

現況路面データを基準に用いたGNSS切削システム

評価結果と今後の運用について

株式会社トプコンポジショニングアジア ○ 平岡 茂樹
兵庫県 県土整備部 技術企画課 中田 和秀
(一社) 施工技術総合研究所 八木橋 宏和

1. はじめに

国土交通省では、2020年4月よりICT舗装工(修繕工)の実施要領が策定され運用された。これに先立ち、兵庫県で発注する工事において、路面切削工におけるICT建設機械の施工(以下ICT切削工)とスキャナによる精度検証を実施した。

これまでもトータルステーション(以下TS)を利用した3D-MCシステム(以下3D-MC)が活用されているが、今回は、GNSSを使った現況路面データを基準に用いた厚み制御が出来る新技術RD-MCシステム(以下RD-MC)を用いて検証を実施した。

2. 「RD-MC」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、切削準備の効率化、作業の省人化と安全性の向上を図るシステムである。従来の3D-MCがTSを使い、3次元の設計面を使用して制御するシステムであるのに対し、RD-MCでは現況面と設計面の高低差(厚さ)をもとに制御している。GNSSで切削機の平面位置計測し、その点の設計切削深さ(設計厚さ)を計算し、その厚さになるように切削機の切削ドラムを自動制御する新しいロジックのICT切削システムである。(図-1)

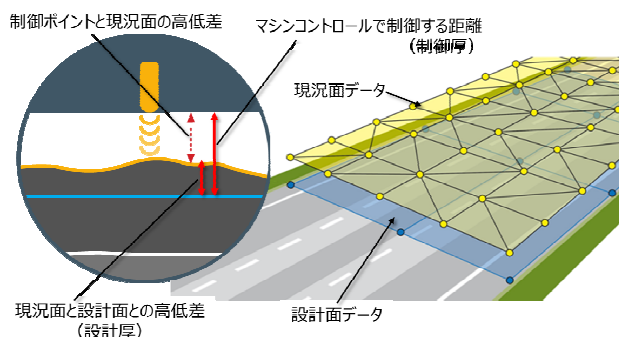


図-1 現況面と設計面の活用イメージ

TSを使用するICT切削工に比べ、本システムでは制御にTSを使わないため、TS設置場所の確保

が不要となり、TSがターゲットをロストしたり誤追尾したりするリスクもない。

橋梁部での切削にも活用可能のため、ICT切削工の活用範囲を大きく広げるシステムである。

3. 検証工事-1 県道 志筑郡家線(淡路市井出地内)

3.1 検証項目

- ・RD-MCの現場適用の確認と効果
- ・スキャナによる出来形検証(ICT切削工の精度検証)

3.2 検証状況

- ・検証日：2020年3月5日
- ・幅3.35m 延長435m 1,500㎡ 5cm切削しAS舗装5cm(図-2)
- ・センターから2.05mの部分を実切削後残り1.3mを両側倣い(ならい)制御で実施。つまり、センター側切削時左側(路肩側)のラインを本システムRD-MCによる自動制御。(その他は切削機に搭載されている倣い制御を実施)(図-3)
- ・現況面計測は、地元測量会社(外部委託)で実施。地上型レーザースキャナで計測し、25cmメッシュで間引いたものを使用。

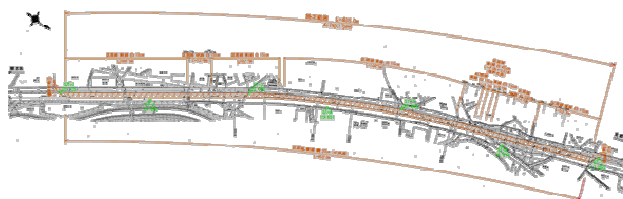


図-2 平面図

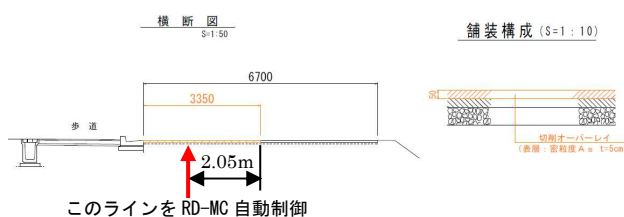


図-3 横断面図

3.3 検証結果

3.3.1 本システム現場適用の確認と効果

地元測量業者で本システムの3次元データ、設計データを作成できることが確認できた。

地上型レーザースキャナで既設路面を計測した25cmメッシュの現況面データと、現況面データをもとに縦断方向に5mピッチで作成した設計面データで問題無く自動制御できたことを確認した。(図-4、図-5)

