

道路建設における 3D-MC による施工の展開

山口 達也

3D-MC システムを実際の現場に導入する大きな目的は、操作員の技量に左右されることなく、高い施工品質と生産性を安定的に確保することにある。また作業現場での検測の簡略化などにより建設機械周りの検測員、作業員を削減することが出来るため建設機械との接触事故などのリスクを減じ、安全性の向上に貢献することも広く理解されるようになってきた。道路建設分野においては 3D-MC の応用範囲が広まり、路盤から舗装、そして維持修繕の工種にまで展開されている。本報は道路建設分野における 3D-MC による施工がもたらす有効性を述べるとともに、応用される範囲が拡大している状況を実施例の紹介とともに報告するものである。

キーワード：情報化施工 (ICT)、施工合理化、安全性向上、工期短縮、施工精度、品質向上

1. はじめに

道路施工業界において現場施工に三次元マシンコントロール (3D-MC) ブルドーザを初めて導入したのが 2001 年であり、今から 10 年以上も前のことである。未来技術の様相を呈する 3D-MC マシンが 21 世紀の到来と同時に、実際の現場で威力を発揮する機会が与えられたのは、時代の要求に相応しい技術の実用化であったといえる。今さらながらではあるが、この 10 年間におけるエレクトロニクス分野の技術進歩、およびその展開には目を見張るものがある。総務省の調査によると、インターネットの利用率は 2000 年頃から急速に普及していったことが示され、この機を境に職場、家庭を問わず情報化社会が到来したことが伺え、道路建設分野へ 3D-MC が登場したことも偶然ではな

い。

その 3D-MC の建機への展開は 2007 年頃まではブルドーザ、モータグレーダが殆どで、稀にアスファルトフィニッシャへ装備する例もあった。現在は切削機、コンクリートスリップフォームペーパーなども含め、応用が活発になってきている。

2. 道路建設機械の三次元マシンコントロール

3D-MC (3 Dimensional Machine Control) は言わずと知れた建設機械の三次元マシンコントロールのことで、現在では解説が不要なほどに 3D-MC は道路建設業界では一般的な存在になっている。

3D-MC は、自動追尾トータルステーションや測位衛星システムを用いて、建設機械の作業装置の座標情報をリアルタイムに取得し、予め準備された制御データとの照合により建設機械の作業装置を三次元的に制御するシステムである。ここでは 3D-MC の制御の仕組みとバリエーションを紹介する。

(1) トータルステーションを応用した 3D-MC

トータルステーション (Total Station : 以下 TS) は距離と角度を同時に測定できるほか、その結果が自動記録できるなど、従来のトランシットと光波測距儀の機能にマイクロコンピュータを備えた測量器である。これに外部のコンピュータや専用プログラム、プロッタなどを組み合わせてシステム化することで、計



写真-1 稼働中の 3D-MC スリップフォームペーパー

測から計算，帳票作成までが効率よく行われ，測量の大幅な省力化を図ることができる。3D-MC に用いられる TS は自動追尾機能と無線装置を備えた機種である。

TS による制御は，TS が測定した建設機械の位置情報を無線により建設機械のコントローラに送信し，その送られてきた位置情報を建設機械のコントローラに収められた制御データと照合することにより作業装置（グレーダ，ブルドーザの場合はブレード）を制御するタイプが一般的である。通常は作業装置の基準になる箇所の高さの制御と，スロープコントローラによる勾配制御を組み合わせて使用する。

TS を用いた 3D-MC のもっとも重要な特徴は水平，垂直方向ともミリメートル単位で精度を管理できる点にある。道路建設において求められる精度から，機械のマシンコントロールはミリメートル単位での制御が達成できることが前提となるのである。図一 1 は TS 式 3D-MC を搭載したモータグレーダのマシンコントロールイメージ，写真一 2 は 2 台の中型ブルドーザ D65PX に TS 式 3D-MC を適用して，ダム法面の施工を行っている状況である。

