



情報化
施工
特集

グレーダを用いた情報化施工

山口 達也

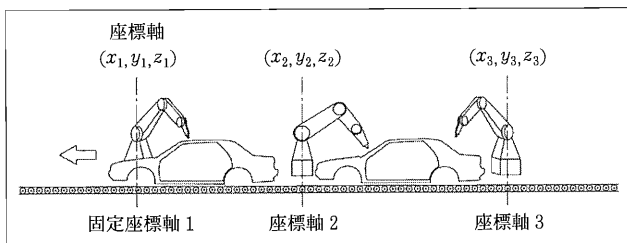
コンピュータ或いは通信技術などの情報化分野の急速な技術革新を背景に、建設分野においても情報化技術を建設機械施工に応用して、施工の合理化を図る情報化施工の取組みが行われるようになって久しい。なかでも三次元マシンコントロールシステム（以下：3D-MC）は設計、測量、施工それぞれ異なる管理データを一元化出来るため、設計データを用いて直接、施工機械を制御することが可能である。鹿島道路においては2000年より3D-MCを導入し、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャ、モータグレーダに搭載し、実施工において機能と性能を確認してきた。本報文は3D-MCシステムを搭載したモータグレーダの有効性と施工精度を報告するものである。

キーワード：情報化施工、三次元マシンコントロール、LPS、自動追尾トータルステーション、高精度

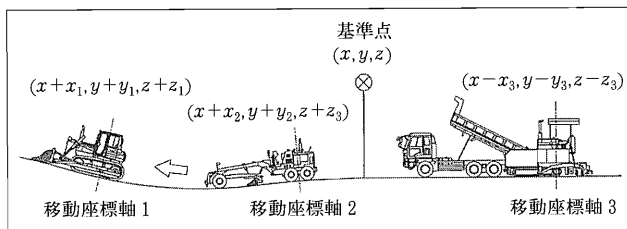
1. 製造業と建設業の生産性の比較

土木建設作業の合理化が論じられる際には、常に製造業と比較され、開発の遅れが指摘されている。

その要因の一つとして、工業用ロボット等の作業装置が加工対象物との正確な相互の位置情報をもとに加工・組立て作業を行うのに対して、土木建設現場では、あらかじめ作業に必要な位置情報を測量によって得たうえで、その位置情報を間接的に使用して作業装置等を操作しなければならないからである（図-1）。



① 製造業：Toolが固定されているため必要な座標が得やすい



② 建設業：Toolが移動するため相対位置座標の設定が困難

図-1 生産手段の違いによる座標の設定方法

コンピュータを応用した情報処理技術により測量機器に自動計測機能を付加することが可能となり、測量

機器は飛躍的にその機能を高めた。これらの機器は設計データ（座標データ）を直接建設機械に与える機能も備えているため、建設機械の作業装置を製造業の生産プロセスにおける工作機械と同様にダイレクトコントロールすることが出来る。既に実施工でも使用されている。

(1) 従来の土木建設施工機械の人的操作

土木建設作業現場での建設機械の操作は、まず作業エリア側方等にあらかじめ計画高さの基準となる杭を定められた間隔で設置し、これを重機の運転員が出来形の指標として機械を基準高さとして作業面との偏差を比較しながら操作を行う（図-2）。また一般的に指標となる杭高さは、作業に支障の無いように仕上がり面より一定の逃げ（偏差）を持たせるため、その逃げの距離を考慮した操作が必要である。したがって操作員の技量の度合いが施工出来高、施工品質を左右する。