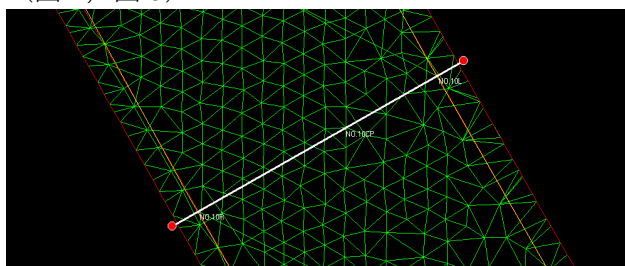


図-4 NO. 10 付近の 3D 平面図

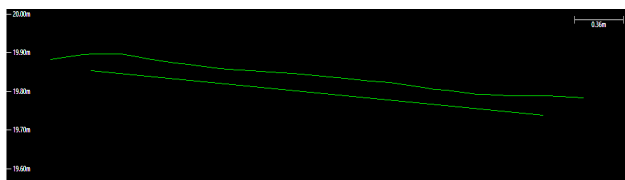


図-5 NO. 10 付近の横断図（上：現況，下：設計）

RD-MC 活用による施工日数の縮減効果は、マーキング作業の省力化により 17%縮減。地上型レーザースキャナによる 3D データ活用効果を含むと従来施工 45 日から 28 日と約 38%の施工日数縮減効果を確認した。(図-6)

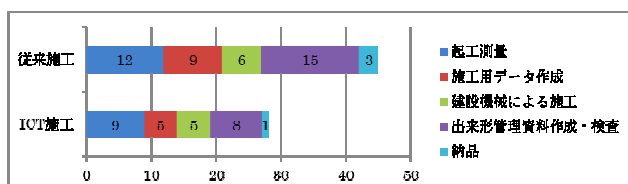


図-6 施工日数の比較（単位：日）*出典：兵庫県

のべ作業工数の比較によると、RD-MC 活用による建設機械のべ作業工数の縮減効果は、44%。地上型レーザースキャナによる 3D データ活用効果を含むと従来施工のべ 82 人・日から 47 人・日と約 43%の縮減効果を確認した。(図-7)

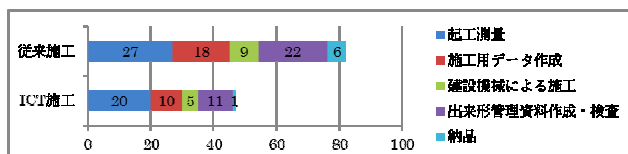


図-7 のべ作業工数の比較（単位：日）*出典：兵庫県

3.3.2 スキャナによる精度検証

切削後地上型レーザースキャナで切削面の一部 NO.11+5 - NO.13+15 (50m 分) を計測し、設計面との比較を検証した。(図-8)

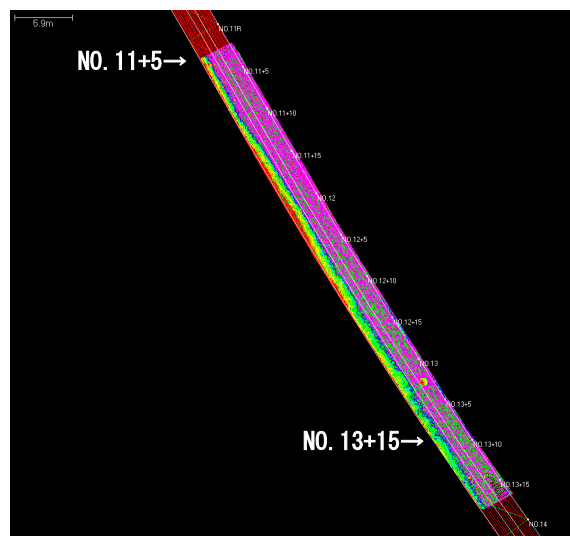


図-8 スキャナ計測範囲

- 1) 1m²に1点以上の面精度検証結果
 - ・規格値の最大最小値 50% (±8.5mm) に対し、100%入っていることを確認した。
 - ・平均値では、規格値-2mm に対し 0.3mm となり、規格値内に入っており、実際の切削工事で本システムが活用できることを確認した。(図-9、図-10)

