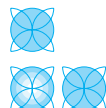


道路建設工事における情報化施工



鹿島道路株式会社機械部
やまぐち たつ や
山口 達也



1. はじめに

近年の道路建設工事は、公共工事の品確法の施行に伴う総合評価方式の適用に代表されるように、より高い技術力が企業に求められるようになってきている。このような社会情勢の変動に伴い、要求される品質を確保すると共に施工を合理化するための新技術、新工法の開発に施工会社、メーカー共にこれまで以上の努力を重ねている状況である。新技術のなかでもコンピュータあるいは通信技術など情報化技術の分野の発展は目覚しく、各分野に大きな影響を与えているが、道路建設分野においても例外ではない。これらの技術を応用することにより、現場作業の合理化を図る情報化施工が可能となり、測量データとCADデータの連携、ローラ転圧時の回数および温度管理、トラックの運行管理、また舗装の平坦性向上システムなど、多岐に渡り積極的に取り入れられている。特に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な建設機械の3次元マシンコントロールシステム（以下3D-MC：3 Dimensional Machine Control System）は最先端の情報化施工技術として知られるようになってきた。

本報は道路建設工事における情報化施工の一例として、建設機械の3D-MCを取り上げ、その

機能を紹介するとともに米国での3D-MC事情を併せて報告するものである。

2. 情報化施工の道路建設機械への適用

(1) 情報化施工における自動化の範囲

国土交通省「情報化施工のビジョンー21世紀の建設現場を支える情報化施工」（2001年3月）において情報化施工とは「情報技術を建設施工に適用して、多様な情報の活用を図ることにより、施工の合理化をはかる生産システムである。」と定義されている。

広い意味を持つ情報化施工ではあるが、ここでは道路建設機械の自動制御化といった視点で検討したい。現場作業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人的操作に委ねる割合が多く、製造業における生産ラインの工作機械のようにすべてを自動化することは作業環境の安全性の面からも困難である。従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、高い施工品質と施工出来高を安定的に確保することにある。

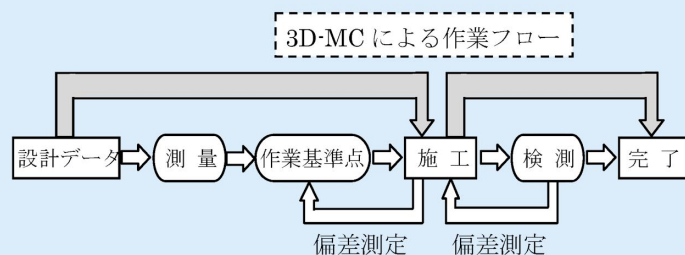


図-1 従来の施工手順と3D-MCの作業プロセス

(2) 3D-MCの概要

3D-MCは施工エリアの3次元設計データを元に作成された制御データにより、建設機械の作業装置を制御するシステムである。このシステムは施工エリアの設計上の座標情報と建設機械の作業装置が位置する実際の位置情報とを照合することにより、自動的にその差異を補正し、要求される設計座標に沿った施工面を再現することができる機能を備えている。この機能により施工が完了した面と設計データとの差を自動計算させることができ、データの一元管理が可能となる。また施工時のオペレータの負担は大幅に軽減されるとともに、施工基準として必要とされる測量用丁張り杭の設置手間が大幅に削減される。

3D-MCは位置情報の入手方法として、測位衛星からのデータを利用したGPS方式と自動追尾トータルステーションを利用した方式に大別される。以下それぞれの方式の簡単な説明を行う。

3. トータルステーションを利用した3D-MC

(1) 自動追尾トータルステーション

トータルステーション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。これに外部コンピュータやプロッタなどを組み合わせてシステム化することで、観測から計算、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。これに自動追尾機能を備えることにより、ワンマン測量作業ができるようにしたも

のが自動追尾トータルステーション（以下、「TS」という）である。このTSの機能を利用して建設機械の自動制御を行うシステムはLPS(Local Positioning System)方式とも呼ばれる。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を制御するタイプと、TSから照射するレーザビームが直接、建設機械の作業装置を制御するタイプのものがある。現在、日本国内で最も普及しているシステムは後者のタイプである。