TS の計測精度は TS と計測対象物（建機上のプリズム）との距離に比例する。また，無線の送信出力による到達範囲という縛りもあり，使用する建機と施工



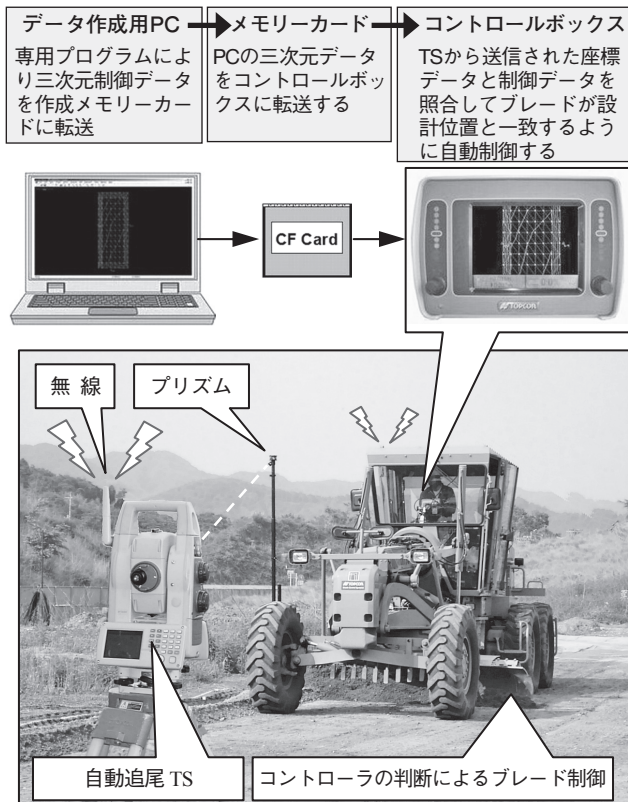
写真一 2 TS 式 3D-MC ブルドーザによるダム法面施工

工種によるが，通常は建機と TS の距離を 200 m 以内に制限して制御を行っている。

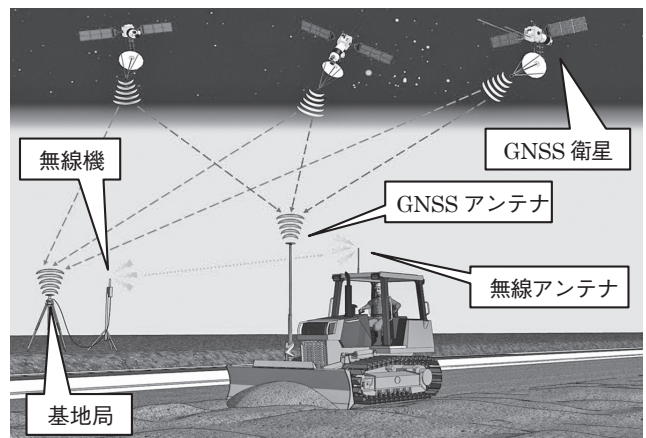
(2) 測位衛星システムを応用した 3D-MC

①測位衛星システムの施工精度

前章で述べた通り，TS 式 3D-MC は TS が建設機械作業装置の測位を行い，測位情報を無線で送信するが，TS の機能を衛星測位システム（Global Navigation Satellite System：以下 GNSS）により担うのが GNSS 式 3D-MC である。GNSS を応用した 3D-MC は現場内に基地局が備えられていれば複数台の建設機械を同時に制御するとともに測量作業も実施することが出来る合理的なシステムであるが，精度の側面から適用できる作業は限られる。測量時の精度は水平方向で±10 mm，垂直方向では±20 mm 程度と言われているが，実際のマシンコントロール時は制御不感帯の設定や，道路建設機械固有の装置接合部の影響も受けるため，水平方向で±20 mm，垂直方向では±40 mm 程度の範囲に押さえるのが限界である。この数値は，垂直方向の精度がミリオーダーで要求される道路建設において許容できる精度とは言い難い。



