

# 道路建設における情報化施工の現状とその効果

山口 達也

道路建設の現場においては建設機械の三次元マシンコントロールのみならず、積極的に新しい技術の導入が図られている。様々な現場条件に対応可能なローラの転圧管理システムや、非破壊にて舗装、路盤の密度を測定することが出来る電磁波密度測定器、あるいはアスファルトフィニッシャの敷均しにおいて壁に描かれた基準線を画像処理により追従しスクリーンを制御する装置などである。また国土交通省の掲げる平成 25 年度の「情報化施工の一般化・実用化」を受けて舗装工事への情報化施工適用例は増加傾向にある。

キーワード：情報化施工 (ICT), ローラ転圧管理, 衛星測位, 画像処理技術, 電磁波密度測定

## 1. はじめに

道路建設の現場に情報化施工システムを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出来ることにある。また三次元マシンコントロール (3 Dimensional Machine Control : 以下 3D-MC) の導入に伴い、作業現場での検測の簡略化などが図れること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。これにより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。道路建設の分野においてはこれまで 3D-MC が特に注目を浴びてきたが、各施工プロセスにおいて新しい技術が積極的に導入されている。

国土交通省の「情報化施工推進戦略」において「情報化施工とは」と定義されているが、ここでは定義されている枠組みを若干踏み出す内容を含め、道路建設分野においてすでに導入されている技術、今後使用の拡大が見込まれるシステムの現状とその導入効果について報告する。

## 2. 道路建設機械の 3D-MC

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。

3D-MC の道路建設機械への展開はこれまではブルドーザ、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、応用範囲が拡大している。

国土交通省の通達「情報化施工の一般化・実用化の推進について (2010 年 8 月)」の中で、「モータグレーダのマシンコントロール技術」が 2013 年度から一般化する情報化施工技術とされており、モータグレーダの 3D-MC が広く活用される環境が整いつつあった。しかしながら、特定特殊自動車排出ガス規制法 (オフロード法) 2011 年規制の施行に伴い、国内メーカーによるモータグレーダの供給が来年度中に途絶える見込みで、この時期にモータグレーダの調達が厳しくなるのは何とも残念な状況である。

### (1) トータルステーションを応用した 3D-MC

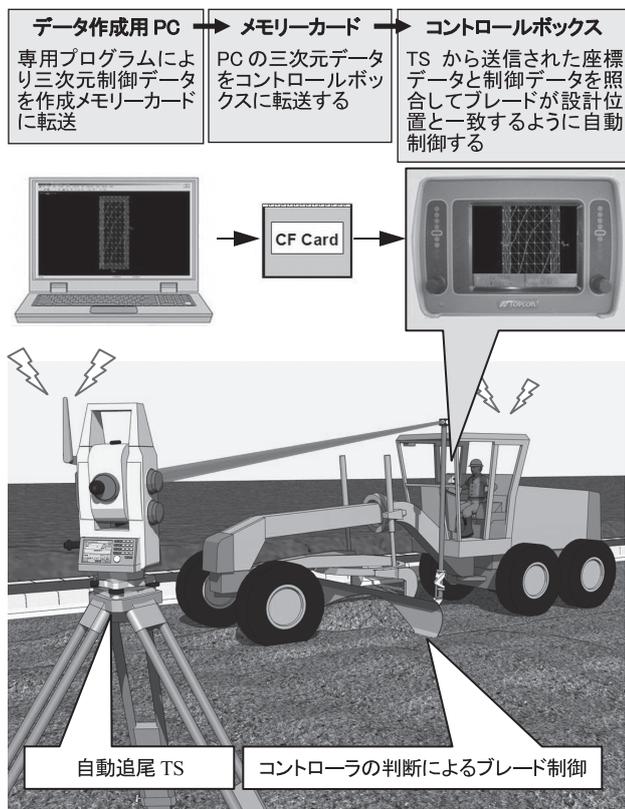
トータルステーション (Total Station : 以下 TS) は距離と角度を同時に測定できるほか、その結果が自動記録できるなど、従来のトランシットと光波測距儀の機能にマイクロコンピュータを備えた測量器である。3D-MC に用いられる TS は自動追尾機能と無線装置を備えた機種である。

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、送信され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 (グレーダの場合はブレード) を制御するシステムが一般

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横断勾配制御を組み合わせて使用する。

道路建設において求められる精度から、建設機械はミリメートル単位での制御が必要となるため、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TSを用いた3D-MCが一般的に使用されている。