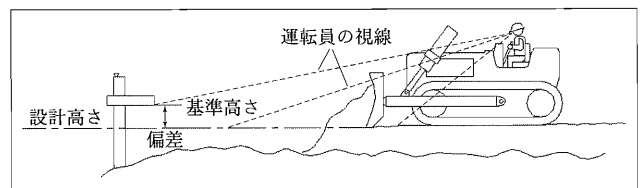
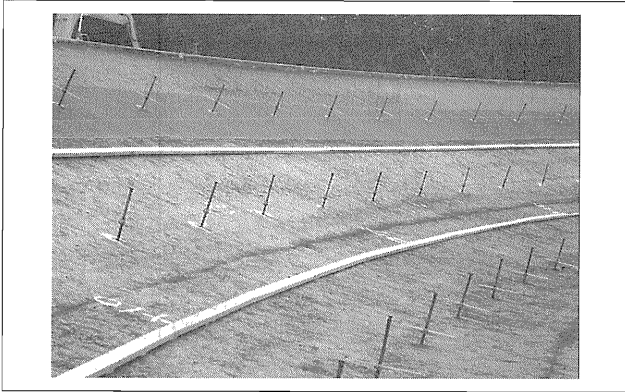


図-2 測量杭を基準とする目視による作業

(2) これまでの自動化の例

建設機械作業の一部を自動化した例として、あらかじめセンサ用基準ワイヤを作業延長上に沿って設置し、

そのワイヤをセンサがトレースすることにより自動的に設計形状を再現できるシステムがある。これにより人的操作による技量差を低減したうえで精度の向上を求めることが出来る。特にアスファルト舗装機械では以前から応用されているが、ワイヤ設置作業のほか測量作業等、多くの労力と装備が要求される（写真一）。

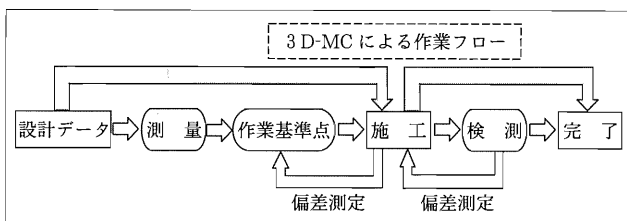


写真一 斜面上に設置されたセンサワイヤ用

（3）情報化施工における自動化の範囲

土木工事においては、作業条件が常に変化し一定ではないため、建設機械の作業装置は前述したように人的対応に委ねる割合が多く、製造業における工作機械のようにすべてを自動化することは安全性の面からも困難である。したがって人的操作では困難な作業のみを支援させるシステムとしての実用性を検討すべきであろう。これらのシステムを導入する目的は、操作員の技量に左右されることなく、高い施工品質を容易に確保することにある。

これから説明する3D-MCは設計データが直接グレーダを制御するので、基本的には施工基準としての杭を設置する必要が無く、施工時のオペレータの負担も大幅に軽減される（図一3）。また測量作業のための検測員が重機周りに居ないため安全性の向上も図れる。また3D-MCを用いて出来形測量を実施することにより、設計データとの差も自動計算され、データの一元管理が可能となる。

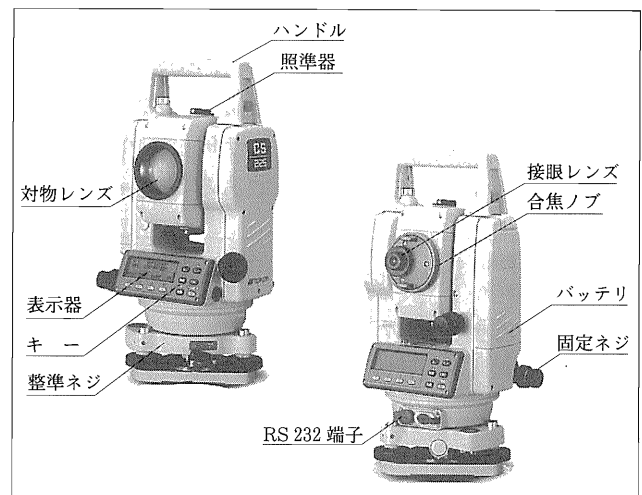


図一3 従来の施工手順と3D-MCのプロセス

2. 測量機器の機能を活用した自動遠隔制御システム

縦横断勾配が変化する土木建設作業では、目安となる杭を数多く設置しなければならない。勾配変化作業に対応可能な施工機械の自動遠隔制御システムは、三次元マシンコントロールシステム（3D-MC；3-Dimensional Machine Control System）と呼ばれている。3D-MCは位置情報の入手手段として、人工衛星からのデータを利用したGPS（Global Positioning System）方式と地上測量機器のトータルステーションを活用したLPS（Local Positioning System）に大別される。ここではLPS方式の3D-MCについて述べる。

