業状態の確認は機械後方の作業確認用の出来形用TSでリアルタイムかつ定期的に行った。

(4) 施工履歴データを用いた出来形管理への取り組み

ICT舗装工（修繕工）の選択項目に対応する管理要領



図-3 TLSによる3次元起工測量の実施状況

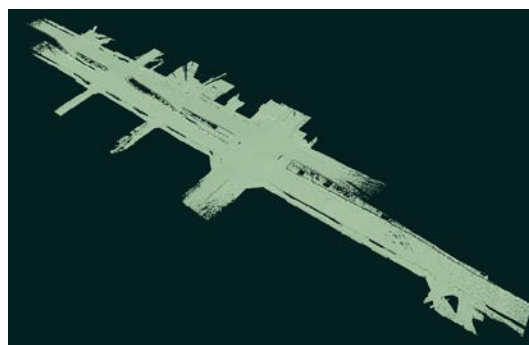


図-4 3次元測量データ（点群データ）



図-5 TS式MGによる切削工の実施状況

として「施工履歴データを用いた出来形管理要領（路面切削工編）（案）」⁴⁾が（以下、施工履歴による管理要領）規定されているが、本工事の施工時（令和2年4月中旬）には施工履歴による管理要領に準拠する施工管理システムやソフトウェアが確立されていない状況であった。そのためTS式MGで用いるシステムやソフトウェアの別の機能を使い、施工履歴による管理要領にできるだけ準拠するよう施工履歴データを用いた出来形管理を試みた。

a) ICT建設機械による施工（施工履歴データの取得）

切削機の施工履歴データの取得には出来形用TSのデータコレクタの付属機能を活用した。本工事で適用したTS式MGはデータコレクタに作業状態（現況位置と3次元設計データとの標高差）をリアルタイムに表示させ

て施工を行っているが、このデータコレクタには表示（計測）値等をログとして記録する付属機能がある。そこで、作業中の測位データ（切削機の作業装置の位置および切削高さの値）を5~10cm間隔で記録するようMG用データコレクタを設定するとともに、作業確認用の出来形用TSを使って作業確認時および切削機に設置したプリズムの反対側の切削高さを5m程度の間隔で記録した。この測定間隔は、従来の出来形管理基準の測定頻度（40m毎）を十分に上回りつつ、時間的制約が大きい修繕工事で面管理を行う上で適当な間隔として定めたものである。

b) 3次元出来形管理等の施工管理

TS式MGの施工後、MG用および作業確認用のデータコレクタに記録した施工履歴データをパソコンに取り込みデータ処理を行った。切削機の測位データを図-6 に、施工対象範囲のデータを1点/m²に点群処理したデータを図-7 に示す。また、作業確認で取得した施工端部の測位データを図-8 に、そして切削機および作業確認のデータを合成させた計測点群データを図-9 に示す。なお現場は片側3車線の道路のうち2車線を施工した。図中の緑枠は3次元設計データ、赤点は切削機の測位データ、黒点は作業確認時の測位データである。

図中の3次元設計データの緑枠の横断方向の間隔は10mとした。路面切削工の従来管理では40m毎に厚さを測定するが、本工事で適用した計測点群データは図-9 からわかるように従来管理を大きく上回る点数を測定できていることがわかる。

このように求めた計測点群データを対象にTIN（不等三角網）を配置し、出来形の面データとしたものが図-10 である。さらに、この面データを使って出来形評価用にデータグリッド化（1m²あたり1点の点群データ）に変換したデータが図-11 である。このデータと3次元設計データを出来形帳票作成ソフトウェアで処理すれば、ICT舗装工の表層工の面管理と同様、図-12 に示すように面管理による出来形の分布図（ヒートマップ）を作成できることを確認した。

3. ICT舗装工（修繕工）実施の効果および課題

本工事で行ったICT舗装工（修繕工）に対する取組みから得られた効果および課題を以下に示す。

(1) 3次元起工測量および3次元設計データ作成

ICT活用工事の推進によりTLSを所有する業者が増えてきており、本工事でも地元の測量業者が3次元起工測量を行った。TLSの活用により起工測量時の交通規制日数の大幅な縮減や、それに伴う作業および通行車両の安全性の向上を図ることができた。

