

# 7. 三次元マシンコントロールシステムを応用した道路建設機械

鹿島道路㈱：\*山口 達也、山埜井 明弘

## 1. はじめに

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 3D-MC（三次元マシンコントロールシステム）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、施工全体において大幅な合理化が実現できる可能性を秘めたシステムである。

鹿島道路においては 2000 年より 3D-MC を導入し、小型・中型のブルドーザに搭載して大規模ダムなど広大で複雑な形状の現場での施工を重ねてきた。これまでの施工実績で得られたノウハウをもとに、3D-MC をモータグレーダ或いはアスファルトフィニッシャに搭載し、実施工において機能と性能を確認した。本報文は国内では未だ例を見ないモータグレーダに適用した 3D-MC システムの有効性と施工精度を報告するものである。

## 2. 三次元マシンコントロールシステムの概要

今回使用した三次元マシンコントロールシステム（以下 3D-MC : 3 Dimensional Machine Control System）は測量工学機器メーカーであるトプコン社製である。この種のシステムは他の光学測量機器メーカーも製造しているが、制御用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。

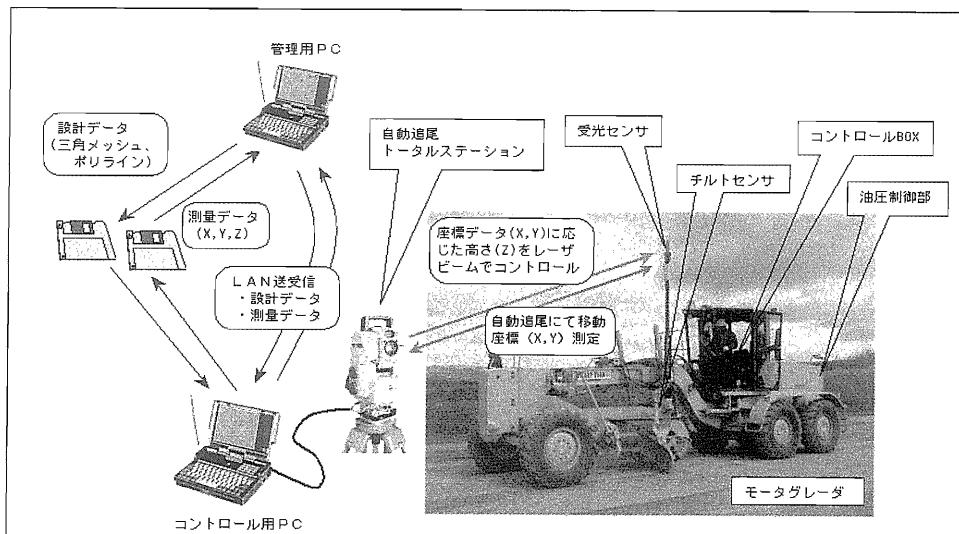
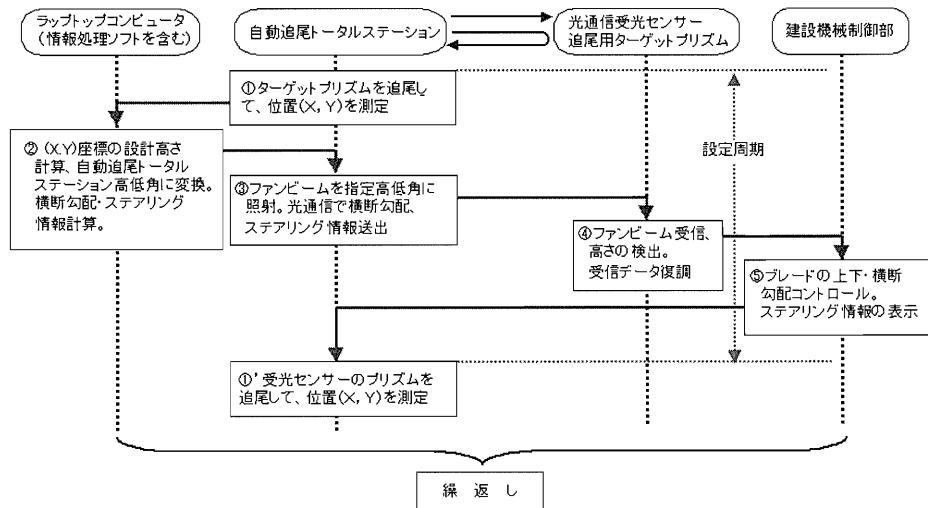


