

実証された数値制御施工の効果と 更なる機能・普及展開

福川 光男

土工革命として、従来の人的操作を根本的に変えた、ブルドーザ、モータグレーダなど土工用建設機械の作業装置の操作に数値制御システムが21世紀に入り実用化され、本格的に取り入れられてきており、その有効性も徐々に認知され始めている。しかし、システムの導入には、コストと操作、運用の知識が必要になるため、企業者は費用対効果を模索しているのが現状ではあるが、施工事例が多くなり、それに伴って具体的な効果の実証も数値的に把握されてきている。更に、高度化を目指したシステムの開発と運用促進のためのインフラ整備が始まっている。

キーワード：情報化施工、3D-MC、仕上り精度、慣性制御機構、AMG、EED、CORS

1. はじめに

システムの機能評価については、一般の製造業とは違い、施工条件、状況がその都度異なっている。また、同一現場で、わざわざ従来工法と比較する事例も少なく、更に、自社での評価を把握していてもその公表に対して疑問視する企業もある。一方、公正を図るための公の機関での機能評価事例は少ない。したがってこのシステムの真の機能評価を得ることは難しい面もあるのだが、ここに、第三者機関、他社、そして自社（鹿島道路株式会社）での施工実績に基づいて公表されたシステムの機能評価を数例述べる。しかしながら、システムの採用を計画している企業者は、評価に関する情報を吟味したうえで、自らの判断に従うべきであろう。

2. 実証効果事例

(1) 公的機関、第三者機関での機能評価

発注者としても常に施工の合理化を求めており、その一環として建設機械の数値制御に関しても、評価のための実証テスト、現場での調査を行い、採取データによる貴重性の高い定量的評価を行っている。

① 17年度建設施工と建設機械シンポジウム

（報文18番：舗装工の情報化施工について）

施工技術総合研究所の実験フィールドにおいて、トータルステーション（TS）3D-MCシステムを用いてモータグレーダの制御を行い、施工の機能評価を実施した。このときには道路構築作業における路盤材敷均し作業において、従来施工との仕上がり精度の比較を行っている（図-1）。

また作業の効率化による燃料消費量は38%の削減効果があることが報告されている。

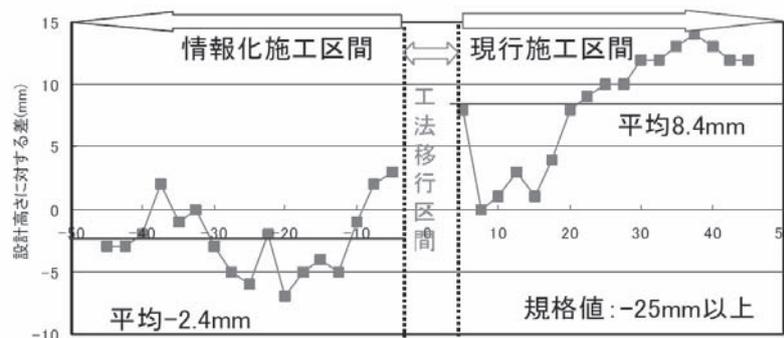


図-1 路盤仕上がり精度比較

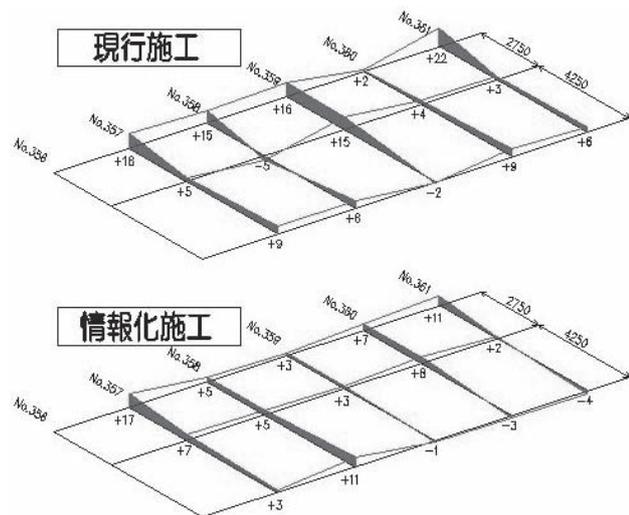
② 18 年度建設施工と建設機械シンポジウム

(報文 37 番：舗装工における建設機械の位置情報技術を利用した施工・施工管理の提案)

