

16. 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

前田道路 株式会社

○ 宇田川 健治
森下 泰浩
宮内 賢徳

1. はじめに

情報化施工は、i-Construction などの施策により導入がさらに推進されている。舗装工では敷均し機械のマシンコントロール技術（以下、MC）や施工管理技術の一般化・実用化が進んでおりレンタルでも調達できる段階となった。当社も情報化施工を積極的に導入しているが、維持修繕分野である路面切削工は専門工事業者に依頼しているため、自社保有でない路面切削機（以下、切削機）の情報化施工は取り組みづらく、条件が合致すれば部分的に適用している現状であった。

情報化施工のなかには MC とマシンガイダンス技術（以下、MG）があり、切削機の MC を行うためには数少ない対応機種を選定するか機械を MC 対応に改造しなければならない。一方、MG はオペレータの操作をサポートする技術であり機械の限定や改造をせずに情報化施工を実施することができる。

本論文は切削機の MG 方法について検討し施工精度を検証したものである。その結果、TS 出来形と同等の技術で情報化施工ができることを確認したので、その概要と結果について報告する。

2. 目的と概要

2.1 目的

舗装修繕工事の現場から、道路の縦横断形状の修正が著しいため、切削機の情報化施工を実施したいと要望があった。しかし、用意できる切削機が情報化施工非対応機であったため、MG での施工方法を考案し、実施することになった。

2.2 マシンコントロール (MC) とマシンガイダンス (MG)

当社では、モーターグレーダ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャ、スリップフォームペーパー等の情報化施工を実施しているが、そのほとんどが MC である。従来工法と情報化施工 (MC) の比較を図-1 に示す。

(1) マシンコントロール技術 (MC)

ブルドーザ等の排土板や、アスファルトフィニッシャ、スリップフォームペーパーの敷き均し装置の平面位置 (X 座標・Y 座標) 及び高さの 3 次元

データをリアルタイムで取得し、3次元設計データとの差分に基づき作業装置を自動制御する技術が MC である。

(2) マシンガイダンス技術 (MG)

排土板等、作業装置の自動制御は行わないが、作業装置の平面位置 (X 座標・Y 座標)・高さの 3次元データをリアルタイムに取得し、3次元設計データとの差分をモニタ表示し、表示された数値に基づきオペレータが操作する技術が MG である。

2.3 路面切削工の情報化施工

路面切削工は、20m や 10m などの等間隔で路面に切削厚さをマーキングし、その数値を切削機のオペレータが確認しながら機械の切削深さを調整するのが一般的である。

しかし既設路面の不陸が大きいと、切削厚さを表示した地点は設計どおり切削できるものの、高さの表示されていない区間（マーキング箇所の間）はオペレータの技能により操作するため、切削面に不陸が生じてしまう可能性がある。その上にオーバーレイ（アスファルト舗装）を行うと、舗装仕上り面に不陸が残ってしまうことになる。

この施工誤差を低減させるための方法として以下の方法が考えられる。

(1) マシンコントロール (MC)

切削機が情報化施工対応機の切削機で MC を実施する場合、以下のメリットとデメリットが挙げられる。

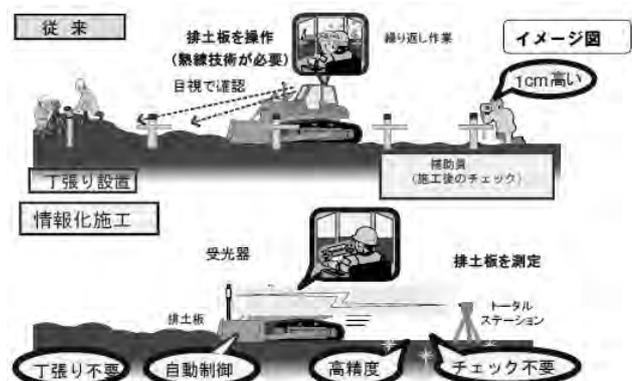


図-1 従来工法と情報化施工の比較¹⁾

① メリット

切削深さを表示された箇所だけでなく、どの位置でもほぼ計画通り（数ミリの施工誤差有り）切削することができ、舗装仕上がり後の平坦性も向上すると考えられる。

② デメリット

一般的な、国産の切削機（以下、国産切削機）は情報化施工に対応した装備がないため、対応している外国産の切削機（以下、外国産切削機）や改造されたごく一部の国産切削機を使用しなければならない。そのため、MC 対応機の調達の課題が大きい。