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である。図一2は小型ブルドーザD21Pにて狭隘現場（自動車教習場）で作業を行っている状況である。



図一1 TS式3D-MCの機器構成と施工イメージ



図一2 TS式3D-MC小型ブルドーザによる施工

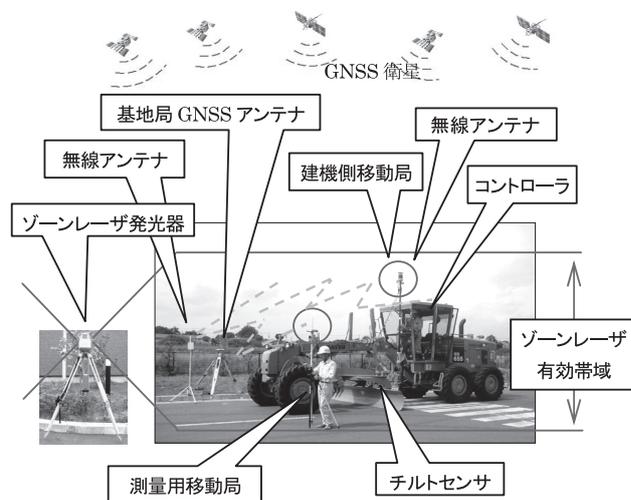
## (2) 測位衛星システムを応用した3D-MC

### 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。土工工事においてはその高い利便性から積極的に現場導入されているが、精度的側面から適用できる作業は限定される。特に垂直方向の精度範囲は±4cm程度であり、工種によるが、この数値は垂直方向の精度がミリメートル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。

### ②道路建設における高精度GNSS-3D-MC

GNSS式3D-MCの利便性と、TSの精度を兼ね備えたシステムが高精度GNSSである。現場内の複数の建設機械の制御がTS式と同程度の垂直精度±10mmで行なうことができ、且つ測量作業が同時に実施できる。特徴は、図一3に示すように、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。



図一3 高精度GNSS式3D-MCの機器構成

ゾーンレーザ発光器は発光中心から上下それぞれに有効帯域約5m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であれば、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。

### (3) 道路建設機械への 3D-MC 展開

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、或いは検測作業が削減できるので安全性が向上する、などの効果が各種調査機関あるいはシステムを保有する施工業者によって確認されている。

3D-MC モータグレーダある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、競馬場など広範囲の現場において実施され、多くの報文等で紹介もされている。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（以下 AF）

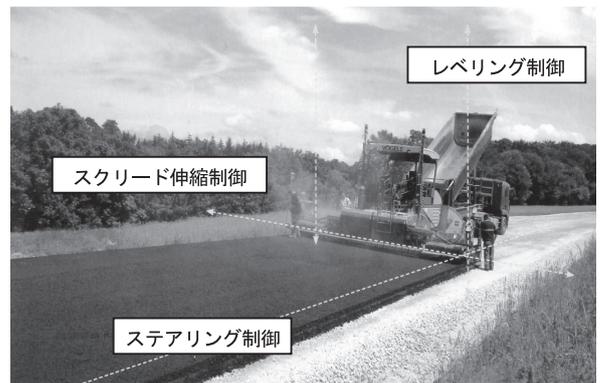
AF でレベリング施工を実施する場合、従来であれば基準となるセンサワイヤを敷設する必要があり、その作業は、センサワイヤの設置・高さ確認・撤去・保管といった煩雑さを伴うものであった。また、作業エリアに設置されたセンサワイヤは舗装作業を行ううえでは邪魔ものである。3D-MC で AF のスクリード（敷均し装置）を制御させる場合、センサワイヤの設置作業を省略することができるので、煩わしい作業から開放され、且つ作業エリアの改善にも貢献することができるというメリットがある。

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（図—4）、前述の高精度 GNSS が採用されることもある。施工条件により TS 式か、あるいは高精度 GNSS 式のいずれの方式を採用するか慎重に検討する必要がある。



