

## 19. 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

前田道路株式会社

〃

〃

○ 宮内 賢徳

宇田川 健治

砂原 良太郎

### 1. はじめに

舗装工における ICT 施工は新設工事において数多く実施されているものの、維持修繕分野である路面切削工においては路面切削機（以下、切削機）の ICT 施工は一般的でないのが現状である。

ICT 施工にはマシンコントロール（以下、MC）とマシンガイダンス（以下、MG）の方式があり、切削機の MC は機種を選定や改造、高価な MC 用システムなどが必要となる。一方、MG であれば機械の限定や改造をせずに経済的に ICT 施工できる可能性があり、既報<sup>1)</sup>ではトータルステーション（以下、TS）を用いた切削機の MG について報告を行った。

しかしながら、現道で行う修繕工事は TS などの機材の設置場所に苦慮する現場が多く、また、GNSS 測量機は TS と比べて安価で比較的測位精度が良い機器も出始めている。既報<sup>2)</sup>では TS 式 MG の施工精度の検証を行い、GNSS 式 MG の適用性について検討したものの詳細な検証が必要であった。そこで本論文は、GNSS を用いた切削機の MG 方法について詳述するとともに施工精度の検証を行った。その結果、TS と同程度の精度が確保できることを確認した。

### 2. 目的と概要

#### 2.1 目的

ICT 舗装工では事前測量として地上設置型レーザースキャナ（以下、TLS）による 3 次元測量を行う。この 3 次元現況路面データと切削面の 3 次元設計データ、および GNSS による位置情報データを組み合わせれば、GNSS も MG 方式として適用が可能になる。そこで GNSS を活用した MG の施工精度について検証を行った。

#### 2.2 GNSS 式 MG のシステム構成

##### (1) GNSS 式 MG

切削機の GNSS 式 MG の概念図を図-1 に示す。GNSS 式 MG の施工に必要な機材類は以下のとおりである。なお、路面切削工は基本的に 1 回で仕上げるワンパス施工であり施工の手戻りは難しい。

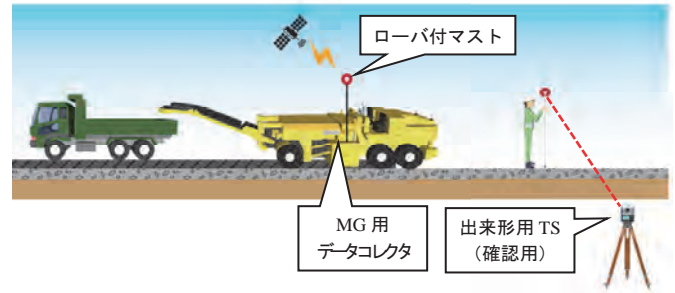


図-1 GNSS 式 MG の概念図

そのためリアルタイムに施工精度を確認するために出来形用 TS を加えている。

- ・ 切削機
- ・ VRS 方式 GNSS（ローバとデータコレクタ）
- ・ ローバ用マスト
- ・ 3次元現況路面データ
- ・ 切削面の3次元設計データ
- ・ 出来形用 TS（切削深さ確認用）

ここで VRS 方式とは仮想基準点方式のことで、GNSS ローバが測位した位置情報を複数の電子基準点より取得した補正情報を使って GNSS 受信機で演算して測位する方式であり精度の高い平面座標を得ることができる。VRS 方式による測位精度は平面方向で±2cm 程度、高さ方向で±5cm 程度であり路面切削工で要求される高さ（厚さ）精度を満足できない。高さ（厚さ）精度にミリ単位の精度が求められる切削工において、高さでなく平面座標の精度が重要となる理由は後述する。

##### (2) GNSS 式 MG の施工手順①（事前準備）

GNSS 式 MG の施工手順を図-2 に示す。

まず GNSS 式 MG を行うための事前準備として、TLS で計測した 3 次元の現況路面データが必要となる。

MC や TS 式 MG では現況路面の測量結果を踏まえた切削面の 3 次元設計データを作成すれば ICT 機器を稼働することができる。一方、GNSS 式 MG は測量結果を踏まえた切削面の 3 次元設計データ、および TLS で現況路面を計測した 3 次元の現況路