(2) ガイダンスシステム(MG)

情報化施工に対応していない切削機で MG を実施する場合、以下のメリットとデメリットが挙げられる。

① メリット

切削機の機種を問わず MG によってほぼ計画通りに切削することができ、舗装仕上がり後の平坦性も向上すると考えられる。又、MC と比較すると、重機への取り付け機器が少なく、脱着も容易にできる。

② デメリット

従来工法と比較すると、路面切削施工時に情報化施工担当者を配置し、トータルステーション(以下、TS)を2セット（重機用と切削深さ確認用）準備しなければならない。

3. 3次元設計データ及びシステム概要

3.1 3次元設計データの種類

情報化施工を行うためには3次元設計データが必要である。3次元設計データは2種類あり、どちらかを使用する。

(1) 線形データによる方法

設計データ作成ソフトウェア等使用し、平面線形、縦断線形、横断勾配を入力し、設計データを作成する。道路、空港等の工事は、通常こちらを使用することが多い。

① メリット

平面曲線、縦断曲線、横断勾配の変化を正確に再現した設計データを作成することができる。主に新設工事、改築工事などで使用する。

② デメリット

維持修繕等での切削オーバーレイの場合、新設工事のような、平面線形、縦断曲線、横断勾配等の設計がない場合が多い。この場合、現況の形状を測量し、設計データを作成することとなる。TS など3次元計測機器で現況測量後、測量成果をもとに平面線形、縦断線形、横断勾配を設定する必要がある。又、既設構造物等（巻き込み部等）に摺り付ける場合、設計データとは高さが合わない

ことがあるため、摺り付ける構造物等の現況測量を行い、設計データを作成する必要がある。

(2) 三角メッシュによる方法

三角メッシュによる方法は、多数の座標点(X, Y, Z)を、線で結び（三角形になるよう）設計面を作成する。又、線形データを変換し三角メッシュデータを作成する方法もあるが、現場形状によっては変換ピッチを細かくする必要がある。

① メリット

舗装に接する構造物を現況測量することにより、容易に設計データを作成することができる。

② デメリット

座標点間を直線で接続するため、平面曲線、縦断曲線をなめらかに作成するには、測点だけではなく、細かく座標点を測量する必要がある。

既設構造物に高さを合わせる場合や、施工形状の複雑な巻き込み部等では、三角メッシュによる設計データを使用することが多い。線形データと三角メッシュ(TIN)データのイメージを図-1に示す。

3.2 設計データの作成

(1) 施工箇所の現況路面の測量方法

現況路面の測量方法として以下の方法が挙げられる。

① レベル（従来法）

② レーザプロファイラ（従来法）

③ TS（TSを用いた起工測量）

④ レーザースキャナ（レーザースキャナを用いた起工測量）

⑤ その他の3次元計測技術を用いた起工測量

上記①と②で従来から行われていた現況路面の測量方法は、管理測点等の高さを取得することができるが、平面座標(X座標・Y座標)の取得ができないため、情報化施工の設計データを作成することができない。