図—4 高精度 GNSS 式 3D-MC で施工中の AF

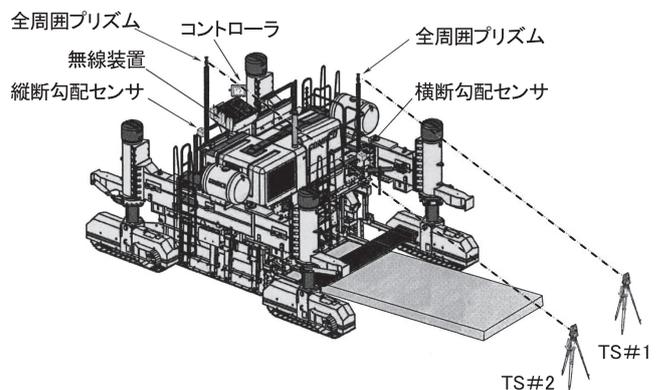
AF への展開はこれまではスクリードのレベリング制御に限られていたが、ドイツ製 Vögele 社の Navitronic Plus（図—5）のように、ステアリングや施工幅員調整も自動制御出来るシステムが実用化され国内導入もされている。



図—5 Navitronic Plus AF 制御システム

#### ②コンクリートスリップフォームペーパー（以下 CSP）

近年、高速道路建設工事で施工実績を伸ばしている CSP も 3D-MC が適用されている。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、それを合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システムである。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パーは 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—6 にシステムの構成と制御イメージの例を示す。



図—6 3D-MC-CSP の制御イメージ

#### ③路面切削機

切削オーバーレイに使用される切削機の 3D-MC も積極的に現場展開されている（図—7）。3D-MC の切削機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、切削機は切削深さに応じた切削速度の上限が決まっているため、3D-MC を応用した場合でも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。



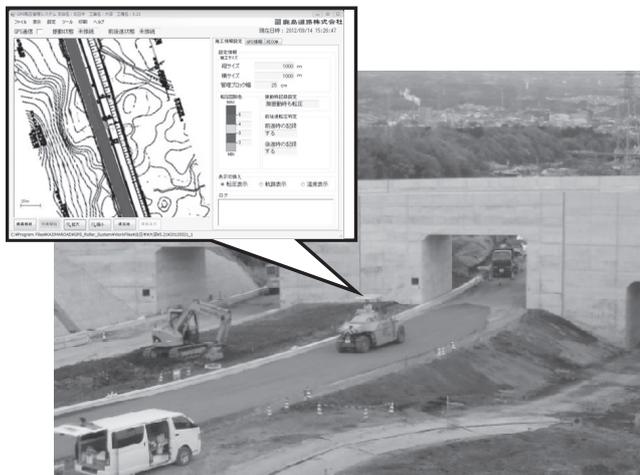
図一七 3D-MC で作業中のクローラ式切削機

### 3. マシンガイダンスシステム

マシンガイダンス (Machine Guidance: 以下 MG) は、建設機械を操作するための情報を分かり易く明示する方法である。カーナビのように、専用ディスプレイなどを参照して機械操作を行うことにより、的確な作業を行うことができる。

#### (1) 転圧管理システム

転圧管理システムは従来の砂置換法やR I計測法による代表点の管理に代えて、あらかじめ締固め回数と密度の相関を調査したうえで、TSやGNSSから得られる締固め機械の位置情報をリアルタイムに表示・記録し面的管理する手法である(図一八)。ローラの軌跡や転圧回数が色分けされてディスプレイ画面に表示



図一八 転圧管理システムの表示例

され、リアルタイムに転圧状況を確認できるため、オペレータの作業負担や転圧ムラの軽減が期待できる。

道路建設において転圧管理を行う場合、最近では仮想基準点方式(以下VRS-RTK)が多く用いられるようになってきた。仮想基準点方式とは、複数の電子基準点の観測データを処理することにより、対象となる点(転圧ローラ)の近傍にあたかも基準点(基地局)があるかのような状態を作り出す技術である。

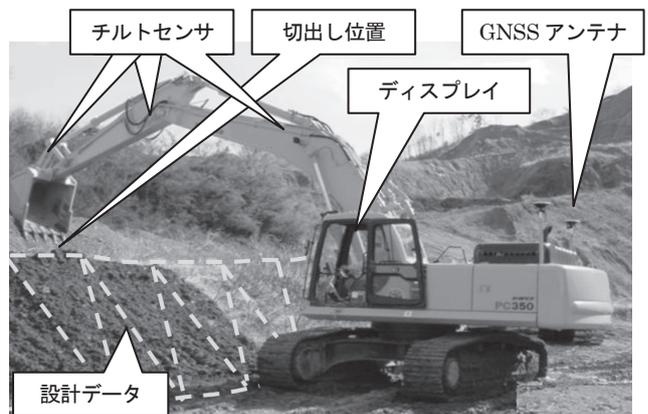
VRS-RTKはRTK-GNSSと同等の測位精度を得ることができるうえ基地局の設置が必要ないため、中小規模の道路建設工事への適用に向いている。但し、携帯通信端末を用いてデータ処理を行う配信局の配信データを手入する必要があるため、携帯電話通信費と配信データ費が別途発生する。また、携帯電話の通信エリア内でなければデータを取得することができないので利用するには注意が必要である。