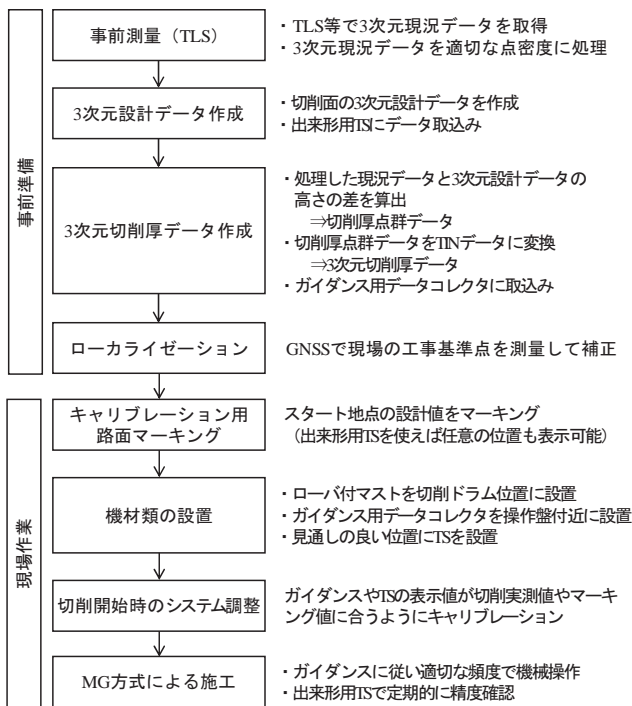


図-2 GNSS 式 MG の施工手順

面データが必要となり、これらを用いて GNSS 式 MG 用の 3 次元設計データ (3 次元切削厚データ) を作成する。

次に、GNSS を使用するにあたり緯度経度を現地座標に合わせるローカライゼーションと呼ばれる作業を行う。

### (3) GNSS 式 MG の作業手順② (現場作業)

GNSS 式 MG の現場作業は、図-2 に示したように路面マーキング、機材類の設置、作業開始時のキャリブレーション、および MG の施工を行う。

MG で必要な路面マーキングは、開始時の切削厚さ確認 (キャリブレーション) のための開始地点から 20m 程度の区間と、施工中に DC に表示された計画の切削厚さ、切削機に表示された現状の切削厚さ、路面に記された計画の切削厚さの整合性を確認するための任意のポイントである。

従来の路面マーキングは縦断方向には 10m 等、横断方向には 2m 等の適切な間隔で切削厚さをマーキングしていた。一方、本技術ではオペレータは DC に表示されている数値を見ながら作業ができるので、路面の数値を見ずに施工できる。このことから路面にマーキングする作業を大幅に削減することが可能となり、施工準備段階でも生産性の向上 (省力化) に寄与できる。