図-1 3次元マシンコントロールシステム グレーダのシステム構成

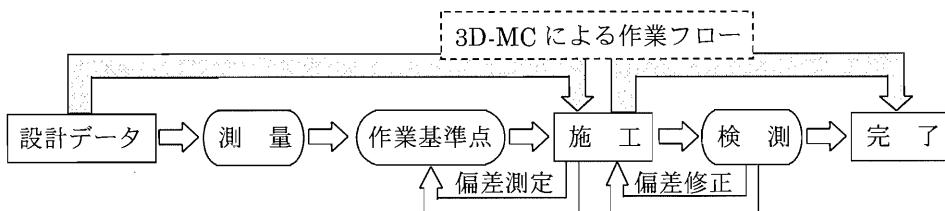
3D-MC グレーダは前頁の第 1 図に示すとおり、グレーダのブレードに設置された受光センサのターゲットプリズムを自動追尾式トータルステーション（以下 TS）が追尾、測定する。その位置情報（X,Y）と進行方向をもとに、その位置に合致する設計高さ（Z）及び横断勾配データ等を TS に直結しているパソコンから引き出し TS に内蔵された光通信機能を備えた発信装置からデータをレーザ光として発信し、グレーダ側の受光センサに受光させ、ブレードの高さ及び横断勾配を自動制御させる。その際レーザ光にステアリング情報を付加し、運転席に備えられたインジケータに進路を表示させることも出来る。



図－2 3次元マシンコントロールシステムのフロー

グレーダの従来工法においては、オペレータは目視で丁張の高さと施工面との偏差を移動するグレーダ上で感知、判断したうえで機械操作を行わなければならず、高い技量を必要とし、また勘に頼る部分も少なからずあるため、他の建設機械に比べて、より高い技量が要求された。さらに施工途中に出来形の測定作業を並行して行わなければならず、多くの手間を必要とするとともに、重機周りでの作業であるため、接触事故等の危険も伴っていた。

しかし 3D-MC は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、従来工法のように施工基準としての丁張を設置する必要が無く、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。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－3 従来の施工手順と 3D-MC のプロセス

### 3. 試験施工の概要と結果

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。

#### 3-1. 試験施工概要

- ・試験施工場所：北海道上川郡比布町
- ・試験施工実施日：2003年4月17日
- ・試験施工規模：45×6m ( $270\text{ m}^2$ ) 規模で2ケース
- ・路盤厚さ：170mm（切込碎石 0~40mm）

試験施工の敷均し形状は、次の2ケースを実施した。

① 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、そして-2.5%区間と順次変化させ、仕上り精度を確認。実際の施工では本試験施工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。縦断勾配は試験施工ヤードに沿ったものを設定。

② 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、仕上り精度を確認。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。

#### 3-2. 試験施工結果

##### (1) 仕上り精度

敷均しの仕上り精度の測定結果を第1表に示す。これより、ケース1、ケース2ともに敷均し仕上り精度は全体平均で±2.0mm、最大値でも±15mm以内と、従来工法と同程度の結果が得られた。また、この表には表されていないが、ハンチングを起こさない程度にデッドバンド（不感帯）の幅を狭めた方が、良い精度が得られることも確認できた。



写真-1 試験施工中の3D-MC グレーダ



図-4 試験施工ヤード：ケース1

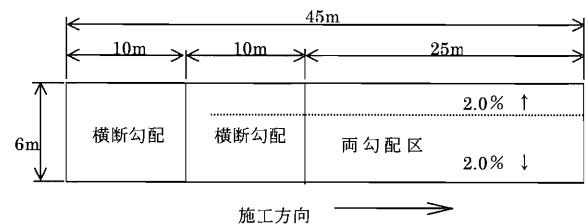


図-5 試験施工ヤード：ケース2

表-1 仕上り精度 (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

これまでブルドーザで 3D-MC 制御を実施して仕上り精度を確認してきたが、敷均しが全体的に高く仕上がる、或いは逆に低く仕上がる、といった傾向が見受けられた。これはブレードのガタ、バルブの応答性等に起因する機械固有の特性と思われる。今回の測定結果からは仕上がり精度に偏りが現れることも無く、問題となるような仕上がり特性は見受けられなかった。

## (2) 勾配折れ線の認識とブレードの作動

3D-MC グレーダは初期設定時に入力されたブレード長の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を発揮できるか確認を行った。

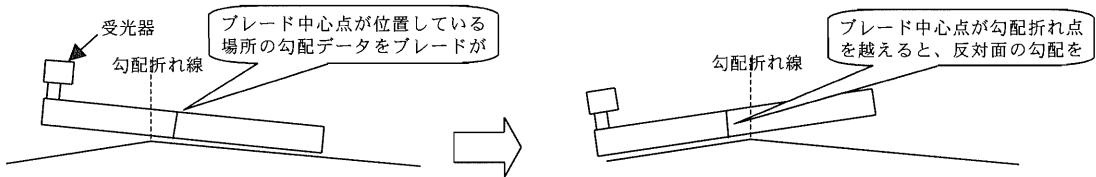


図-6 折れ点上でのブレードの制御イメージ

結果は勾配折れ点上を意識的にブレード中心を何度も行き来させても図-6 のように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歪むことなく綺麗な直線を得ることが出来た。

## 4. 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。

- ・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㈱ 佐藤道路㈱ 共同企業体
- ・総 延 長：6,560m
- ・路 盤 工 面 積：138,000 m<sup>2</sup>