出来形合否判定総括表

工程			測点	
種別	切削工		合否判定結果	合機
平場 標高較差	測定項目	規格値		
	平均値	0.3mm ±2mm		
	最大値 (差)	7mm ±17mm		
	最小値 (差)	-7mm ±17mm		
	データ数	236 1点/m ² 以上 (134点以上)		
	評価面積	168.9m ²		
平場 ばらつき	測定項目	規格値		
	平均値	0.3mm ±2mm		
	最大値 (差)	7mm ±17mm		
	最小値 (差)	-7mm ±17mm		
	データ数	236 1点/m ² 以上 (134点以上)		
	評価面積	168.9m ²		

図-9 出来形合否判定総括表

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	0.3mm	±2mm
	最大値 (差)	7mm	±17mm
	最小値 (差)	0	±17mm
	データ数	236	1点/m ² 以上 (134点以上)
	評価面積	168.9m ²	
	棄却点数	0	0.3%以内 (0点以下)

図-10 出来形合否判定総括表(測定項目、規格値拡大図)

2) 1m ピッチの自動制御施工精度（縦断）

・MAX+5mm, MIN-7mm, $\pm 5\text{mm}$ の範囲内に 96% 入っており、設計面に対して高精度に制御できたといえる。（図-11）

・センター側と側溝側は、倣い制御をしており、そのデータと比較しても同等のばらつきとなっている。3次元現況面データと3次元設計面データを活用した本システムで、従来の倣い制御と同等に制御できていることがわかる。（図-12）

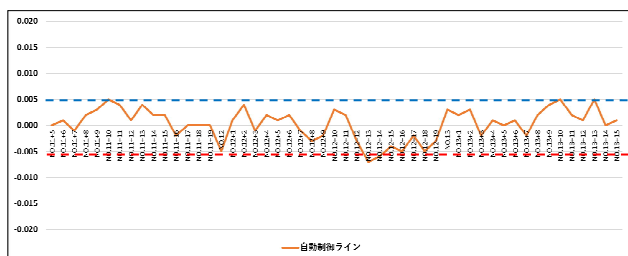


図-11 自動制御施工精度グラフ（設計との差）

標準偏差（データのばらつき）	単位:m
センター側（倣い制御）	0.0030
センタから2mライン（自動制御）	0.0030
側溝側（倣い制御）	0.0031

図-12 標準偏差比較表

3.3.3 その他効果

・センターライン部分は、反対車線の車両が往来しており、写真-1、写真-2 のようにオペレータが切削機の進行方向の制御を実施していたが、左側（反対側）の切削深さ調整については、路面マーキングを見ながら実施する必要が無いことから以下効果が考えられる。

- ① 安全性の向上（特に夜間は顕著）
- ② オペレータの負担軽減



写真-1 センターライン位置でのオペレーション



写真-2 往来する車両と切削機

3.4 現場見学会

現場見学会開催により、ICT 切削工の取組みを実際に見る機会を設けることができた。（写真-3、写真-4）



写真-3



写真-4

4. 検証工事-2 県道 伊丹池田線（伊丹市下河原1丁目地内）

4.1 検証項目

- ・RD-MC の現場適用の確認と効果
- ・スキャナによる出来形検証（ICT 切削工の精度検証）

4.2 検証状況

- ・検証日：2020年3月26日
- ・延長約200m 約670 m² AS舗装5cm（図-13）
- ・センターと2.05mの両側を自動制御側で施工後、

残り両端は倣い制御を実施) (図-14)