次に切削機の切削ドラムの位置にマストと GNSS ローバを設置し、オペレータの操作がしやすい位置に DC を固定すれば MG による切削工を開始できる。

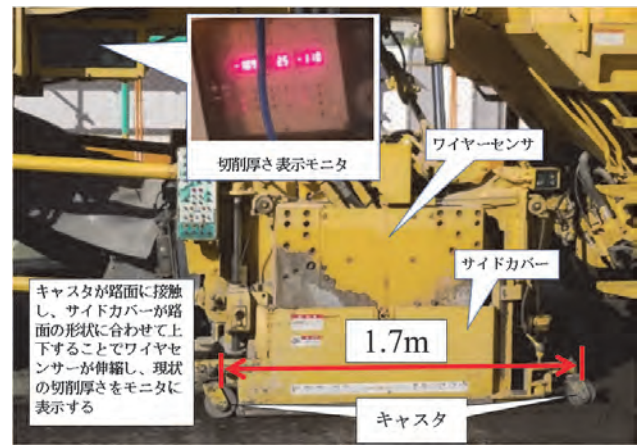


図-3 切削機の装置および厚さ表示の概念図

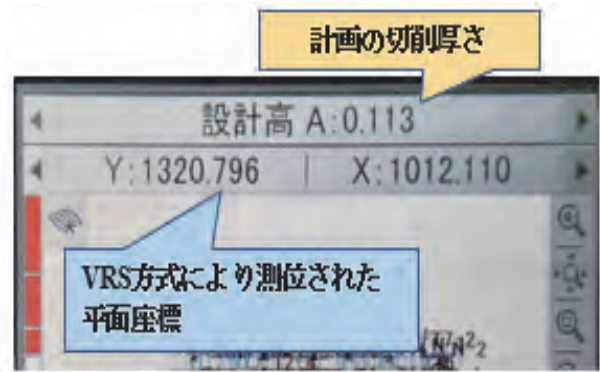


図-4 DC による計画の切削厚さ表示

## 3. 3次元切削厚データ作成方法

### 3.1 3次元切削厚データのメリット

図-3 に切削機の装置およびオペレータへの厚さ表示の概念図を示す。切削機のモニターに表示される作業時の切削厚さは、切削機のサイドカバーの前後のガイドローラ (以後、キャスト) から切削ドラムまでの距離をセンサで計測して表示される。

路面切削工の仕上がり精度は機械を操作するオペレータの技量に左右される。既報<sup>1)</sup>で示した TS 式 MG はソフトウェアの都合上、計画高さとの標高差がガイダンス画面に表示される。GNSS 式 MG では現況測量データを踏まえた 3 次元設計データを作成することで、図-4 に示すようにガイダンス画面には切削厚さを表示させることができ、これらは図-3 に示した従来から機械に表示されていた数値と同じのためオペレータは感覚的に作業がしやすくなる。

### 3.2 3次元切削厚データの作成方法

3次元切削厚データ作成手順を図-5 に示す。

#### (1) TLS による事前測量

GNSS 式 MG 用の 3 次元設計データを作成する際には TLS を用いた 3 次元の現況路面データが必

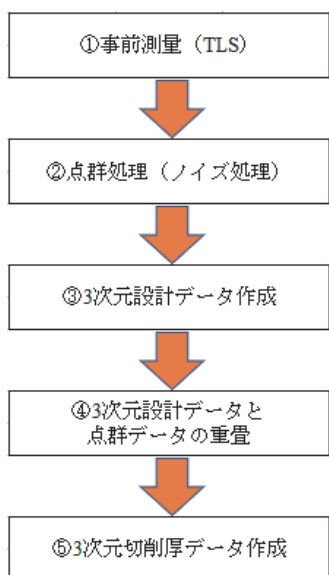


図-5 3次元設計データ作成手順

要となる。ここで、事前測量 (TLS) は国土交通省の「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領 (舗装工事編)」で規定されている計測密度  $0.25\text{m}^2$  に 1 点以上を満足するデータを用いるが、切削オーバーレイ工は表基層が対象となるため測定範囲内の鉛直方向の測定精度は  $\pm 4\text{mm}$  以内になるよう計測する必要がある。

なお本手法は、TLS による現況計測後に路面形状が大きく変化すると、適切な 3 次元切削厚データでなくなるため、計測から施工までの期間や路面形状の変化には十分注意する必要がある。

### (2) 3次元現況路面データの点群処理

図-3 に示した切削機は酒井重工業社製 ER552 であるが、国内で汎用的に使用されている WIRTGEN 社などの外国製および国産の大型切削機のサイドカバーの幅は約  $1.7\text{m}$  である。そこで 3 次元切削厚データ作成に用いる 3 次元現況路面データは  $1\text{m}^2$  に 1 点以上を満足すれば充分と考えられるため、点群密度は  $1\text{m}^2$  に 1 点程度にデータ処理する。