測量結果を使った切削計画も市販のソフトウェアで対

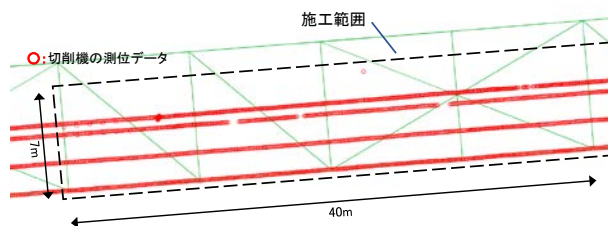


図-6 切削機の測位データ（点群処理前）

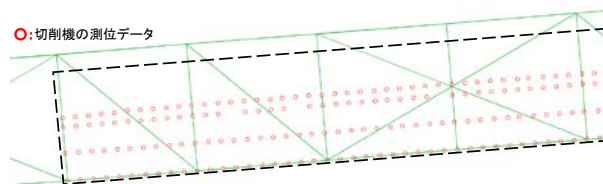


図-7 切削機の測位データ（点群処理後）

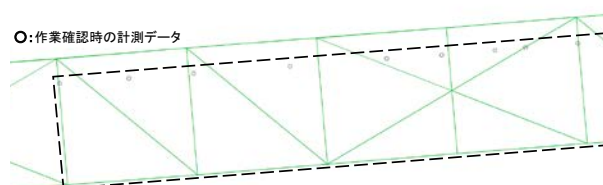


図-8 作業確認時の測位データ

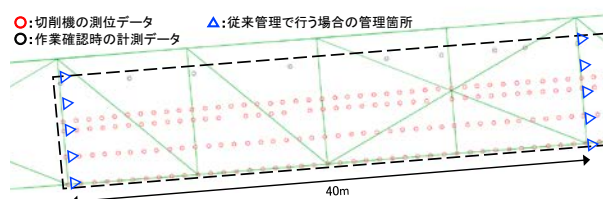


図-9 計測点群データ
(切削機と作業確認時の測位データを合成)

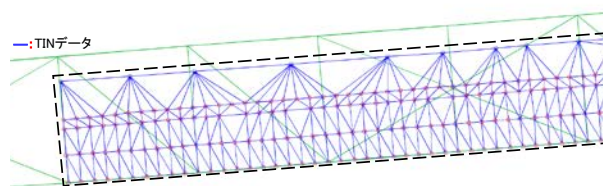


図-10 面データ（出来形計測データ）

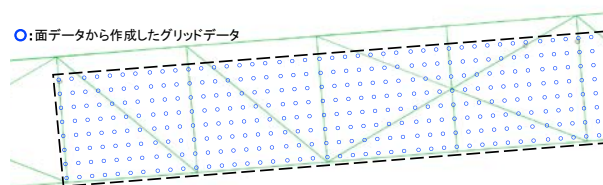


図-11 面データから作成した面管理用データ



図-12 出来形合否判定帳票に準じた分布図（ヒートマップ）

応しており、3次元起工測量から3次元設計データ作成における切削計画までの施工プロセスは施工業者が履行可能と判断できる。また、施工や出来形管理で使用する3次元設計データの作成も新設工事で行う作業と大差が無く履行可能と判断できる。

(2) ICT建設機械による施工（TS式MG）

MCは、現状ではICT施工対応の切削機や切削機用ICT施工システムは汎用的でなく、さらにシステムの取付け等の事前準備に半日以上も必要な技術であるのに対し、本工事で適用したTS式MGやGNSS式MGは日々10分程度のキャリブレーションを行うだけで切削機のICT施工ができることがわかった。