図一 1 TS 式 3D-MC の機器構成と施工イメージ



図二 GNSS 式 3D-MC の機器構成

②道路建設における高精度 GNSS による 3D-MC

道路建設において GNSS 式 3D-MC の導入をためらう要因となっているのが前述の垂直方向精度である。現在では、この点を改良した商品が販売されている。測量器を用いる TS 式と同程度の垂直精度 ± 10 mm が得られるので、道路建設に必要な精度を満足することができる。

特徴は、作業エリア内に垂直精度を補正する機能を備えたゾーンレーザ発光器を設置することである（写真-3）。

ゾーンレーザ発光器は発光中心から上下に各有効帯域約 5 m の幅を持った回転レーザ発光器で、GNSS 受信機とゾーンレーザ受光センサを備えた建設機械或いは測量器がこの帯域の範囲内にあれば、高い精度で垂直方向の座標を認識することが出来る。当然のことながら、この方式は GNSS 信号が受信出来ることが条件となるため、トンネル内では使用出来ない。

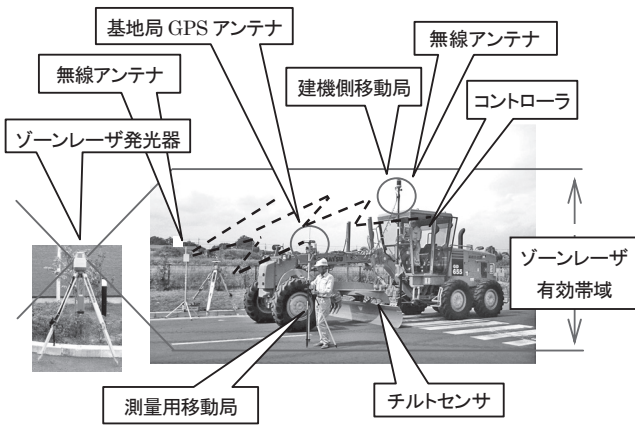


写真-3 高精度 GNSS 式 3D-MC の機器構成

(3) 3D-MC の現場導入の効果

これまで 3D-MC を導入して施工を行った結果、作業効率の向上、高い精度の仕上がり面が得られる、或いは検測作業が削減できるので安全性が向上する、な

どの効果が確認されている。前項で述べた 2 通りの制御方式それぞれに特徴はあるものの、3D-MC によって得られる効果に大きな違いは無く、両システムを使い分ける明確な線引きを定義することは困難で、システムを導入し、運用する会社の考え方に左右される要素が大きいと思われる。ここではモータグレーダを例に効果を報告する。

①作業効率の向上と環境負荷の低減

従来施工における路盤整正作業では、モータグレーダによる整正と、丁張りを利用した出来形確認作業を相互に繰り返しながら目標仕上げ高さに近づけていく。

3D-MC では路盤面を整正するブレード高さを自動制御することにより目標高さに仕上ることから、出来形確認による施工中断を大幅に低減できることもあり作業効率が向上する。またブレードが自動制御されるためにオペレータの技量により出来高が左右されることは少なくなる。図-3 は施工技術総合研究所によりまとめられた 3 箇所の工事での TS 式 3D-MC モータグレーダと従来のマニュアル施工との作業効率比較で、従来施工の作業時間を 1 としたときの 3D-MC の作業時間を比率で表したものである。

この結果から、条件によるが 3D-MC は従来施工と比較して作業効率を 30 ~ 50% 向上させる効果があることが分かる。また路盤整正作業の作業効率向上に伴い、燃料使用量の削減も 30 ~ 50% 見込まれることか