### (3) 3次元設計データの作成

事前測量結果を踏まえて従来方法 (線形データによる方法もしくは現況測量による方法) により表層面の 3 次元設計データを作成する。

### (4) 3次元設計データと現況点群データの重畳

図-6 に切削面の 3 次元設計データと現況路面の点群データを重畳した概念図を示す。3 次元設計データを切削面高さにオフセット (切削面の 3 次元設計データ) し、現況路面データと重畳することで各地点における計画高さとの差 (計画の切削厚さ) を求めることができる。

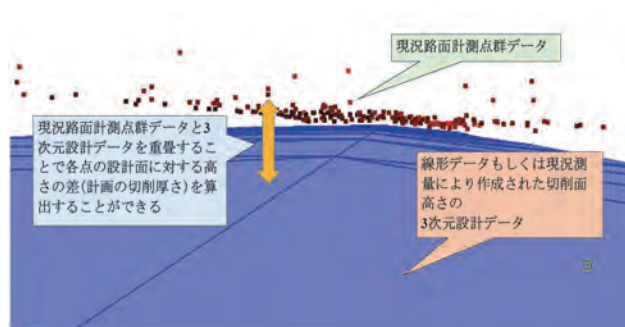


図-6 3次元設計データと現況データを重畳した概念図

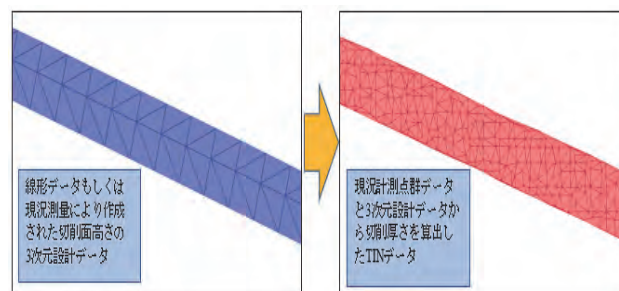


図-7 設計切削厚さの TIN データへの変換例

各地点の計画の切削厚さは  $1\text{m}^2$  に 1 点程度の点群データであり、これを三角メッシュの面データ (以下、TIN データ) に変換すれば切削厚さの 3 次元設計データとなる。TIN データに変換することで TIN データ内の範囲であれば任意の位置で計画の切削厚さを DC に表示できる。図-7 に計画の切削厚さに変換した TIN データの概念図を示す。

## 4. 各方式による仕上がり精度確認

### 4.1 施工精度の確認

GNSS 式 MG の施工精度の確認を目的に、表-1 に示す切削機の各制御方法の仕上がり精度について比較を行った。検証したのは 6 現場であり、現場により周辺環境や切削機のオペレータが異なるものの、全ての現場とも切削機が直線的に走行できる条件であった。なお、適用した切削機は ER552F (ホイール式、酒井重工業社製) または W200F (クローラ式、WIRTGEN 社製) である。

表-1 各方式における出来形評価結果

方式	詳細および測位システム
従来	オペレータ技能による機械制御
TS 式 MC	TS を使ったマシンコントロール (PS3D、Leica 社製)
TS 式 MG	TS を使ったマシンガイダンス (SPS620、Trimble 社製)
GNSS 式 MG	GNSS を使ったマシンガイダンス (SPS985、Trimble 社製)

## 4.2 切削面の出来形評価方法

各方式で施工した切削面を TLS により 0.01m<sup>2</sup> あたり 1 点以上の点密度で計測し、0.0625m<sup>2</sup> の単位で最頻値を求めて設計面との高さの比較を行った。

## 4.3 出来形評価結果

各方式における出来形評価結果を表-2 に示す。

なお、従来から規定されている管理測点における検測結果はすべて管理基準を満足していた。

## 4.4 出来形評価結果の考察

表に示した現場①は、ごく一般的な地方部の片側 1 車線の一般国道である。これまで切削面の 3 次元データ計測および面評価を行ったことがなかったが、今回検証した現場における従来方式による切削面の標準偏差は 5.9mm であった。この従来方式の標準偏差を基準として各 ICT 方式の評価を行う。