実際の A, B 異なった 2 箇所の道路構築作業において、同様にモータグレーダによる路盤仕上げ作業における従来工法と TS-3D-MC システムの施工現場での作業効率 (表一 1)、仕上がり精度比較 (図一 2) を行っている。更に、ここでは燃料費削減に関して 30 ~ 40% の効果があることが報告されている。

表一 1 作業効率の比較

項目	作業面積 (m ²)	施工区分	作業時間 (hr)	作業能力 (m ² /hr)	作業能力比 ① / ②
A 工事	900	①情報化施工	3	300	1.46
		②現行施工	4.4	205	
B 工事	1,350	①情報化施工	5.4	250	1.84
		②現行施工	9.9	136	



図一 2 上層路盤の仕上がり精度比較

(2) 長大斜面施工での実績

(九州電力小丸川揚水発電所上部調整池建設工事)

我が国で本格的な総合情報化施工が取り入れられ実施された工事であり、情報化施工機器がその機能を如何なく発揮した現場であった。特に揚水発電用の貯水ダム構築において、傾斜角 21.8 度 (2 割 5 分)、最大斜面長約 120 m に及ぶ長大な斜面の遮水用アスファルトフェーシング基盤材の敷均しに、GPS と TS 機能を使用したブルドーザでの数値制御施工が行われた。

従来の施工方法は作業指標となる丁張りのズレが高さ精度に大きく影響するため、基盤斜面に多数の丁張りを設置し、斜面にいる検測員の指示によりショベルのバケットを左右にスイングさせながら材料を敷き均

していた (写真一 1)。または敷均し高さのガイドとして法面に沿って長いヌキ板を設置し、敷均し作業を行っていた (写真一 2)。



写真一 1 法面整形作業



写真一 2 法面に設置されたヌキ板

この現場では、GPS 機能を用いた 3D-MC ブルドーザで材料の粗均しを行い、TS-3D-MC ブルドーザで基盤材敷き均しの仕上げを行った。施工面積は約 30 万 m² に及び、従来工法であれば 9,000 本以上の丁張りを斜面に設置する必要があったが、実施工においては作業用の丁張りを設置する必要がなかった (写真一 3)。



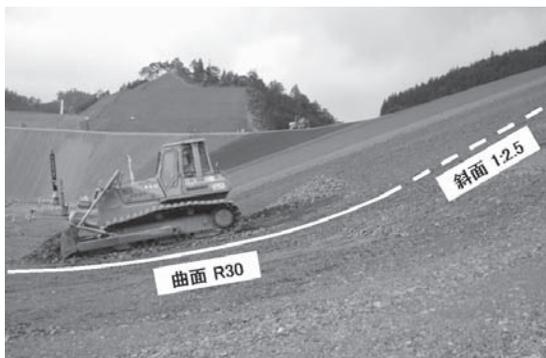
写真一 3 TS-3D-MC ブルドーザの施工状況

施工中に丁張りが無いということは、後工程の転圧作業を同時進行でスムーズに行うことができ、GPS 機能を用いた転圧管理ガイダンスシステムによって品質の高い締め固め作業を行うことが可能であった (写

真一4)。更に、上部調整池の形状は複雑な3次曲線の組み合わせで構成されている。しかしこのシステムの採用により、直線区間から曲線部への緩和区間の連続施工を容易にすることが可能であった（写真一5）。