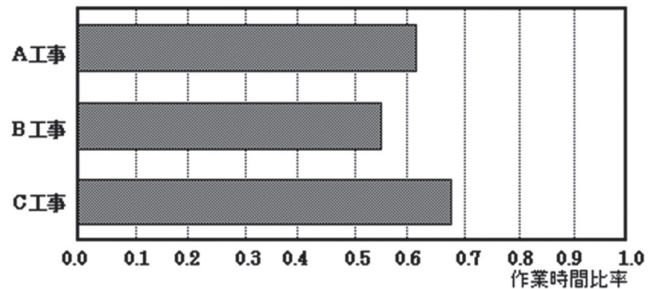


図-3 3D-MC と従来施工での作業効率比較

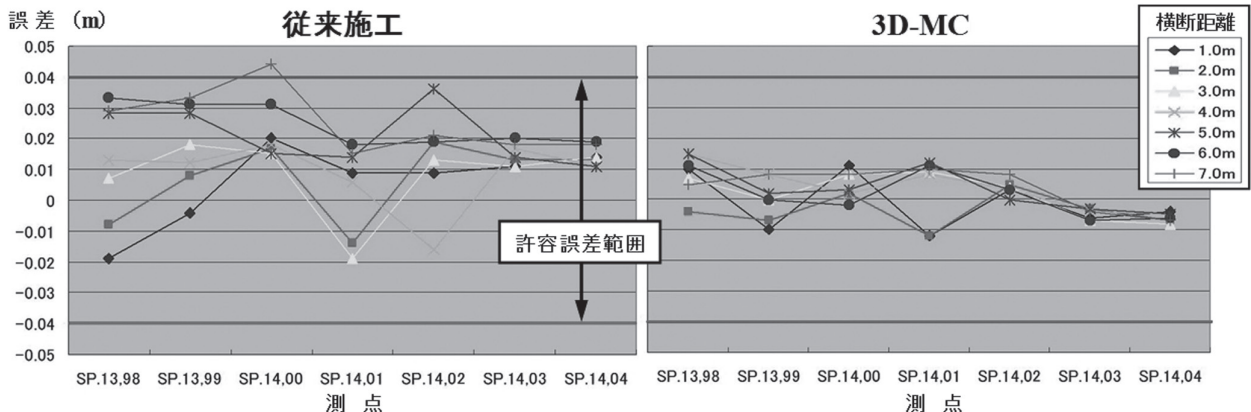


図-4 従来施工と 3D-MC の施工誤差比較

ら、環境負荷の軽減にも貢献できることが推測される。

②精度の安定と平坦性向上への貢献

北海道開発局発注の一般国道舗装工事で路盤整正作業を実施し、マニュアル操作による従来施工との精度比較を行った。その結果を図-4に示す。何れの施工結果も許容誤差範囲である ± 40 mmに概ね収まっているが、ここでは許容範囲内でのバラツキに注目すべきである。従来施工のバラツキは3D-MC施工に比べて大きく、この路盤に敷均される舗装の平坦性に影響を与えることが予想できる。

3. 道路建設機械への3D-MC展開

3D-MC モータグレーダ或いはブルドーザによる施工は国土交通省直轄工事をはじめ、高速道路、空港、ダム、体育施設、競馬場など広範囲において実施されて高い評価を得ている。ここではその他の道路建設機械へ応用した例を紹介する。

(1) アスファルトフィニッシャ

(Asphalt Finisher 以下 AF)

AFでレベリング施工を実施する場合、従来であれば基準となるセンサワイヤを敷設する必要があり、その作業は、センサワイヤの設置・高さ確認・撤去・保管といった煩雑さを伴うものであった。また、作業エリアに設置されたセンサワイヤは舗装作業を行う作業員にとっては邪魔ものである。3D-MCでAFのスクリード（敷均し装置）を制御させる場合センサワイヤの設置作業を省略することができるので、煩わしい作業から開放され、且つ作業エリアの改善にも貢献することができるというメリットがある。