(2) TSによるマシンコントロールのプロセス

ここでは日本国内で最も普及している、TSが建設機械の作業装置を直接制御するシステムの制御手順をモータグレーダ（以下、「グレーダ」という）を例に説明する。

3D-MCグレーダは図-2に示すとおり、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が自動追尾を行い、リアルタイムに座標計測を行う。計測した位置情報(X, Y)をTSに接続されている制御用PC内の設計データと照合し、その座標における設計高さ(Z)をTSがグレーダの受光センサに向けてレーザビームを照射する。レーザビームには光通信信号が含まれており横断勾配データを送信する。このTSからの指示によりグレーダのブレードの高さおよび横断勾配が自動制御される。この光通信信号にはステアリング情報も含まれており、運転席に備えられたコントローラに進路を表示させることもできる。

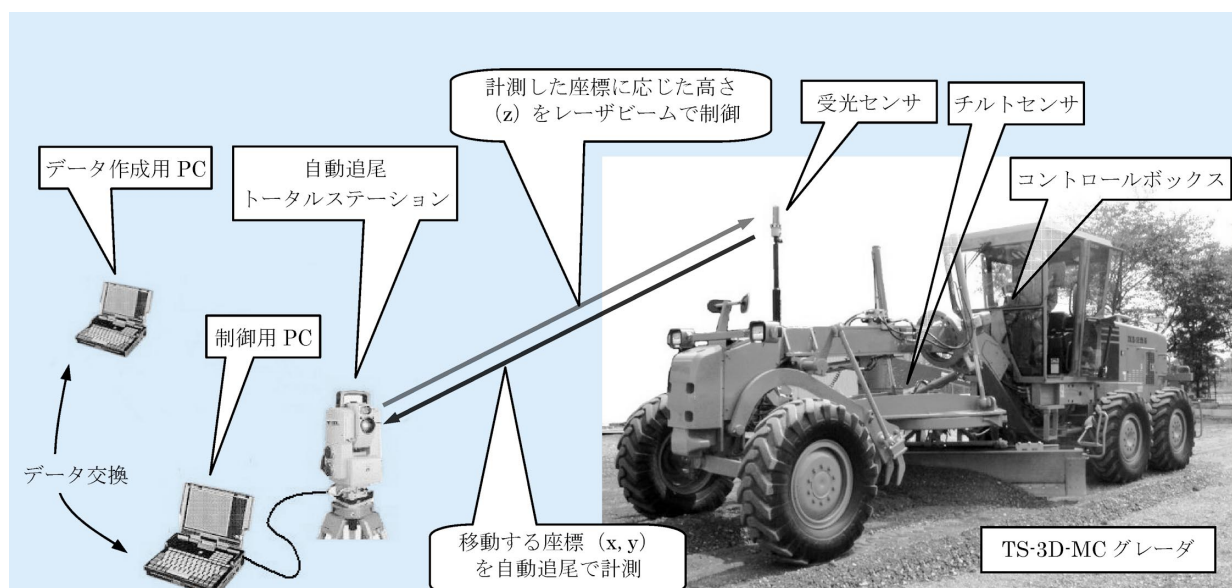


図-2 TS方式3D-MCグレーダのシステム構成

この構成図から分かるようにTSと建設機械は1対1の関係になるので、現場において複数の建設機械をTSより3D-MC制御する場合は、建設機械の台数分のTSが必要になる。気象条件にもよるがレーザービームによる有効制御半径は約300mである。

4. GPSを利用した3D-MC

(1) 道路建設に用いるGPS

GPS (Global Positioning System) はアメリカ国防省が管理する軍事衛星を利用した汎地球測位システムのことで、もともとは船舶や航空機などが自分自身の位置を把握するための航法システムであった。現在ではカーナビ等で普及し、一般にもその名称は知られてきている。測量分野においては既知点を参照せずに任意のポイントを測量できるという優位性を備える。最近ではGPSと共に、ロシアの測位衛星であるグロナスも合わせた統合的な衛星ナビゲーションを行うことができるシステムも増えてきている。このシステムはGPSのみの場合に比べて、利用可能な衛星の個数が増えるので、これまで受信状況が悪かった場所においても安定した測位精度が得られるという