測量機器としてのトータルステーション（以下、TS）は、トランシットと光波測距離機を一体化し、基準位置からの角度及び距離を同時に測定することによって測量対象物の座標を求める機能を有している。さらにそのデータを自動的に記録する機能も備えており、1980年代に普及機が開発された。その後自動追尾機能が付加され、測量作業のワンマン化が実現した（写真一2）。



写真一2 自動追尾トータルステーション

この自動追尾トータルステーションの機能を利用して建設機械の自動制御を行うシステムがLPS-3D-MCである。

3. 三次元マシンコントロールシステムの概要

鹿島道路株式会社が所有する3D-MCは測量光学機器メーカーである株式会社トプコン製である。制御用

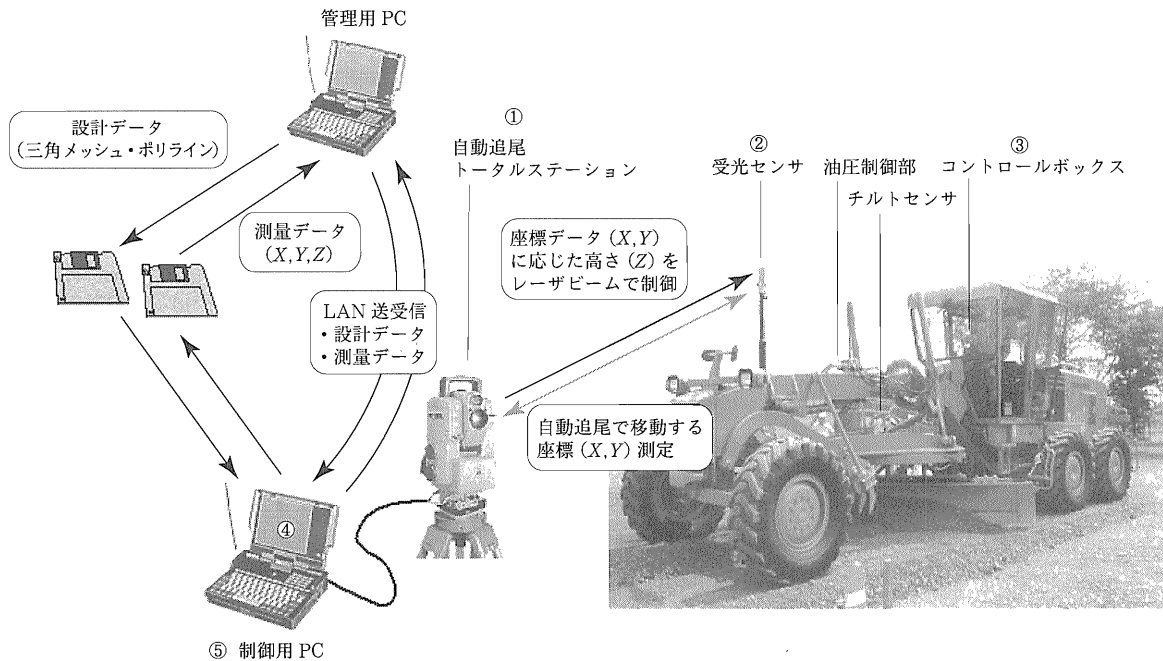


図-4 3D-MC グレーダのシステム構成

レーザに光通信機能を付加し、建設機械側にデータ処理用のパソコン及び無線通信装置を搭載する必要の無いことが大きな特徴である。

3D-MC グレーダは図-4 に示すとおり、グレーダのブレードに設置された受光センサのターゲットプリズムを TS が追尾、測定し、その座標情報 (X, Y) と進行方向を計測し、その座標に合致する設計高さ (Z) 及び横断勾配データを TS に直結しているパソコンから引出し、TS の発信装置からレーザ光として (光通信) 発信する。

