

道路建設における情報化施工の現状と今後の展望

伴 康 夫

日本の道路施工技術は従来の経験・勘的なものに頼った施工から、合理的・効率的な情報化施工を活用した技術で、現場従事者操作員の高度な技量を保持する人員不足・高齢化に伴う人員減少に対応し、確認作業の軽減を図る方向性が進められている。本報文では道路施工における情報化施工の現状と今後の展望について記すものである。

キーワード：情報化施工 (ICT)、施工合理化、安全性向上、工期短縮、施工精度、品質向上

1. はじめに

道路施工において近年の建設機械油圧機器の発達外部環境に対応可能な電子技術の発達、通信技術の飛躍的進歩に伴い、急速に情報化施工 (ICT 施工) が可能となり道路舗装構造の路盤工から舗装工までさらにはコンクリート舗装においても活用が広がっている。従来の現場施工では丁張り等用いて測量し、設計高との確認で施工を進めてきたが、合理的な施工として情報化施工を活用することで舗装のミリ単位の精度要求に対応し、品質向上の面からも道路業界として取り組んでいる状況を報告するものである。

2. 三次元マシンコントロール施工機器の概要

三次元マシンコントロール (以下 3D-MC) は施工エリアの三次元設計データを元に作成された制御データにより、ブルドーザやモータグレーダなどの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出来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出来、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を大幅に削減することが出来る。

3D-MC は位置情報の入手方法として、自動追尾ト

ータルステーション (以下 TS) を利用した方式と測位衛星からのデータを利用した GPS 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. 3D-MC の制御システムのバリエーション

(1) TS を応用した 3D-MC

TS による制御は、制御データがインストールされたコンピュータに接続された TS が照射するレーザービームが直接、建設機械の作業装置を制御するタイプのものと、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

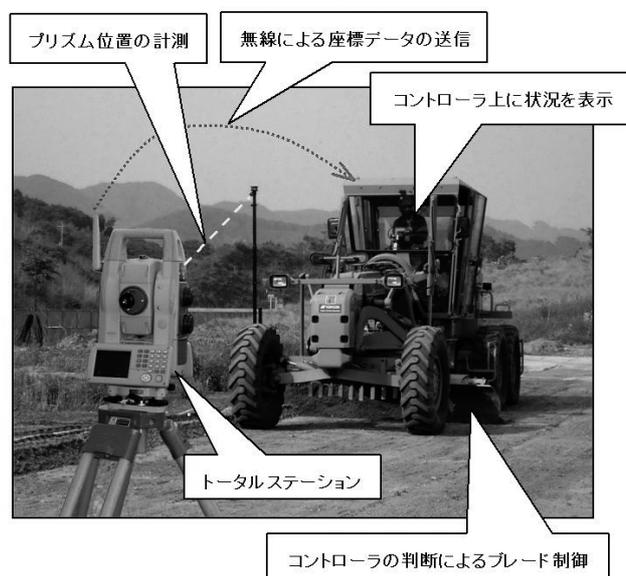


図-1 TS-3D-MC のグレーダ制御イメージ

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がある(図-1)。現在、日本国内で使用されているものは前者のタイプが多いが、今後はシステム構成がシンプルな無線を用いたタイプが主流になっていくと予想される。TSを用いた3D-MCの特徴は水平、垂直方向ともミリオーダーで精度を管理できる点にある。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。

(2) GPSを利用した3D-MC

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、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。現在では自動車や携帯電話のナビゲーション機能の普及によりGPSという呼称は一般的に知られるようになった。

GPSを利用した3D-MCはGPSにより建機の位置情報を取得し、その位置情報を建機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と比較して、その場所での高さ方向の差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(図-2)。