TS 式 MC 方式について、現場②は片側 2 車線の非常に交通量の多い都市部の幹線道路であったものの、標準偏差は 3.6mm と従来方式と比べて優れた精度が得られた。点群による面評価からも 3 次元マシンコントロールシステムの仕上がり精度が良いことがわかった。また、TS 式 MG についても既報<sup>2)</sup> で示したように従来技術と比べてよい精度が得られている。

GNSS 式 MG の標準偏差は 3 現場の平均で 3.6mm となった。供用中の路線でなく施工条件が良い民間施設や港湾施設の結果も含まれているが、片側 3 車線の非常に多い都市部の幹線道路であった現場③においても同程度の精度が得られた。この結果から GNSS 式 MG の施工精度は TS 式 MG と同程度であり、さらに TS 式 MC に対しても遜色ない結果が得られると判断できる。

表-2 各方式における出来形評価結果

方式	現場番号	現場条件	標準偏差 (mm)	データ数
従来	①	地方部一般国道	5.9	5,133
TS 式 MC	②	都市部一般国道	3.6	7,811
TS 式 MG	①	地方部一般国道	2.7	4,195
	②	都市部一般国道	5.1	8,118
	③	都市部主要地方道	4.2	4,096
		平均	4.0	16,409
GNSS 式 MG	③	都市部主要地方道	3.5	4,016
	④	民間施設	3.8	10,361
	⑤	港湾施設	3.4	8,301
		平均	3.6	22,678

## 4.5 施工実績を踏まえた GNSS 式 MG の評価

修繕工事における切削機の ICT 施工に対する TS 式 MC、TS 式 MG 方式のデメリットは以下の 3 つが挙げられる。

- ① TS を狭い作業範囲内に設置しなければならない。
- ② TS 設置箇所が制約されているため、TS と切削機のプリズムのクリアランスを常に確保することができない(この間を一般車両が通行すると TS の視準が外れてしまい一時的でもシステムが停止する。)
- ③ TS 設置箇所が制約されて、切削機と TS が近過ぎると TS による測定誤差が大きくなり、施工精度が低下する。

一方、GNSS 式 MG は切削機の MC/MG 用の TS が不要なため、車両の通行や設置場所の選定に影響を受けず、安定した作業を行うことができる。そのため、機器の設置や取扱いを含めて作業が楽に行える点が現場から評価されている。

しかしながら GNSS 機器にも課題があり、高層ビル間でのマルチパス (電波の乱反射による距離測定誤差) や、橋梁下や山間部での GNSS 受信数不足、通信回線が確保できない地域での補正情報の未受信などがある。そのため、適用にあたっては事前に GNSS の作動を現場で確認することが重要となる。

今後、ICT 活用工事の適用種別拡大の方針のもと ICT 施工を行う機会は増大すると考えられるが、TS などの測量機器や MC 用システムは高価である。一方 GNSS は上述したシステムや機器と比べて安価な機器が多いため、GNSS 式 MG は初期導入やリースの費用、または外注費を抑制できる可能性がある。

## 5. まとめ

今回得られた結果から GNSS 式 MG は従来方式と比べて施工精度が高い方式であると判断できる。

一方で、適用条件も留意する必要があることから、TS 式 MC 方式や MC 方式を含めた施工を重ねてノウハウの蓄積を行い、現場条件に応じた ICT 施工方法を確立することで維持系 ICT 舗装工の推進に寄与したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 宇田川ほか：路面切削機での情報化施工 (マシンガイドンス) 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
- 2) 加藤ほか：3 次元マシンガイドンスによる路面切削機の ICT 施工の検討,第 21 回 舗装技術に関する懸賞論文,2019