グレーダ側は受光センサが TS からのレーザ光を受光し、ブレードの高さ及び横断勾配を自動制御させる。その際、レーザ光にステアリング情報を付加し、運転席に備えられたインジケータに進路を表示させることも出来る。

このように設計データを用いて直接グレーダを制御することが可能であるため、測量による基準杭の設置作業が大幅に削減され、施工時のオペレータの負担や測量作業も大幅に軽減される合理化された施工が可能である。

4. システム構成と各部の機能

システムにおける主要構成機器を以下に説明する。

- ① 自動追尾トータルステーション：GRT-2000
光通信機能付きの自動追尾トータルステーション。3D-MC の主要部分である。
- ② 受光センサ：LS-2000

自動追尾のための全周プリズムで構成された、光通信、レーザ検出のためのセンサである。

- ③ コントロールボックス：System Five

受光センサが受信した TS から送られてきた制御信号を元に、グレーダのブレードを制御する。運転席に備えられ、人と制御装置とのインターフェースの役目を担う。

- ④ 処理ソフト：MS-2000

3D-MC 用の情報処理ソフト。計測された建設機械の位置情報に応じた作業装置の高さ、勾配、ステアリング情報を TS に送る。また、作業工程に応じて道路用の路線処理、造成用の三角メッシュ処理が可能である。

- ⑤ ラップトップパーソナルコンピュータ：PC

処理ソフト MS 2000 をインストールして、システムのデータ作成、整理、コントロール情報の発信指示を行い、建設機械の制御を管理する。

5. 試験施工の概要と結果

(1) 試験施工の実施

実施工への適用を踏まえて試験施工ヤードにおいて 3D-MC グレーダによる仕上がり高さ精度と、横断勾配制御、勾配折れ線認識等の基本機能確認試験を実施した。試験施工の敷均し形状は、次の 2 ケースである。

(a) ケース 1

横断勾配を片勾配とし、勾配変化を +2.5% 区間、勾配変化区間、0.0% 区間、勾配変化区間、最終的に

-2.5% 区間と順次変化させ、仕上がり精度を確認。
 実際の施工では本試験ケースで設定したような急激な勾配変化はあり得ないが、追従性を確認する意味も含め実施した。縦断勾配は一定とし、変化点は設けない。

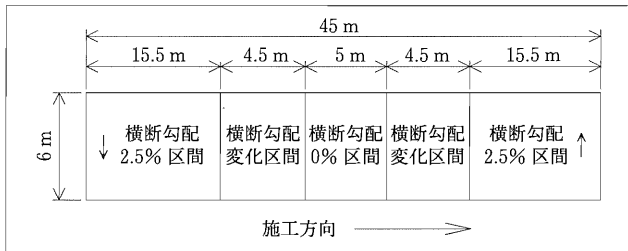


図-5 試験施工ヤード (ケース1)

(b) ケース 2

施工幅員内で両勾配への対応を確認するため、勾配変化を0.0%、勾配変化区間、±2.0% 両勾配区間に変化させ、仕上がり精度を確認した。またブレードが勾配の頂上を越えるときの動作を確認した。

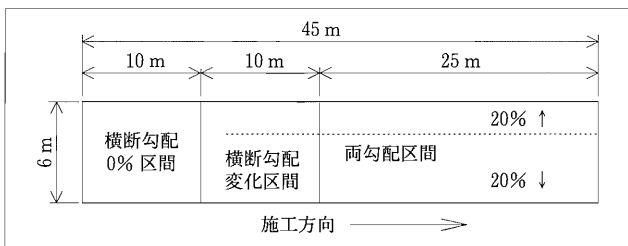


図-6 試験施工ヤード (ケース2)