メリットがある。

建設機械制御のための測位に用いられるGPSはRTK-GPS (Real Time Kinematic-GPS) と呼ばれる干渉測位方式である。一般的には現場に基地局と呼ばれる固定GPSアンテナを設置し、1点観測法では避けられない衛星の軌道誤差や時計の誤差を除去するため、建設機械に装備されたGPSアンテナとともに複数の点で同時観測を行うことにより、相対的な位置精度を向上させるシステムである。この方式により、移動体である建設機械の位置情報をリアルタイムに数cmの精度で測位することができる。

(2) 一般的なGPS-3D-MCの構成

GPS-3D-MCはRTK-GPSによりグレーダの位置情報 (X_a, Y_a, Z_a) を取得し、その位置情報をグレーダに備えられているコントローラに入力された施工エリアの設計データ (X, Y, Z) と比較して、その場所での高さ方向の差 ($Z - Z_a$) を補正することにより作業装置を自動制御するシステムである。このとき高さ情報だけではなく、グレーダが作業をしているそのエリアの横断勾配情報に基づき作業装置 (ブレード) の勾配も自動制御する。

GPS-3D-MCは現場内に基地局が備えられて

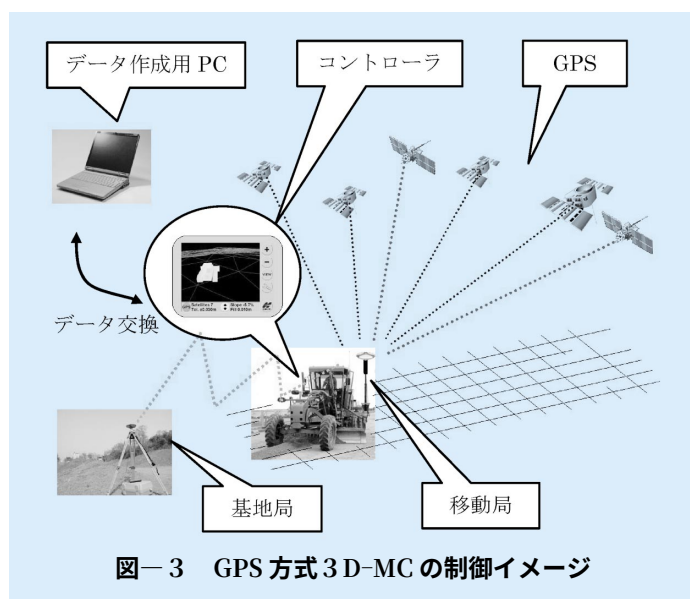


図-3 GPS方式3D-MCの制御イメージ

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できる合理的なシステムである。しかし精度的には許容できる作業は限られる。マシンコントロール時は測量作業とは異なり、制御不感帯の設定や、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±20mm、垂直方向では±40mm程度になる。数cm～数十cmもあるロック材を扱うような土工事ではこの精度で全く問題ないが、特に垂直方向の仕上り（出来形）がmmオーダーで要求される道路建設においては許容できる精度ではない。

なお通常のグレーダの作業装置は手動の油圧バ

ルブにより操作を行うのでLPS、GPSのタイプを問わず3D-MCを装備する場合は自動制御に対応させるために電磁バルブを追加装備する必要がある。

(3) 高精度GPS：ミリメータGPS

道路建設においてGPS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が、これを向上させたシステムがトプコン社製の、高精度GPS（ミリメータGPS）である。前述のTSと同程度の垂直精度±10mmを得ることができるものであり、道路建設に必要な

精度を満足するものである。基本的なコンポーネントはRTK-GPSと同じであるが、最大の特徴は作業エリア内にゾーンレーザ発光器という垂直精度を補正する装置を設置することである。

ゾーンレーザ発光器はその名称どおり発光中心から上下各5mの幅（ゾーン）を持った回転レーザ発光器で、GPS受信機とゾーンレーザ受光センサを備えた建設機械ある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できる。このときゾーンレーザ内の受光センサの台数に制限は無い。ゾーンレーザ発光器単体がカバーできる範囲は半径約300m