AFのスクリードを制御するには大きく分けて2通りの方式があり施工幅員、現場条件等により選択する。

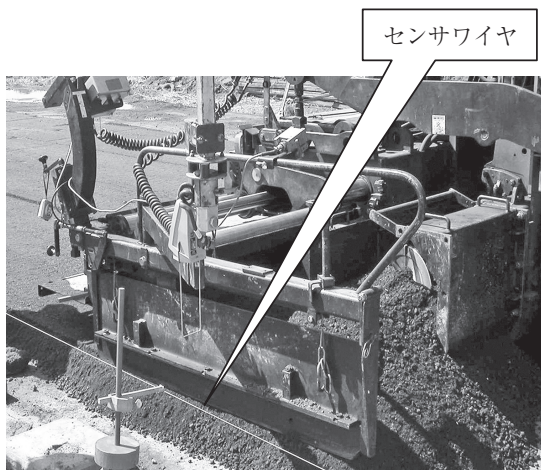


写真-4 センサワイヤと AF

①片リフト・片スロープ方式

限られた施工幅員の場合、スクリードの片側の高さをTSにより制御し、反対側はスロープセンサにより制御する方法である。グレーダやブルドーザと同じ制御方法であり、制御に使用するTSは1台で済む。但し、スロープセンサによる制御誤差は幅員に比例して拡大していくため、施工上求められる精度により施工幅員が制限される。



写真-5 片リフト・片スロープ方式で舗装中の AF

②両リフト方式

施工幅員が拡大した場合、スクリード両端の高さを確実に確保するために、2台のTSを用いてスクリード両端を独立して制御する方式がとられる。高い施工精度が得られるがTSが2セットとなるため現場での取り扱いがその分煩雑になる。

空港工事のホットジョイント施工のように、複数台のAFを同時に3D-MC制御する場合、両リフト方式に前述の高精度GNSSが採用されることもある。

両リフト方式で制御する場合、施工条件によりTSか、あるいは高精度GNSSいずれの方式を採用するか慎重に検討する必要がある。

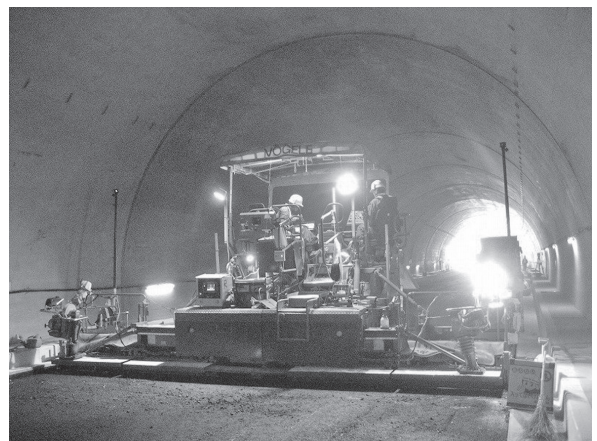


写真-6 TSによる両リフト方式で舗装中の AF

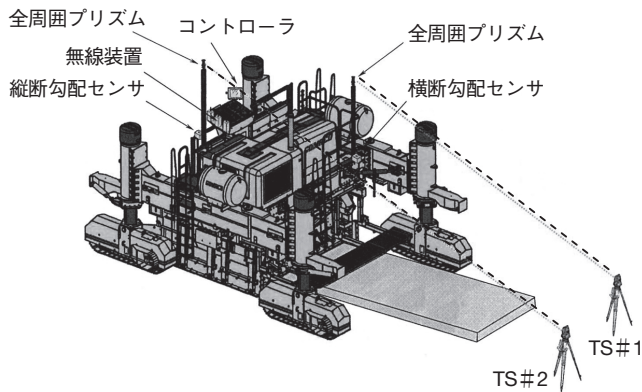


写真一七 両リフト方式（高精度 GNSS）で舗装中の AF

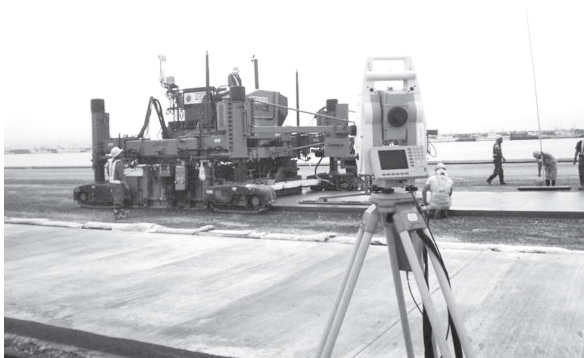
(2) コンクリートスリップフォームペーバ

(Concrete Slipform Paver 以下 CSP)