写真一4 転圧管理システムを搭載した法面ローラ



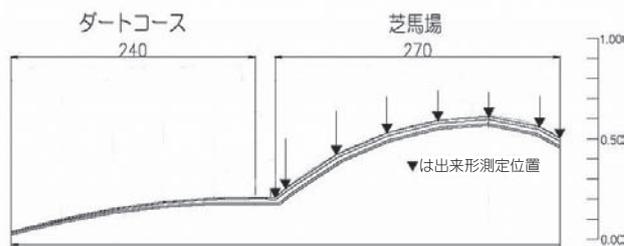
写真一5 3D-MCブルドーザによる緩和区間の施工

(3) 特殊な用途での活用報告（競馬場馬場造成工事）

更に複雑な3次元形状の施工例として、競馬場での芝馬場の基盤整形作業に、複数のTSシステムをエリアや指定すること（レーザ受光器のセット高さに高低差を設ける）により、ブルドーザ、モータグレーダにて基盤材を敷均した（写真一6）。図一3に示すように、多数の変化点に対応するため、従来工法であればその



写真一6 複数のTS-3D-MCマシンの運用



図一3 競馬場芝馬場の横断形状の例

都度、測量作業によって作業指標を作りながらの敷均し作業が必要であった。

(4) 新たな機能活用施工報告

①夜間での使用実績（供用中の空港滑走路延長工事）

施工座標情報の受授はTSのレーザにて行うため、指標確認の照明は不要である。機能分析により操作に必要な機能を抽出した結果、この機能を夜間作業に応用することは正にVE（Value Engineering）に則ったものといえる。従来、夜間工事においては人的操作で必要であった指標目視のための照明はレーザ機能、通信機能を使用することにより不用になる。当たり前のことであるが実際の施工に当たって、視界の悪い環境下での出来形確認のための検測作業も不要になり、作業の安全性も著しく向上したため、施工に従事した現場担当者から高い評価を受けた（写真一7）。



写真一7 3D-MCグレーダによる夜間工事

同様に、トンネル内での舗装工事にも機能を発揮でき、使用例も多くなってきている。

②舗装工事における高さ基準ガイドが設置できない箇所（高速道路ランプ施工事例）

舗装業者として、曲率が小さく縦横断勾配が連続変化する高速道路のランプの施工に当たっては、幅員が広く複数レーンで施工する場合には先行レーンのジョイント側の高さ基準をどのように取るかが問題と

なる。下層から基準値を設定するには線形曲率と縦横断勾配がきつく、常に変化するためにスクリード勾配センサも做い基準としてのロングスキーも使用できない。そこで、先行するアスファルトフィニッシャのジョイント側の高さを TS システムで制御する方法が採用され効果を上げた (写真—8)。



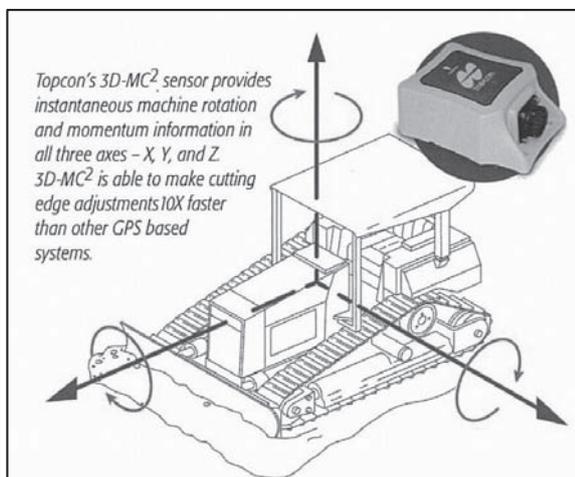
写真—8 3D-MC のフィニッシャへの応用

3. 新たな機能展開

3D-MC システムの施工事例も多くなり普及が進むと、ユーザ側からはもっと機能の高いシステムの市場での展開が要求されており、制御システム製造メーカーは開発を進めている。一方ではシステム運用の容易化が求められており、海外事例ではあるがシステム運用のためのインフラ整備が始まっている。

(1) 慣性制御機構を搭載した高速施工ブルドーザ

情報化による建設機械の数値制御機構における制御精度は GPS 機能にレーザ機能を付加することにより複数の機械を高い精度で同時に制御できるシステムが開発され使用されるようになった (トプコン社の