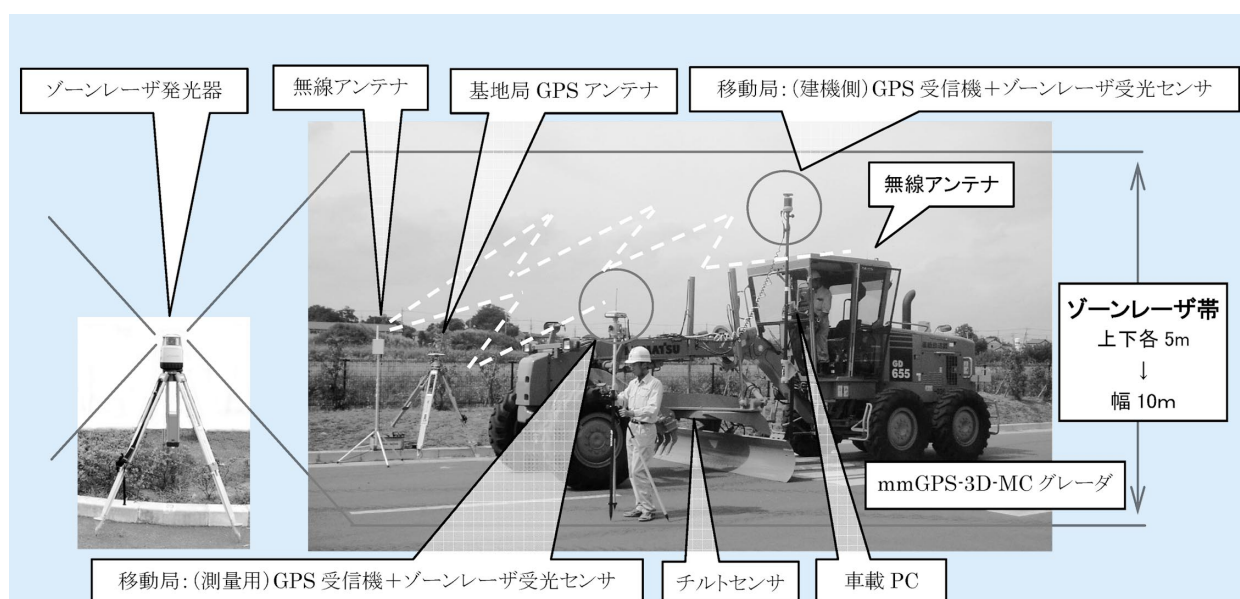


図-4 高精度GPS方式の3D-MCシステム構成

であるが、制御上発光器は最大4台まで連続して並べることができ、有効半径にとらわれない連続施工環境を構築することができる。なお、レーザゾーン発光器による精度補正は垂直方向に対してのみ行われるので、水平方向の精度は従来のシステムと変わらない。

5. 実施工での3D-MC効果の確認

従来の建設機械のオペレータは、数字によって指示された設計値を参照し、盛りあるいは削りの差を目視と経験に基づいた勘を頼りに、移動する建設機械上で機械操作を行わなければならない高い技能を必要とした。特に今回実施例としてあげたグレーダは他の建設機械に比べて高い仕上がり精度が要求されるため、より高い技能が求められる。これらの点を踏まえ、TS-3D-MCおよび高精度GPS-3D-MCを導入した現場で確認された効果を以下に示す。なお高精度GPSとTSは全く別なシステムであるが、3D-MCグレーダとして得られた結果は概ね同じである。

① 日当たり施工量の向上

材料搬入などの条件にもよるが従来の手動作業と比較して1.5倍程度の施工量が得られる。

② 仕上がり精度の向上

従来の施工の場合、検測位置（丁張杭の位置）では仕上げ高さを許容値に入るように管理できるが、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、きわめて精度が高くかつ平坦性の良い仕上がり面が得られる。施工条件によるがこれまでの現場で確認された垂直方向精度は検測個所の80%以上が±10mm以内に収まっている。