また、MGにより作業性や施工精度が向上することも確認した。図-13はMGによるオペレータの省力化の概念図である。オペレータによれば作業性の向上により作業時の負荷が低減するとともに安全確認の頻度も増やすことができた。本工事の平坦性試験は1.6mmという結果であった。平坦性（ σ_{3m} ）の規格値は2.4mm以下であり、本工区は交差点部の縦断変化や既設ハンドホールへの高さ擦り付け調整を含む条件であることを踏まえると、施工精度の向上により良好な出来形や品質が得られていると判断できる。

一方でMGに慣れないオペレータは、熟練になるほどMGの表示値よりも各自の技能を優先して操作する傾向があるため、新技術の説明や教育を行うことが重要と思われた。

(3) 施工履歴データを用いた出来形管理

本工事は既存ソフト等の機能を使ってデータ整理を試みたが、施工履歴による管理要領と異なる点は、点密度が確保できない場合の補完頻度である。管理要領では点密度が確保できない場合は1m²あたり1点以上計測して補完するのに対し、本工事は装着したシステムの反対側の端部を図-8に示したように作業確認用の出来形用TSで縦断方向に5m間隔でデータを補完した。この5m間隔のデータ測定は、従来以上の測定頻度および時間的制約がある修繕工事における従来程度の作業負担の計測数として設定したものである。

これらをデータ整理した図-10を見ると、主観的であるものの全体を網羅した面データが得られている。ICT舗装工の表層の面管理による出来形管理では1m²あたり1点以上のデータ取得が必須であるが、修繕工事において施工履歴データを活用するのであれば本工事で行った補完方法でも充分であると考えられる。

4. まとめ

本工事では舗装修繕工へのICT活用を目的に、路面切

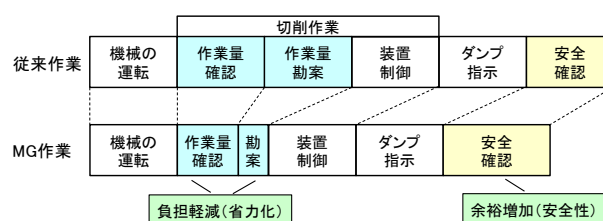


図-13 施工合理化（オペレータの省力化）の概念図

削機へのTS式MGおよびGNSS式MGの適用、および新たに基準化されたICT舗装工（修繕工）に対する取組みを試みた。今後、ICT施工に対応した切削機の汎用化や、施工履歴による管理要領に準拠した施工管理システムやソフトウェアが確立されればICT舗装工（修繕工）が多く実施されることになる。

このことにより、起工測量時の交通規制の縮減・路面切削工の事前準備であるマーキング作業の大幅な省力化・切削出来形の検測時の省人化・品質出来形の向上、オペレータの作業負担軽減、さらに熟練オペレータ不足対策など様々な効果が得られると期待できる。そのなかで、TS式MGやGNSS式MGは現段階でもリース等で安価に調達可能なため、地元の施工業者が活用し易いICT施工技術であると考えている。

ICT土工では、UAVによる出来形管理の基準が出されてから僅か1年で内容が「カイゼン」（緩和）されたように、本工事の取り組み内容も1事例としてICT舗装工（修繕工）の「カイゼン」に繋がれば幸いである。

表-4 ICT舗装工（修繕工）の効果と課題

効果	課題
・安全性向上（交通規制縮減、マーキング作業の省力化） ・熟練オペレータ不足の解消	・管理要領に準拠した施工システムの確立 ・ICT技術の説明、教育 ・ICT技術を広めるため更なる周知が必要

謝辞：本論文の作成にあたり、施工業者の前田道路株式会社ならびに各種助言を頂きました関係者の皆様に心から感謝の意を表し本報告を終わります。

参考文献

- 1) 国土交通省：ICT導入協議会第10回【資料-1】基準類の策定・改定の取組，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html
- 2) 宇田川健司ほか：路面切削機での情報化施工（マシンガイダンス）活用事例について，平成29年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp71-74，2017.
- 3) 加藤康弘ほか：3次元マシンガイダンスによる路面切削機のICT施工の検討，道路建設，2019年11月号，pp.88-95，2019.
- 4) 国土交通省：施工履歴データを用いた出来形管理要領（路面切削工編）（案），2020.