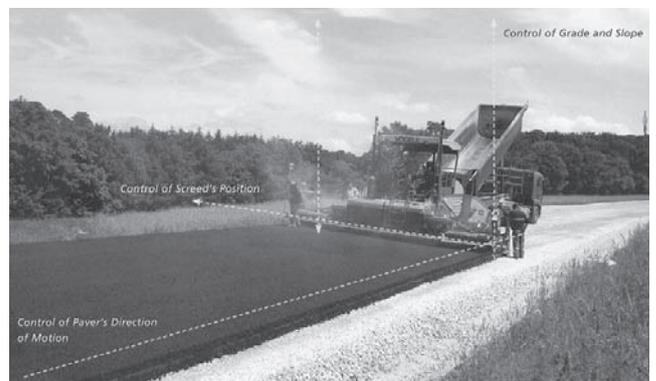


図—4 慣性制御機構を搭載したブルドーザ

mmGPS-3D-MC)。次に要求されるのが作業速度の向上であるが、単に制御データの処理能力を高めても、作業装置の応答性能が備わらない場合には作業速度の向上は不可能である。そこでブルドーザの作業装置に慣性センサを取り付け挙動予測が伴った制御をすることにより、応答性の高いシステムが開発された。これにより従来の施工速度の倍の速度で施工することが可能とされている (図—4)。

(2) ステアリング機能を付加したアスファルトフィニッシャ

3D-MC の制御データ形式としては、ラインデータ形式とメッシュデータ形式がある。いずれの形式のデータを用いても建機の進行方向が運転席の制御インジケータに表示され、それを参考に操作員は操向操作を行っている。モータグレーダやブルドーザは操作上、前後進走行を行うが、アスファルトフィニッシャのような敷均し機械の作業時の走行は前進のみである。このようなアスファルトフィニッシャのための、操向指示情報も含むデータを使用する自動操向機能が付加されたシステムが開発され、海外では Navitronic Plus (Vogele 社の商標) の名称で使用され始めている (写真—9)。



写真—9 ステアリング制御機能を備えた 3D-MC

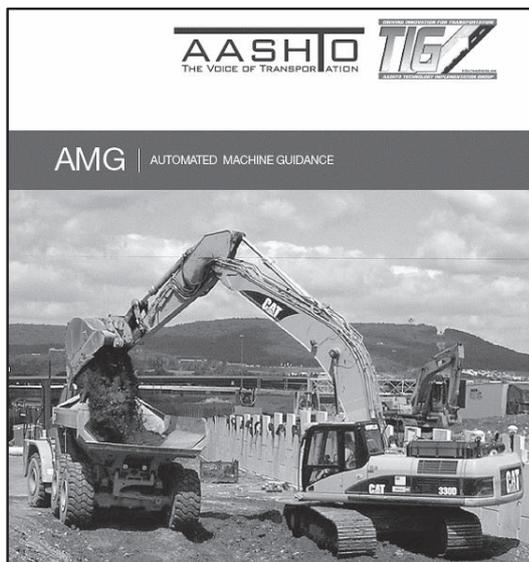
技術上 TS 機能を用いて操行制御を行うことは可能であり、複数の TS を用いたコンクリートスリップフォームペーパーでの施工実績も報告されている。しかし、この Navitronic システムは一台の mmGPS-3D-MC を用いて、敷均し高さ、勾配、操向の制御を行っている。当然このようなシステムを使用した場合には、施工能力が増すため、連続施工上ネックとなるダンプトラックからのアスファルト混合物のチャージを大型のスタッカを接続することにより対応している (写真—10)。



写真—10 大型スタッカと3D-MC フィニッシャ

4. 北米での取り組み

我が国においては、国土交通省が今年の7月に情報化施工推進戦略を策定し、情報化施工の本格的な普及促進が図られ始めた。一方、活用効果の高い大規模工事から、合理的施工を目的とした小規模工事まで急速な普及が進む北米において、AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials: 米国連邦道路・交通行政官協会) は、我々が述べている情報化施工での数値制御システムを、AMG (Automated Machine Guidance) システムと呼び、普及促進プランが策定されている。AMG はすでに多くの州において施工現場での実践的な活用が行われている (写真—11)。