③ 仕上げ微調整量の適正化

グレーダによる敷均しの後、転圧ローラによって路盤を締固めるが、このときの転圧減を事前に確認しておき、敷均し時にその沈下分を見込んで



写真-1 アスファルトフィニッシャへの応用

仕上げることができる。

④ 人員の省力化・安全性の向上

検測作業を大幅に省略できるので検測員を削減することができる。また、検測作業が省略化されるため現場内でグレーダとの近接作業が低減されて接触事故が防止でき、安全性を向上させることができる。

⑤ 同一データによる複数機械の制御

建設機械がブルドーザであれ、グレーダであれ、また舗装を行うアスファルトフィニッシャ（写真-1）であっても作業装置のバルブが電磁化されている機種であれば、同一制御データを使用して3D-MCとして作業することができる。それぞれの機械が仕上げるべき高さの、設計面からのオフセット量を変更するだけである。TS、高精度GPSとともに出来形測量も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、出来形管理を省力化することができる。

6. 米国での3D-MCによる施工事情

米国における3D-MCの応用は建設機械の分野に止まらず、農業機械など多岐にわたり実用化がなされている。またその普及具合も日本とは比べものにならないほどである。タイプ別で言えば道路建設工事も含めGPS方式による制御が一般



写真－2 3D-MCによる大規模ゴルフ場造成工事

的で、3D-MC全体の90%以上を占めているようである。理屈上は日本でも米国でもGPSの精度は変わらないのだが、米国でGPS方式が大きな地位を占めている理由は、GPSが自国の衛星ゆえに、日本に比べ衛星の配置が良いので作業を実施している終日、衛星配置による精度のムラが生じないため、安定した信頼性が得られるという事情がある。さらにオープンスペースという作業条件が多く、衛星が遮られるような環境下での作業は稀であると推測される。もう一つ日本と大きく違う要因は無線の出力にある。大規模工事は別にして、日本で一般的に使用されている小エリア簡易無線の出力は1Wに制限されているため、GPS基地局からの無線信号到達半径が2km程度と言われている。一方、高出力の無線を使用できる米国では5kmは安定して届くということであるから、一つの基地局がカバーする面積は6倍以上になる。例えば高速道路の発注単位が20～40kmといわれる米国ではこのような出力のものでない使い勝手が極端に悪くなり敬遠されてしまうことが伺える。GPSに比較して縦方向の精度が優れているにもかかわらずTS方式があまり受け入れられていない理由の一つは、レーザビームの有効射程距離が300m程度なので、作業半径が限られることにより自由度が制限されることがある。また建設機械とTSとが1対1対応であるので建設機械制御と測量作業を並行して行えない点も挙げられる。ただし、コンクリート舗装用のスリップフォームペーパーなど、一日の施工延長が限ら

れ、非常に高い仕上がり精度が要求される施工分野ではTS方式が採用されている。

それぞれの工事の内容によるが、現場の工期を短縮すればボーナスが与えられる仕組みが出来上がっており（工期割れしたときのペナルティもきつい）、それが合理的な新しい機械、あるいは新しいシステム導入の動機付けにつながり、工期短縮によるメリットが発注者、施工者ともに得ることができる社会になっているのがいかにも米国らしい。

7. おわりに

本報により、道路建設における最先端技術である3D-MCを建設機械に応用することにより、コスト縮減と施工品質の向上が図られるとともに、建設機械周辺の安全性が改善されたことなどがご理解いただけたと思う。この技術は国土交通省が推進する国土交通分野のイノベーションにおける「施工の効率化、高度化」に対してきわめて効果的なメリットをもたらすものとなるであろう。

文中で述べたとおり、単位時間当たりの施工量が向上することはコスト縮減効果のみならず、施工終了までに現場で建設機械稼動に伴う二酸化炭素の排出量も削減できることも示唆している。また業界として、3D-MCの活用による、マシン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、近年深刻化しつつある熟練オペレータ不足問題の解決策の一つとして期待されている点も追記しておきたい。しかしながら欧米と比較して未だ普及途上と言わざるをえないのが現状である。今後は施工業者としては3D-MCのみならず情報化施工に応用可能な技術力の取得向上に努め、またメーカーには機器の一層のコストダウンを望みたいものである。

*鹿島道路ホームページ

<http://www.kajimaroad.co.jp/>