・現況面計測は、地元測量会社（外部委託）で実施。地上型レーザースキャナで計測し、25cm メッシュで間引いたものを使用。

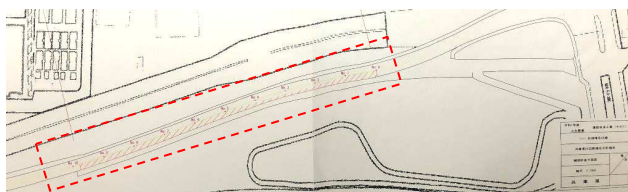
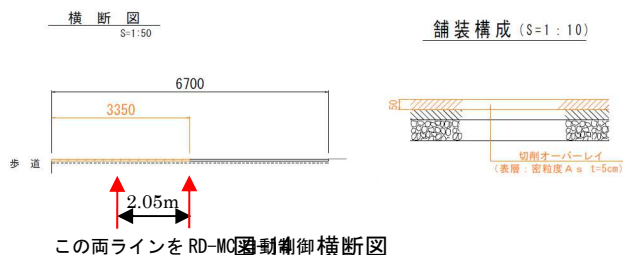


図-13 平面図



4.3 検証結果

4.3.1 本システム現場適用の確認と効果

地元測量業者で本システムの 3 次元データ、設計データを作成できることが確認できた。

地上型レーザースキャナで既設路面を計測した 25cm メッシュの現況面データと現況面データをもとに縦断方向に 5m ピッチで作成した設計面データで問題無く自動制御できたことを確認した。(図-15, 図-16)

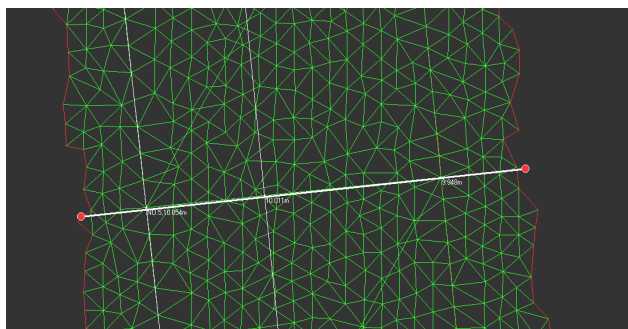


図-15 NO. 5 付近の 3D 平面図

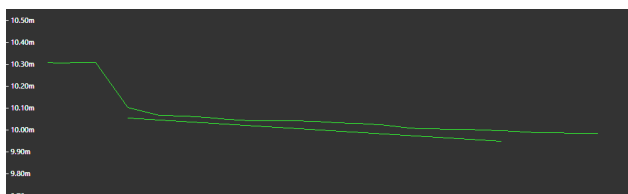


図-16 NO. 5 付近の横断面図（上：現況，下：設計）

RD-MC 活用による施工日数の縮減効果無し。起工測量，施工用データ作成で各 1 日短縮したもの、出来形資料作成で 2 日増加のため縮減効果は

認められなかった。(図-17)

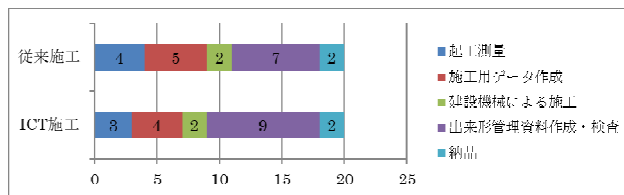


図-17 施工日数の比較（単位：日）*出典：兵庫県

のべ作業工数の比較によると、MC システム活用による建設機械のべ作業工数の縮減効果は、17%。出来形管理資料作成以外のプロセスで縮減効果があり、全体で 12%の縮減効果を確認した。(図-18)

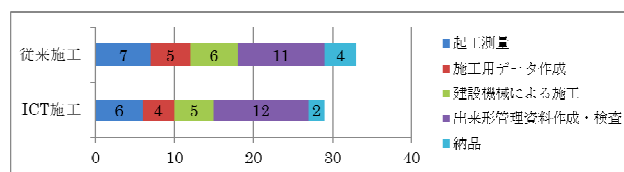


図-18 のべ作業工数の比較（単位：日）*出典：兵庫県

4.3.2 地上型レーザースキャナによる精度検証

切削後地上型レーザースキャナで切削面を計測し、設計面との比較を検証した。(図-19)