写真—11 AMG システムの紹介パンフレット

(1) 電子技術データの活用

情報化施工を運用するための基本的な要素として、電子データが必要であり、ニューヨーク州の道路局においては EED (Electronic Engineering Data) と称

する標準化された電子データを準備し、このデータを基に設計・施工・検査・維持管理全ての工程を一元管理することができる仕組みを整えつつある。具体的な利点として、

- ①現場に合わせたデータ再計算が不要
- ②データの再入力作業が不要
- ③設計者の意図の視覚化
- ④設計・施工上の問題箇所の発見
- ⑤施工用データ作成の自動化
- ⑥工事進行状況を即座に入手可能
- ⑦全ての工程におけるデータの共有化
- ⑧数値制御による施工の自動化

などが挙げられる。EED は発注者が作成し、施工業者に与えられる。

(2) GPS システム普及のための固定基地局インフラ整備

GPS (GNSS) 機能を用いた建設機械の制御システムにおいて、移動体を精度良く制御するには RTK 方式が用いられる。このシステムを用いるのには概知の座標点に設置する位置情報補正用の固定局としての GPS 受信機とそのデータを移動局 (制御対象機) に送信する無線装置が必要になる。大規模な工事での運用には定置式の固定局を設けることは設置費用の面においても困難ではないが、中小規模の工事においてその都度設置することは、労力などの採算面において余計な出費を強いられることになる場合もある。北米では州によっては、CORS (Continuously Operating Reference Station) と称される、州単位で全域をカバーできる補正用固定局の運用を、州の公的なサービスとして提供している。

ここからの出力情報は州の運輸局などの公的機関のみならず、民間のエンジニアリング会社、測量コンサルタントと民間の施工業者が無償で使用することができる。例えばニューヨーク州運輸局は 46 箇所の固定局を運営している。小規模で対象構造物が複雑な形状の工事が多い我が国において、今後の情報化施工の推進を図るのにあたっては、このようなサービスを受けられるインフラの整備が必要であり、その整備の実現こそが情報化施工推進の牽引役となると考える次第である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省 関東整備局、関東技術事務所：舗装工の情報化施工について、17年度 建設施工と建設機械シンポジウム
- 2) 国土交通省 関東整備局、関東技術事務所：舗装工における建設機械の位置情報技術を利用した施工・施工管理の提案、18年度 建設施工

と建設機械シンポジウム

- 3) Automated Technologies in Construction
2008 IOWA Workshop, Don STREETT, PE and LS New York
State DOT



[筆者紹介]

福川 光男 (ふくかわ みつお)
㈱日本建設機械化協会
施工部会
情報化施工委員会委員長
(鹿島道路㈱常任顧問)

建設の施工企画 2006年バックナンバー

平成 18 年 1 月号 (第 671 号) ~ 平成 18 年 12 月号 (第 682 号)

1 月号 (第 671 号)
夢特集

5 月号 (第 675 号)
施工現場の安全特集

10 月号 (第 680 号)
情報化施工と IT 特集

2 月号 (第 672 号)
環境特集 温暖化防止に向けて
(大気汚染防止・軽減) 特集

6 月号 (第 676 号)
リサイクル特集

11 月号 (第 681 号)
ロボット・無人化施工特集

3 月号 (第 673 号)
環境特集 環境改善 (水質浄
化・土壌浄化)

7 月号 (第 677 号)
防災特集

12 月号 (第 682 号)
基礎工事特集

4 月号 (第 674 号)
特集 品確法 公共工事の品質
確保

8 月号 (第 678 号)
標準化特集

■体裁 A4 判
■定価 各 1 部 840 円
(本体 800 円)

9 月号 (第 679 号)
維持管理・延命化・長寿命化特集

■送料 100 円

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>