情報化施工やTSを用いた出来形管理を実施する場合は、平面座標及び高さ取得のため、③又は④で縦横断測量を実施する。

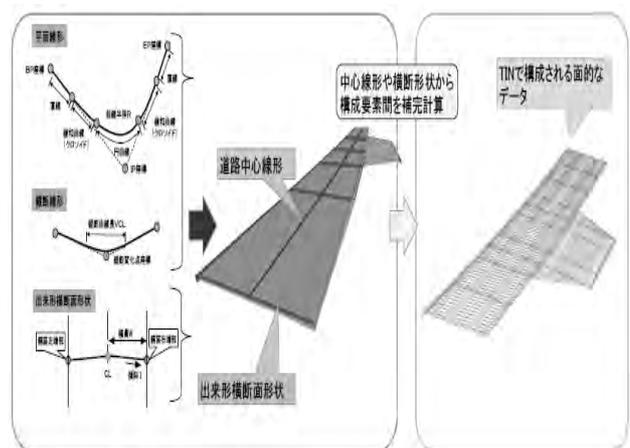


図-2 線形データ(左)と三角メッシュ(TIN)データ(右)

(2)3 次元設計データの作成

従来は、現況路面の測量成果から、路面切削工測量成果表（従来法においての設計）を作成していた。情報化施工用の3次元設計データにおいても、現況路面の測量結果から、3次元設計データを作成するが、路面切削工測量成果表も作成する。

3.3 使用機器

今回、切削機でMGを行うために使用した機器は、Trimble社製TSである。重機に取り付けるプリズムは、アクティブターゲットと呼ばれる光信号機能を搭載した誤視準の少ないプリズムを使用した。TSの概略の仕様を表-1に、写真-1にTS設置状況を示す。

3.4 システム概要

今回使用したガイダンスシステムは、切削機の切削ドラムカバーに、マストや360°プリズムを簡易的に取り付けてTSで自動追尾を行うものである。TSにより測定されたデータは、無線モデムにより切削機に取り付けたデータコレクタ（以下、DC）に送信される。DCに提供された情報は、あらかじめ入力された設計データと照合される。その結果算出された偏差は、DCの画面上に表示されるシステムである。機器の取り付け状況を写真-2に示す。

表-1 TSの主要諸元

測角精度	5"
測距精度	10mm+5ppm
更新レート	2.5Hz
測距範囲	300~500m(Robotic)
測距時間(トラッキング)	2.0秒/0.4秒
稼働時間(内部バッテリー)	約6時間
稼働時間(外部バッテリー)	約18時間
測距範囲	300~500m(Robotic)
最大追尾速度	86°/秒
国土地理院登録	2級Aトータルステーション



写真-1 TS設置状況

3.5 作業装置の制御方法

切削機の切削ドラムの幅は2m程度あるため、切削ドラムの左側高さ及び右側高さの2か所を制御する必要がある。事前に検討した制御方法を以下に示す。

- ① 左右両側ともTSによるMG
- ② TSによるMGと、ならい制御(MC)
- ③ TSによるMGと、スロープ制御(MC)

切削機をMGで制御するには、オペレータがDCの画面上に表示された偏差を確認し、切削機の上下レバーを操作することになる。そのため、左右両側両方ともTSによるMGにすると、オペレータが左右2画面を確認し、それぞれの上下レバーを操作しなければならない。この作業はとても困難なため、今回は片側をTSによるMG、反対側を従来の制御方法である“ならい制御(MC)”で施工することとした。

4. 事前準備

4.1 マスト用ブラケット

施工に先立ち、使用する切削機に取り付けるマスト用のブラケットを製作した。協力会社の切削機を使用し、MGで使用する装備は毎日取り外しを行わなければならないため、できるだけ脱着が簡単な構造とした。又、フレームや油圧ホースなどに干渉しないか確認を行った。

4.2 現場条件の検討

切削オーバーレイでは、切削機をはじめ、複数台のダンプトラック、スイーパー、乳剤散布車、散水車、照明車、資材運搬車等、多数の車両等が行き来するため、常にTSの視準を確保するよう設置場所の選定が重要である。各重機の停止場所、待機場所、進入経路等を、施工日毎に検討し配置計画を行うことで、TSと重機の視通を確保し円滑な施工を心掛けた。