### (2) 結果と効果

日当り施工量の向上：条件の良い施工エリアにおいては日当たり 3,000 m<sup>3</sup>以上の施工量がコンスタントに得られた。4,000 m<sup>3</sup>以上の施工量を記録した日もある。

① 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 により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、極めて精度が高く且つ平坦性の良い仕上り面が得られた。当該現場においては検測箇所の 80%以上が ±10mm 以内に収まった。この結果を確認したうえで設置する丁張りを大幅に削減することが出来る可能性を秘めていることが分かった。

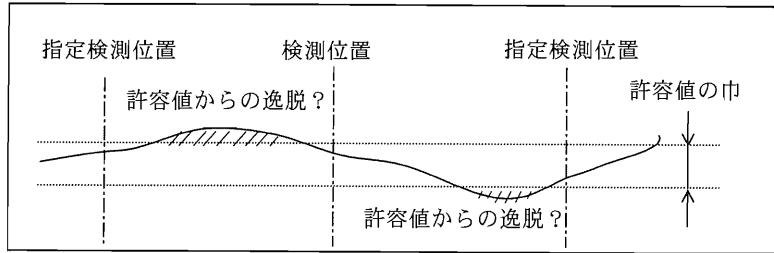


図-7 従来の仕上り面と許容値の関係

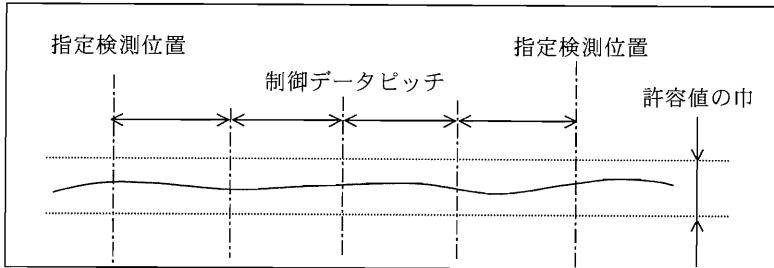


図-8 3D-MCによる仕上り面と許容値の関係

この関係をイメージ化したのが図-7、8である。上層路盤の仕上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。

- ② 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）させることにより、具体的な数値として加減することが出来るようになった。

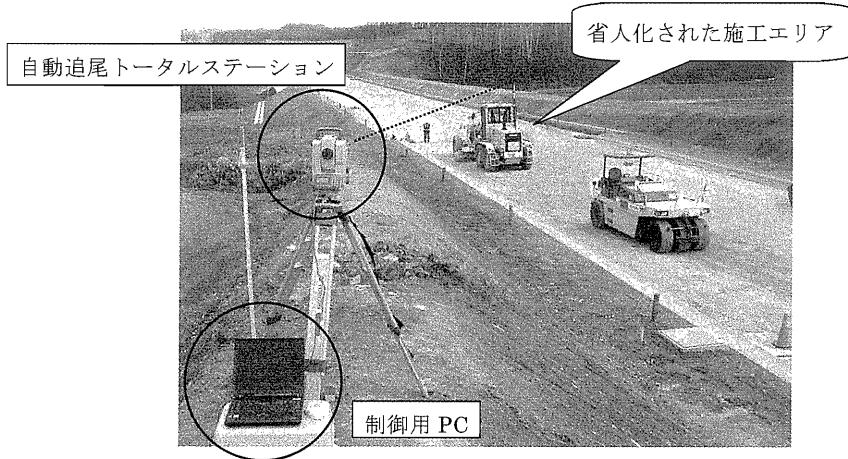
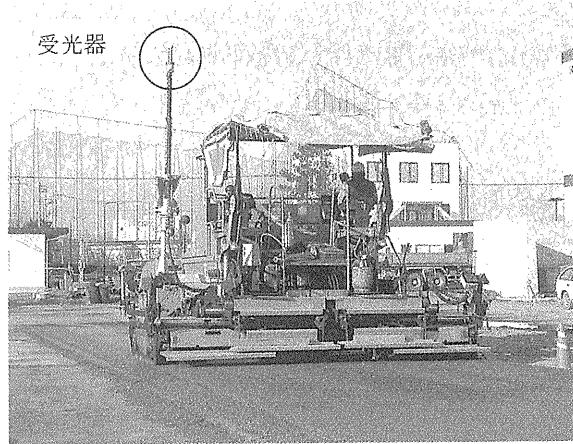


写真-2 3D-MC グレーダ施工状況

- ③ 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ので、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。

④ データの一元管理：現場においては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 アスファルトフィニッシャの制御用データとして、舗装作業まで管理することも可能である。



写真－3 3D-MC フィニッシャによる敷均し試験

3 D-MC アスファルトフィニッシャによる

## 5. 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過ぎない。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。また、現時点では設計図書がペーパーでの受け渡しであるため、制御用の設計データの作成に労力を必要としているが、今後建設 CALS が普及し、三次元電子データでの受け渡しが可能となれば、さらなる省力化が図れていくものと考えられる。しかし何より特筆すべきは 3D-MC の仕上り精度である。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、と言わしめた仕上り精度が得られたことである。良好な仕上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。