#### (2) 油圧ショベルのマシンガイダンス

##### ① 3D-MG システム

GNSSとセンサの組み合わせにより、作業エリアにおける油圧ショベルのバケット刃先位置を、事前に作成しておいた三次元設計データと照合させることにより、三次元的にディスプレイに表示するシステムである。これは油圧ショベルの位置をGNSSにより特定し、さらに油圧ショベルのブーム、アーム、バケット各部に取り付けられたセンサにより検出された情報を処理することにより、バケット刃先の正確な位置を割り出し、表示させるのである。このシステムにより、切出し位置、法面勾配を正確にオペレータに示すことができるようになる(図一九)。

油圧ショベルは上記のように検出しなければならない情報が多いうえ、作業中の動的な慣性が車体に大きく働くため、現在では未だ複雑な制御機構を3D-MC化するには至っていない。



図一九 油圧ショベル 3D-MG システム概念

## ② 2D-MG システム

3D-MG システムから GNSS 情報を省略し、バケット刃先位置だけを表示できるようにしたシステムである。ブーム、アーム、バケット各部に角度センサを装着し、簡単なキャリブレーションを実施することにより使用できるので導入例が増えつつある。平面レーザ発光器と組合せることにより基準高からのアーム位置を計測し、より正確に刃先位置を表示させることができるシステムもある（図-10）。

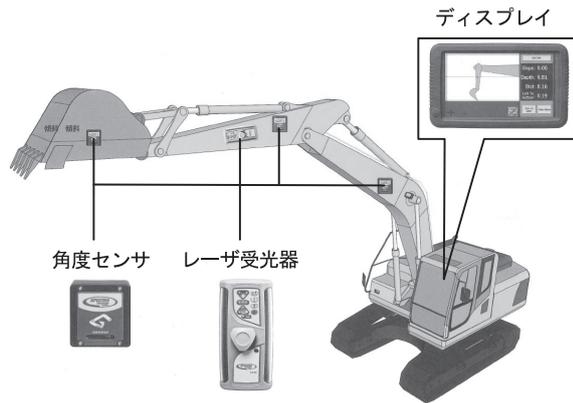


図-10 油圧ショベル 2D-MG システム構成例

## 4. その他の情報化施工に準ずる機器

### (1) ラインリーダー

アスファルトフィニッシャのスクリードの自動制御方式として、一般に広く用いられているのは接触式センサ等を用いて基準となるセンサワイヤ、或いは構造物をトレースする倣い制御方式である。橋梁上やトンネル内などの施工現場においては、センサワイヤを設置した倣い制御が主流となっている。しかし十分な作業スペースを確保できない現場においては、センサワイヤの設置に多大な手間が掛かり、場合によっては設置自体が困難なこともある。

ラインリーダーは、システム筐体に組み込まれた光学センサが壁面をスキャンし、壁面に描かれたラインを検知する。このラインを進行方向に連続的にトレースしていくことで、ライン位置を高さの基準として認識するのである。図-11 はラインリーダーによる壁面ラインの検知イメージで、点線矢印の範囲をスキャンしたものが右側に表示されている。壁面上のラインはこのような処理により認識される。図-12 はラインリーダーを用いた現場での施工例である。

### (2) 締固めセンサ付振動コンパクタ

締固めセンサ付振動コンパクタは振動コンパクタに装着した締固めセンサで計測した振動加速度を解析す

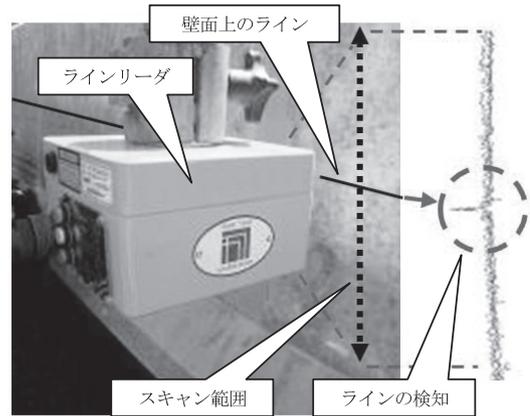


図-11 壁面ライン検知イメージ



図-12 ラインリーダーによる施工例

ることにより、締固め地点の地盤剛性を計算してリアルタイムにインジケータに表示し、オペレータに締固め状態を知らせるものである。これによりオペレータは、転圧作業地点の地盤剛性を知ることが出来、締固め不足地点、締固め完了地点などを施工と同時に確認することが出来るものである。