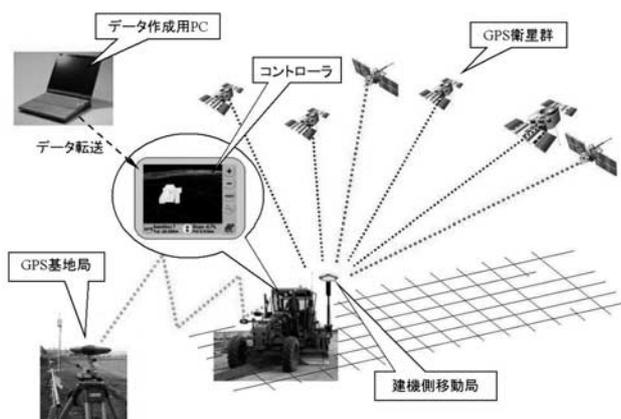


図-2 GPS-3D-MCのグレーダ制御イメージ

GPS-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。しかしながらマシンコントロール時の精度は、水平方向で±20mm、垂直方向では±40mm程度と一般的にいわれており、垂直方向の仕上り(出来形)がミリオーダーで要求される道路建設では、路盤施工に用いるにも満足いく精度とはいえず、土工作業の分野での应用到留まっている。

(3) 高精度GPS-3D-MC：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。このシステムはTS方式と同程度の垂直精度±10mmを得ることが出来るものであり、道路建設に必要な精度を満足するものである。基本的な構成は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(図-3)。

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方向に幅をもったゾーンレーザを照射するもので、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ゾーンレーザ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。また、複数の建機の制御と測量作業が同時にできることも大きな利点である。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。

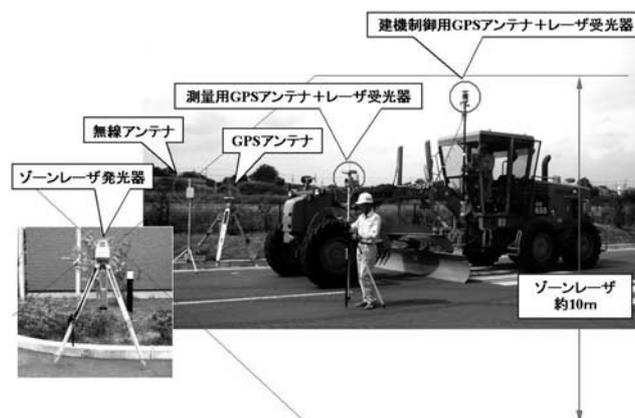


図-3 高精度GPS-3D-MCグレーダの機器構成

4. 路盤施工への3D-MCの適用と効果

3D-MCをモータグレーダあるいはブルドーザへ適応して現場導入することにより確認された効果を以下に示す。なおTSと高精度GPSとは全く別なシステム構成のものであるが、得られた結果は概ね同じである。

①日当り施工量の向上

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1.3から1.5倍程度の施工量が得られる。

②仕上り精度の向上

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箇所の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

転圧ローラによって路盤を締固めるが、転圧減を見込んで仕上り高さを自在に調整することができる。

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出来る。また、検測作業が省略化された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出来る。

⑤同一データによる複数機械の制御

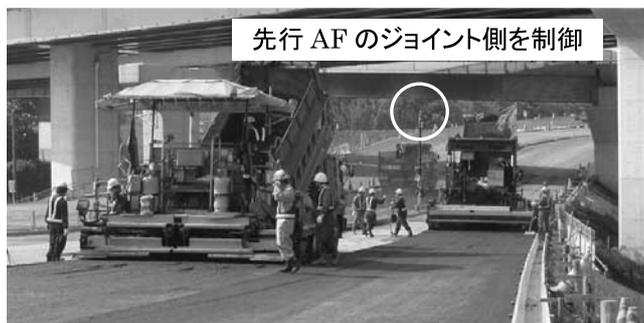
設計面からのオフセット量を調整することにより、同一の制御データを使用して異なる施工レイヤの建設機械を制御することが出来る。

5. 舗装機械への適用

(1) アスファルトフィニッシャ

路盤施工に用いられるブルドーザやモータグレーダと比較してより高い仕上り精度が要求されるアスファルトフィニッシャ（以下 AF）への 3D-MC の適用も積極的に行われてきている（写真—1）。路盤材料の敷均しに用いられるベースペーパーも AF と扱う材料が違うだけで機能的、構造的には殆ど変わらないので、AF と同じ適用がなされていると見なしてよいだろう。