近年、高速道路建設工事で施工実績を急速に伸ばしている CSP も 3D-MC が取り入れられている。これまで、CSP の敷均し高さの管理及びステアリングの制御はセンサワイヤを設置して、それを做わせるやり方が一般的であった。CSP の 3D-MC はセンサワイヤに代わって 2 台の TS を用いて敷均し高さとステアリングの制御を行う。



図一五 3D-MC-CSP の制御イメージ



写真一八 3D-MC で舗設を行う CSP

トンネル内での施工が圧倒的に多いスリップフォームペーバは 3D-MC により制御することにより、精度的に優れた結果が得られるというだけではなく、狭い施工エリアからセンサワイヤを排除できる点においても大きなメリットがあるといえる。この効果は AF の項で述べたことと同じである。図一五にシステムの構成と制御イメージの例を示す。

(3) 路面切削機 (Road Planer 以下 RP)

切削オーバーレイに使用される RP の 3D-MC も積極的に現場展開されている。施工幅員 (切削幅) が 2 m 程度の RP の 3D-MC は基本的には AF の片リフト・片スロープと同じ方式が採用されている。連続して隣り合うレーンの切削を行う場合はジョイントマッチャを使用する。3D-MC の RP は現場条件に応じてクローラ式、タイヤ式が施工に用いられている。

但し、切削機に 3D-MC を応用する場合、舗装厚さに応じた切削速度の上限が決まっているため、単位時間辺りの施工量が向上する効果は期待できない。またレベリング作業においても切削機は通常センサワイヤを使用することはないため、AF や CSP のようにセ



写真一九 3D-MC で切削作業中のクローラ式 RP



写真一〇 3D-MC で切削作業中のタイヤ式 RP

ンサワイヤを省略する効果は見込めない。従って現時点では切削機へ3D-MCを応用する場合のメリットは、レベリング精度の向上に貢献するという点に限定されるということを確認しておく必要がある。

4. おわりに

本報では道路建設機械への3D-MC適用において、実施工で得られたデータをもとに精度、生産性の向上といった側面について述べてきた。3D-MCがもたらす安全性の向上やオペレータの技量差を補填する効果については、具体的な数値を示すことが困難なため従来施工との比較が出来なかったが、3D-MCの有効性を語るうえでは大きなポイントを占める部分であることは間違いない。

道路建設の現場においては今回紹介した建設機械の3D-MCのみならず、様々な現場条件に対応可能なローラ転圧管理システムや電磁密度測定器などの情報化機

器の導入が図られている。またTSによる出来形管理手法の実施例も増えてきた。機会があればこれらシステムの導入効果などに関して報告を行いたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省 総合政策局 建設施工企画課内 情報化施工推進戦略 2008.07
- 2) 道路舗装技術におけるIT機器を駆使した施工 第49回 北海道開発局技術研究発表会 2005.02
- 3) 実証された数値制御施工の効果と更なる機能・普及展開 建設の施工企画 2008.11
- 4) 情報化施工機械の有効性と導入効果 土木技術 2009.06

【筆者紹介】

山口 達也 (やまぐち たつや)
鹿島道路株
生産技術本部 機械部



平成 23 年度版 建設機械等損料表 発売中

■内 容

- ・ 国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・ 機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・ 損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・ 各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・ 主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・ 主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■ B5判 約 710 ページ

■ 一般価格

7,700 円（本体 7,334 円）

■ 会員価格（官公庁・学校関係含）

6,600 円（本体 6,286 円）

■ 送料（単価） 600 円（但し沖縄県を除く日本国内）

注 1) 複数冊発注の場合は送料単価を減額します。

注 2) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会

（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>