(2) 試験施工結果

① 仕上がり精度

敷均しの仕上がり精度の測定結果を表-1に示す。これより、ケース1、ケース2ともに敷均し仕上がり精度は全体平均で±2.0 mm、最大値でも±15 mm以内と、従来工法と同程度の結果が得られた。

表-1 仕上がり精度 (単位: mm)

	勾配	平均	最大	最小
ケース1	+2.5%	0	11	-9
	0.0%	0	8	-11
	-2.5%	5	15	-3
	全体	2	15	-11
ケース2	0.0%	-7	6	-14
	両勾配	0	13	-8
	全体	-2	13	-14

② 勾配折れ線の認識とブレードの作動 (図-7)

3D-MC グレーダは、初期設定時に入力されたブレード

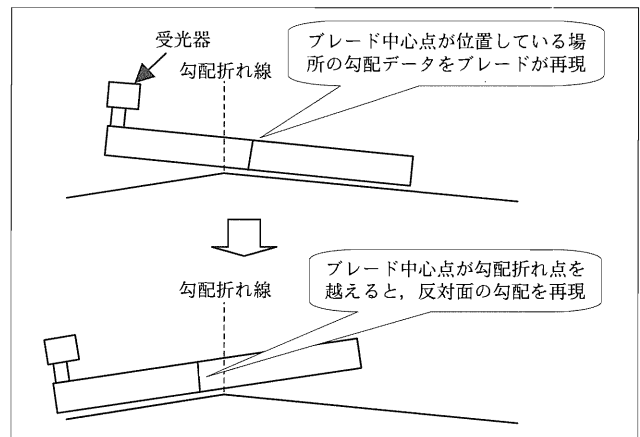


図-7 折れ点上でのブレードの制御イメージ

長中央部が位置している場所における勾配データに、ブレードの勾配を一致させるようソフトウェア (MS-2000) により制御され、このとき受光器がブレードのどちら側に設置されていても制御上制約を受けない、という機能を備えている。ケース2の試験において実際にこの機能が発揮されるか確認を行った。

結果は勾配折れ線上をブレード中心を何度も行き来させても、極めて迅速にブレードの勾配を変化させた。この機能により勾配折れ線は綺麗な直線を得ることが出来た。

③ 仕上がり特性

今回の測定結果においては問題となるような仕上がり特性は見受けられなかった。

6. 実施工への適用

(1) 実施工現場

試験施工の結果を踏まえ、日本道路公団の下記工事における上層路盤に3D-MC グレーダを適用した (写真-3)。



写真-3 3D-MC グレーダ施工状況

- ・工 事 名：北海道縦貫自動車道剣淵舗装工事
- ・施 工 業 者：鹿島道路(株) 佐藤道路(株) 共同企業体
- ・総 延 長：6,560 m
- ・路盤工面積：138,000 m²

(2) 結果と効果

① 日当り施工量の向上

条件の良い施工エリアにおいては3,000 m²/日以上
の施工量がコンスタントに得られた。4,000 m² 以上
の施工量を記録した日もある。

② 仕上がり精度の向上

従来の施工では検測位置(丁張り)では仕上げ高さを許容値に入るよう管理できるが、検測位置と検測位置の間ではオペレータの腕と勘に頼ることになり、実際の精度は不明である。3D-MCでは検測位置において確認された仕上がり高さを連続的に再現できるため、極めて精度が高くかつ平坦性の良い仕上がり面が得られた。当該現場においては検測箇所80%以上が±10 mm以内に収まった。この関係をイメージ化したのが図-8、図-9である。