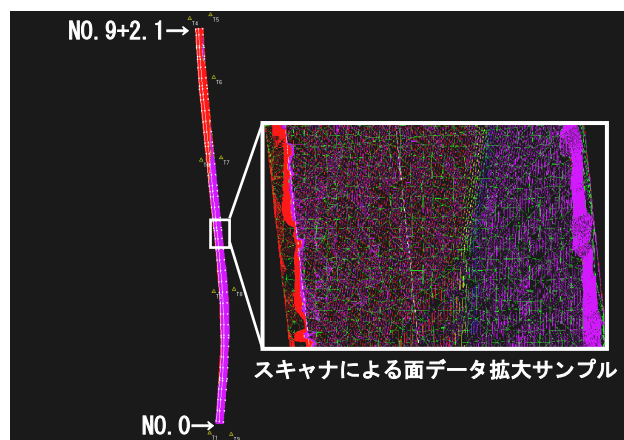


図-19 スキャナ計測範囲

1) 1m²に 1 点以上の面精度検証結果

・最大+11mm，最小で-8mm，平均で 1.4mm と舗装工の規格値に入っていることから，実際の切削工事で本システムが活用できることを確認した。

・左端のデータのヒートマップがばらついていることがわかる。左端はマニュアルで施工しており，倣う構造物も無いことから比較的バラツキが大きく全体に影響しているが，最大最小値 50% (±8.5mm) に対し，99.4%入っていることを確認した。(図-20, 図-21)

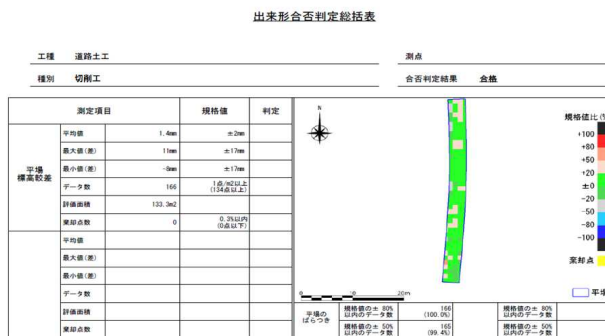


図-20 出来形合否判定総括表

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	1.4mm	±2mm
	最大値(差)	11mm	±17mm
	最小値(差)	-8mm	±17mm
	データ数	166	1点/m以上 (134点以上)
	評価面積	133.3m ²	
	棄却点数	0	0.3%以内 (0点以下)

図-21 出来形合否判定総括表（測定項目、規格値拡大図）

2) RD-MC 自動制御施工精度（縦断）

・MAX+8mm, MIN-5mm, ±5mm の範囲内に 97% 入っており，設計面に対して高精度に制御できたといえる。（図-22）

・検証工事-1 での検証結果と比較しても同等以上の制御をしており，3次元現況面データと3次元設計面データを活用した本システムで，従来の倣い制御と同等以上に制御できていることがわかる。（図-23）

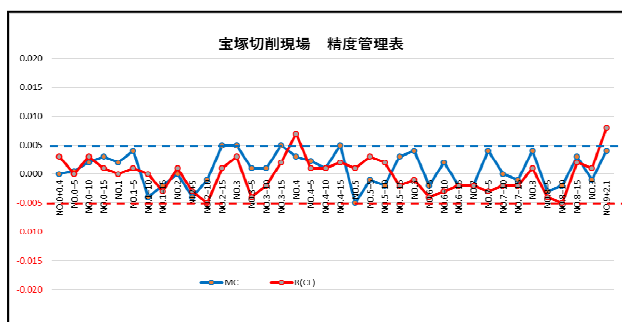


図-22 自動制御施工精度グラフ（設計との差）

標準偏差（データのばらつき）	単位:m
センター側（自動制御）	0.0030
センタから2mライン（自動制御）	0.0028
側溝側（マニュアル）	0.0098

図-23 標準偏差比較表

4.4 現場見学会

検証工事-1 と同様，現場見学会開催により，ICT 切削工の取組みを実際に見る機会を設けることができた。（写真-5，写真-6）



写真-5



写真-6

5. 現場検証結果まとめ

5.1 本システム現場適用の確認と効果

2 現場共，地元測量業者で地上型レーザースキャナを活用し，本システムの既設路面の 3 次元データ，設計データを作成できることが確認できた。

両現場共，25cm メッシュの現況面データと現況面データをもとに縦断方向に 5m ピッチで作成した設計面データで問題無くマシンコントロール制御できたことを確認した。