AF に対してはブルドーザ、グレーダに本格的な適用がなされた時期とそれほど間をおかずに、TS タイプが応用されている。2 台の AF が横並びで同時に舗設を行うホットジョイント施工において、先行する AF の後続 AF とのジョイント側の高さ制御に用いられたのが最初である。中型以上の全ての AF は外部取付け式の制御機器を取付けられる仕様になっているのでポテンシオメータ、超音波センサ、レーザセンサ等を接続することができる。したがってブルドーザやグレーダのように 3D-MC の対応のために制御用電磁バルブを後付けするような手間が無く、構造的に 3D-



写真—1 AF への TS-3D-MC の適用

MC との親和性が良好なのであった。

前述したように GPS-3D-MC は精度の点から道路建設に用いるには工種として限られてしまうが、精度的に優れた高精度 GPS を応用した AF の施工例は少ない。ゾーンレーザ発光器の複数台連続して配置することが出来るという特徴を生かすことにより、直線的な連続作業を行う AF には適した 3D-MC タイプであると言える（写真—2）。



写真—2 AF への高精度 GPS-3D-MC の適用

(2) コンクリートスリップフォームペーパー

国内におけるコンクリート舗装はスチールフォームを用いたセットフォーム方式により施工される例が多いが、アメリカ、ヨーロッパではスリップフォームが主流である。したがって TS-3D-MC が世に出ると同時にコンクリートスリップフォームペーパー（以下 CSP）への応用が図られてきた。3D-MC の CSP の制御は、コンクリート舗装という工種の特質上、高さ制御、直進性ともに極めて高い精度が要求される。写真—3 は 1 台の TS で制御している例だが、広い幅員で

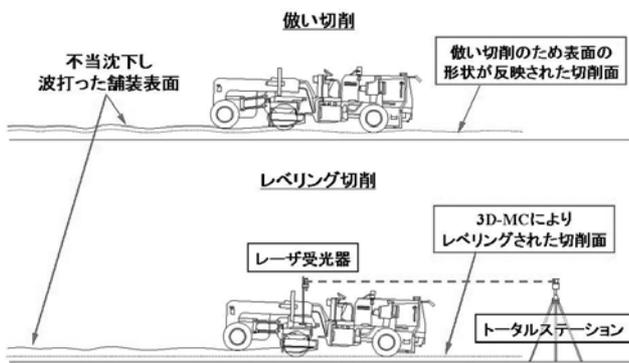


写真—3 TS による CSP の 3D 制御

施工する場合は左右の高さを独立したそれぞれの TS で制御するのが一般的である。今後国内においても、トンネル内の施工でのスリップフォーム工法が多数採用されており、急速に普及していくことが予想される。

6. 路面切削機への適用

路面切削機による切削作業を自動で行う場合、一般的には次のような手順で行う。フードの側面に装備されているサイドプレートを切削の基準となる俵い面上にセットして、切削ドラムを回転させながら所定の切削深さまで削り込む。サイドプレートには切削ドラムの切削深さを検知するセンサが装備されており、車体に装備された制御装置に切削ドラムの所定の切削深さを記憶させる。これにより切削面の不陸に関わらず、一定の切削深さを確保することが出来るのである（図—4）。



図—4 俵い切削とレベリング切削

一定の切削深さを確保するにはこの方式が優れているが、不陸を修正してレベリング面を確保しようとする場合この方式は適切ではない。そこで 3D-MC の切削機の適用となるわけであるが、実際に現場に取り入れられているのは米国、欧州に限られ、日本国内での実施例は未だ見られていない（写真—4）。