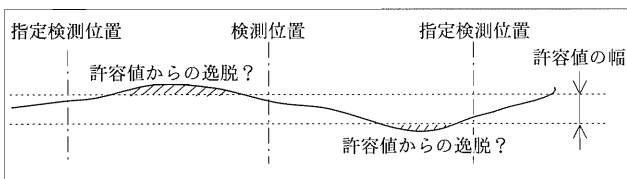


図-8 従来の仕上がり面と許容値の関係

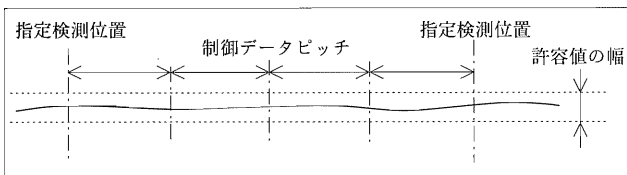


図-9 3D-MCによる仕上がり面と許容値の関係

上層路盤の仕上がり精度が良かったため、本現場ではアスファルト安定処理工の舗設時にセンサワイヤを張らずにロングスキーによる厚さ管理が可能であった。センサワイヤ設置工の省略により大幅な省力化が図られた。

③ 余盛調整量の適正化

敷均し後、ローラによる転圧減量を確認し、それに相当する余盛量をブレードオフセット(設計面に対し任意の高さを制御装置により加減する機能)を設定することにより、適正化出来た。

④ 人員の省力化・安全性の向上

規定されている検測位置以外での検測作業を省略で

きることで、検測員が削減された。また、検測作業が削減されたため重機との近接作業が低減されて接触事故の防止に有効であった。

⑤ データの一元管理

施工から出来形管理に至るまでデータの一元管理が可能となった。出来形測量はTSにより実施できるので、測量データと設計データとをソフトウェア上で照合・自動計算させることにより、手入力、手計算の手間を一切無くし、出来形管理を省力化することができた。

また、設計データを3D-MCブルドーザ(写真-4)、3D-MCアスファルトフィニッシャ(写真-5)の制御用データとして、各種の作業を同一データで一元管理することも可能である。



写真-4 ブルドーザによる路盤整正作

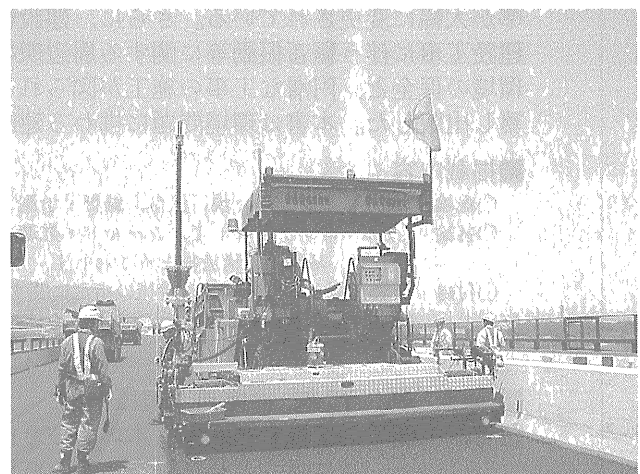


写真-5 3D-MCアスファルトフィニッシャによる敷均し

7. おわりに

今回の実施工ではグレーダの自動制御部分のみの適

用であり、3D-MCが持つ能力の一部を使用しているにすぎない。実施工の結果で記したように、施工から出来形管理に至るまで3D-MCを用いることにより、丁張りの削減・施工時の検測員及び出来形管理用検測員の省力化・データの一元管理による省力化が図られコスト縮減にも寄与するであろうことが確認できた。

しかし何より特筆すべきは3D-MCの仕上がり精度である。ベテランオペレータをして、かつてこれほど平坦性の良い路盤は見たことが無い、と言わしめた仕上がり精度が得られたことである。良好な仕上がり状態が得られたことにより、次工程作業への省力化を

もたらした。精度の向上のみならず3D-MCの活用により、オペレータの技能補助や施工時の負担を軽減させる利点もあり、熟練オペレータ不足問題の解決策のひとつとして期待される。

J C M A

【筆者紹介】

山口 達也（やまぐち たつや）
鹿島道路株式会社
生産技術本部
機械部
開発課



建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論（土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判、340頁、表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

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