また，検証工事-2 では，出来形管理資料作成に従来より時間がかかる結果となり，施工工数の削減効果が見られない部分もあったが，平均すると施工日数 26%削減，建機施工日数 13%削減，のべ作業工数では，34%削減，建設機械ののべ施工工数 33%削減との結果となった。（図-24）

	施工日数	建設機械による 施工日数	のべ作業工数	建設機械による のべ施工工数
洲本現場	▲38%	▲17%	▲44%	▲43%
宝塚現場	0%	0%	▲12%	▲20%
平均値	▲26%	▲13%	▲34%	▲33%

図-24 施工日数標準偏差比較表

5.2 スキャナによる精度検証

今回，地上型レーザースキャナで計測した切削後の面と設計データとの比較で検証した結果，路面切削工（面管理）の規格値にすべて入っており，最大最小値 50%（±8.5mm）に対しても，99%以上

入っている結果となった。レベルとの比較ではないため、スキャナの測定精度による結果であること、部分的には切削カスなどの誤差を含んでいる可能性もあるなか、高精度に自動制御し施工できたと言える。

5.3 その他効果

今回、両現場共片側 1 車線道路の片側のみ切削する工事のため、センターライン部分は、反対車線の車両が往来しており、特にオペレータがセンターライン側で切削機の操作を実施していたが、路面マーキングを見ながら実施する必要が無いこと、運転に集中できることから、安全性の向上、オペレータの負担軽減を両現場で認められた。

6. 今後の運用について

RD-MC を活用するにあたり、現況路面データが必要なため、今回地元測量を活用して現況面計測、設計データ作成を実施し、うまく運用して施工することが出来た。今後も元請け施工会社、地元測量業者、切削業者と分業して運用することにより、3 次元データの知識が比較的浅い施工会社でも運用できることを確認した。今後、今回の運用方法で進めていけば経験の浅い施工者でも ICT 活用工事が対応可能と考える。(図-25)

また、検証工事-2 では出来形管理資料作成で従来より時間がかかった原因のひとつとして、慣れない 3 次元データ処理作業が考えられる。しかし、3 次元データ活用の経験を積むことにより、今後の ICT 舗装工への対応につながると考えられる。

との意見もいただき、今後の ICT 切削工普及の足掛かりになる事例と考えています。

効果についても、約 26% の作業日数縮減が確認できましたが、安全性についても向上し、特に夜間工事等における事故防止にも貢献できると思われます。

今後も兵庫県だけではなく、本システムが全国の自治体でも活用され、普及することにより ICT 舗装繕工全体の効率向上および安全性の向上につながることを期待します。

*1 CONTACT とは、Construction Tactics Group (建設戦略会議) の略で i-Construction の普及を推進するため、3D データをハンドリングするメーカー有志が集まり発足したグループ。

以上

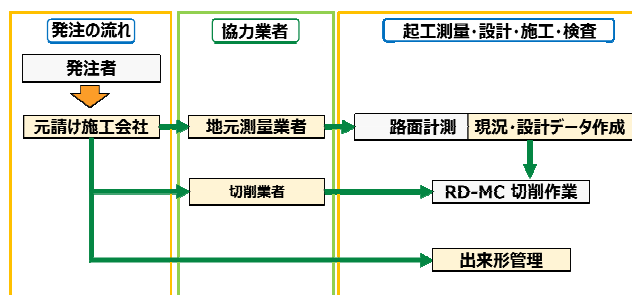


図-25 分業状況

7. まとめ

今回、兵庫県にご協力をいただき、CONTACT^{*1} のメンバーとして兵庫県発注の実際の切削オーバーレイ工事で効果検証を実施することができました。御礼申し上げます。

また、今回はじめて ICT 工事に取り組む業者に活用していただきましたが、このような状況においても問題無く本システムを活用し、高精度に施工ができたことは、非常に意味がある結果であり、受注業者からも、今後も ICT 切削工を実施したい