写真-2 機器取り付け状況

5. 施工結果

5.1 施工の実施と結果

MG用のTSを1台、出来形確認用のTSを1台現場に設置し、切削深さを確認しながら施工した。施工状況を写真-3に示す。今回の現場では、TSを用いた出来形管理を実施しており、その測定結果（路面切削工出来形）をまとめたものが表-2及び図-3である。これらの結果から、マシンガイダンスによる施工は従来の工法と比較し良好な結果が得られたことがわかる。

5.2 考察

切削機のマシンガイダンスを使用することによって次のようなメリット、デメリットがあった。

(1) メリット

- ① MCと比較して、システムの初期導入コストやリース料等を低減することができた。
- ② MCと比較して、重機側の設置機器が少なく、事前準備や、装置の脱着が容易であった。
- ③ MCを実施するほどの知識を必要とせず、TS出来形と同等の知識で実施することができた。
- ④ 従来工法と比較し、高精度な施工ができた。

(2) デメリット

- ① TSを使用するため従来工法と比較すると、初期導入コストやリース料等が必要となる。



写真-3 施工状況

表-2 路面切削工出来形結果 (TS 測定)

	従来	MG
標準偏差	5.91mm	4.05mm
平均値	-2.71mm	-0.84mm
最大値	6mm	6mm
最小値	-22mm	-16mm
最多値	-2mm	0mm
データ数	84 個	101 個

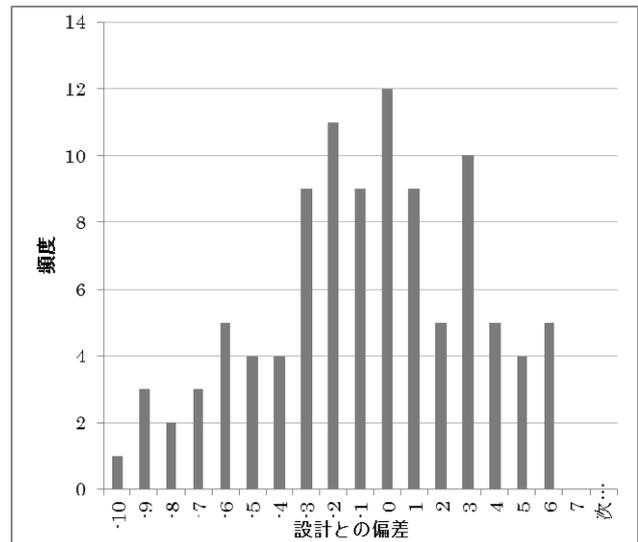


図-3 MG 度数表 (TS 測定)

6. 今後の課題

近年、情報化施工の導入が拡大している。情報化施工により施工の効率化や高精度な仕上がりが得られるが次のような課題もある。

- ① 初期導入コスト、リース料、外注費等により従来工法と比較し施工費用が高額である。
- ② システムを取り扱う専門知識を有した技術者が必要であり、技術者の育成が急務である。

7. おわりに

切削機を所有しない当社にとって、切削機のMCによる情報化施工は切削機の機種を選定や装置取付けに伴う機械の拘束など、現場に導入するには大きなハードルがあると考えていた。今回考案した切削機のMGによる情報化施工は、これらの課題を解決するとともに、従来と同等以上の出来形精度が得られることが分かった。さらに、切削機を所有する協力会社へのヒアリングでは、操作性の簡単さに加え、熟練オペレータ不足への対策としても期待できることが分かった。

一方、情報化施工を構成する主要技術は、機械制御技術、油圧制御技術、TS・GNSSによる測量・測位技術、3次元設計データを扱う情報利用技術など、多岐にわたる専門技術を駆使できる技術者の養成が重要となっている。弊社では、生産性の向上、高精度な施工を実現する情報化施工を様々な現場で利活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議資料
- 2) TSを用いた出来形管理要領（舗装工事編）平成29年3月
- 3) 地上型レーザースキャナを用いた出来形管理要領（舗装工事編）平成29年3月