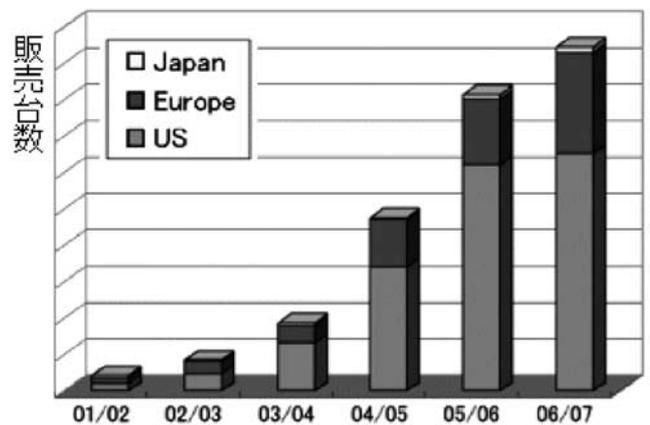


写真—4 TS-3D-MC による路面切削機制御

7. 海外での 3D-MC 普及状況

(1) 欧米での 3D-MC の導入状況

2001 年以降、GPS 方式の MC システムの登場に伴い欧米での 3D-MC の導入件数は飛躍的に増えている。元々 GPS が測量用機器として道路建設工事に浸透していた北米では特にその動きが顕著であるが、トプコン社を例に挙げれば、近年では欧州の導入件数も大きく伸張しており、販売比率は 3 年間で 5 倍以上の伸びを示している。シェア別で見れば図—5 に示すように米国 69%、欧州 30%、日本は約 1% にすぎない。



図—5 欧米及び日本における 3D-MC 販売台数推移

(2) 欧米において導入が進んでいる理由

日本の状況に比べ、欧米で 3D-MC の導入が進んでいる理由として以下の点が挙げられる。

- ①北米では、新技術を使ってプロジェクトを成功させることによって企業価値を上げようとする風潮が強く、新規性があり且つ投資効果の高い 3D-MC の早期導入が進んだ。
- ②現場の工期を短縮すると施主からボーナスが与えられる仕組みがあり、3D-MC のような合理的なシステムへの投資がしやすい。当初これは北米のみであったが、最近では一部の欧州諸国（ドイツ、ベルギーなど）でも実施されており、それらの国では 3D-MC の導入比率も高くなっている。
- ③米国に続き欧州でも、3D-MC を経験したオペレータが増えてきており、初期導入時のトレーニングなしで、現場に MC システムを導入できるようになった。
- ④東欧諸国の EU 統合により、新規加入諸国（チェコ、ポーランドなど）を中心に道路建設プロジェクトが増えている。これらプロジェクトへ参加（入札を落札）するためには、低価格応札が余儀なくされており、コ

スト削減の技術として3D-MCが注目、導入される事例が増えている。

(3) 米国における3D-MC使用状況

米国における3D-MC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(写真—5)。前述の通りその普及具合も日本とは比べものにならない。タイプ別で言えば道路建設工事も含めGPSタイプによる制御が一般的で、3D-MC全体の90%以上を占めているようである。米国でGPS方式が大きなシェアを占めている理由は、日本に比べ衛星の配置が良いので、終日衛星配置による精度のムラが生じないため、信頼性が安定している点が挙げられる。またオープンスペースの作業エリアが多く、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、1つの基地局がカバーできるエリアは6倍以上になる。例えば高速道路の発注単位が20～40kmといわれている米国では、このような出力のものでないと使い勝手が極端に悪くなり敬遠されてしまうことが窺える。



写真—5 GPS-3D-MCブルドーザによる宅地造成工事(米国ユタ州)

GPSと比較して縦方向の精度が優れているにもかかわらず、TSタイプが占める割合が低い理由の一つとして、レーザービームの有効射程距離が限られてい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が1対1対応になるので、建設機械制御と同時に測量作業を並行して行えない点も挙げられる。但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、非常に高い仕上り精度が要求される施工分野ではTSタイプが採用されている。

8. おわりに

本報により、道路建設において3D-MCシステムが現在どのような展開がなされているのか概略をご理解いただけたと思う。グレーダ、ブルドーザへの適用はすでにかかなりの数にのぼる。AF、CSPなどほかの適用例も紹介したが、いずれの建機であれ情報化施工技術を駆使することにより現場の合理化をはかり、単位時間当たりの施工量を向上させることは大いに期待できることである。このことはコスト削減効果のみならず、施工終了までに現場で建設機械稼働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付記しておきたい。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。今後更なる現場作業の合理化に向けて、3D-MCのみならず情報化施工に対応可能な技術力の取得向上に、道路業界としてさらに努める必要があると判断する次第である。

JCMA

【筆者紹介】

伴 康夫(ばん やすお)
鹿島道路株