振動加速度を計測することにより締固め状態を確認するシステムは大型の振動ローラの一部で実用化されてきたが、適用箇所は限られていた。振動コンパクタは小型建機ゆえ、これまでは導入が困難であった小規模工事においても勘に頼らずに締固め品質の管理を行うことが出来る。図-13 の機種の場合、インジケータ

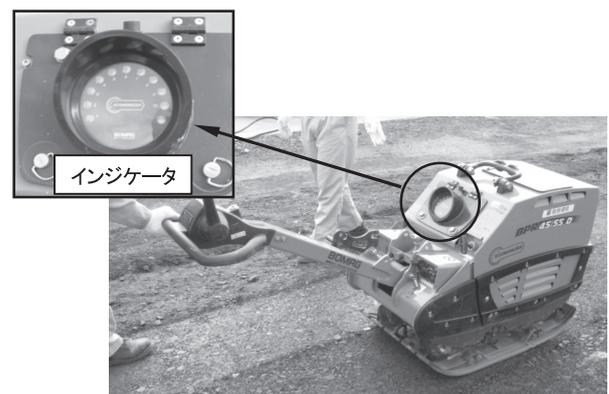


図-13 締固めセンサ付振動コンパクタ

タは11個のLEDから構成されている。締固めが進行するに従い点灯するLEDの個数が多くなる。11個目はオーバコンパクション表示用である。

### (3) 電磁密度測定器

現場における非破壊方法での密度等の測定装置としては、従来から使用されてきた放射線測定装置（以下RI）がある。米国ではアスファルト混合物を対象としたRIによる測定も一般的に行われているが、米国に比べ線源強度の制限が厳しい日本においては測定結果の信頼性の面から実用上の限界がある。それ以前に、RIを扱うことによって多少なりとも放射線による被爆が避けられず、測定者は健康上のリスクを負うことになる。

電磁密度測定装置は放射線源を用いない非破壊方式の密度測定装置であるため、人体への悪影響を心配すること無く、対象物の密度や空隙率などのリアルタイム測定が可能である。

#### ①アスファルト舗装密度測定器

底面にある測定盤から放射される電磁波により、設定した舗装厚さの密度を3秒程度で測定することができる。路面温度が高い状態でも測定できるため、従来のコア抜きによる密度管理を補完する用途として活用されている。外部接続することにより、本体内に保存されているデータをパソコンに取込んだり、プリンタに出力することも可能である（図—14）。



図—14 アスファルト舗装密度測定機による計測状況

#### ②路盤密度測定器

深さ30cmまでの舗装路盤、転圧盛土、埋め戻し土等の密度を測定することができる。内蔵されたGNSS受信機により測位データを受信し、測定箇所的位置、時間情報を同時に記録することが可能である。アス

ファルト舗装密度測定器と同様、本体内に保存されているデータをパソコンに取込んだり、プリンタに出力することが可能である（図—15）。

図—14、15のアスファルト及び路盤舗装密度測定器はいずれも米国Trans Tech社製である。



図—15 路盤密度測定機による計測状況

## 5. おわりに

本報では3D-MCを中心に、道路建設における最新の情報化施工機器に対して述べてきた。今後も新技術が導入された情報化施工機器がリリースされるものと予想されるが、中には過剰とも思える機能が施されているシステムもあり、高価であるがゆえに現場にとって導入した際のメリットを慎重に検討し、また実際に達成される精度等をユーザ自ら検証を行う姿勢は保つ必要があるだろう。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 情報化施工推進戦略  
国土交通省 総合政策局 建設施工企画課, 2008.07
- 2) 情報化施工の一般化・実用化の推進について  
国土交通省 総合政策局 建設施工企画課, 2010.08
- 3) 山口達也: 舗装工事における情報化施工の展開, 土木施工, 2012.05
- 4) 福川光男: 情報化施工システムの開発経緯と普及変遷, 舗装, 2012.09
- 5) 大竹元司: 折返し指示機構を搭載した転圧管理システム, 舗装, 2012.09
- 6) 端孝之: 舗装用レベリングセンサ・ラインリーダの開発, 第29回道路会議, 2011.11

### 【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  
副部長

