

3 2. 道路建設における情報化施工技術

高精度 GPS のモータグレーダへの適用

鹿島道路株式会社

○桑田 直人

1. はじめに

近年、コンピュータや通信技術の発達は目を見張るものがあり、様々な分野において活用されている。道路建設業界においても例外では無く、現場作業の合理化を図るための情報化施工として、実施工等に積極的に取り入れられている。なかでも、コンピュータに入力した設計データをもとに機械を制御することができる三次元マシンコントロールシステム（以下 3D-MC）は最先端の情報化施工である。

本編は 3D-MC のシステムの紹介、更に実際に高精度 GPS-3D-MC を搭載したモータグレーダを使った施工実績とその結果を中心に有効性と施工精度を報告するものである。

2. 3D-MC を用いた情報化施工

(1) トータルステーションを使用した 3D-MC

トータルステーションとは光波測距離機能を持ったトランシットで、基準点から目標までの距離と角度を同時に求め、座標値に変換することができる測量機である。また、最近では自動追尾型トータル

ステーション（以下 TS）も開発され、ワンマン測量が実現している。

実際に重機を制御させる場合、まず設計データをもとに制御データを作成する。制御データが入力されたパソコン（以下 PC）と接続された TS は、グレーダに取り付けた受光センサを自動追尾し平面座標 (x,y) を求める。計測した位置情報と設計データを照合し、その座標における高さ座標 (z) と横断勾配情報を受光センサに送信する。この TS からの指示によりグレーダのブレード高さ及び横断勾配が自動制御される。（図 1 参照）

この自動追尾という性能上 TS と重機の数は一対一の関係になるため、複数の重機を自動制御する場合、その重機台数分の TS が必要となる。

(2) GPS を使用した 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、一般的に幅広い分野に利用されている。身近なところではカーナビなど現在位置を知

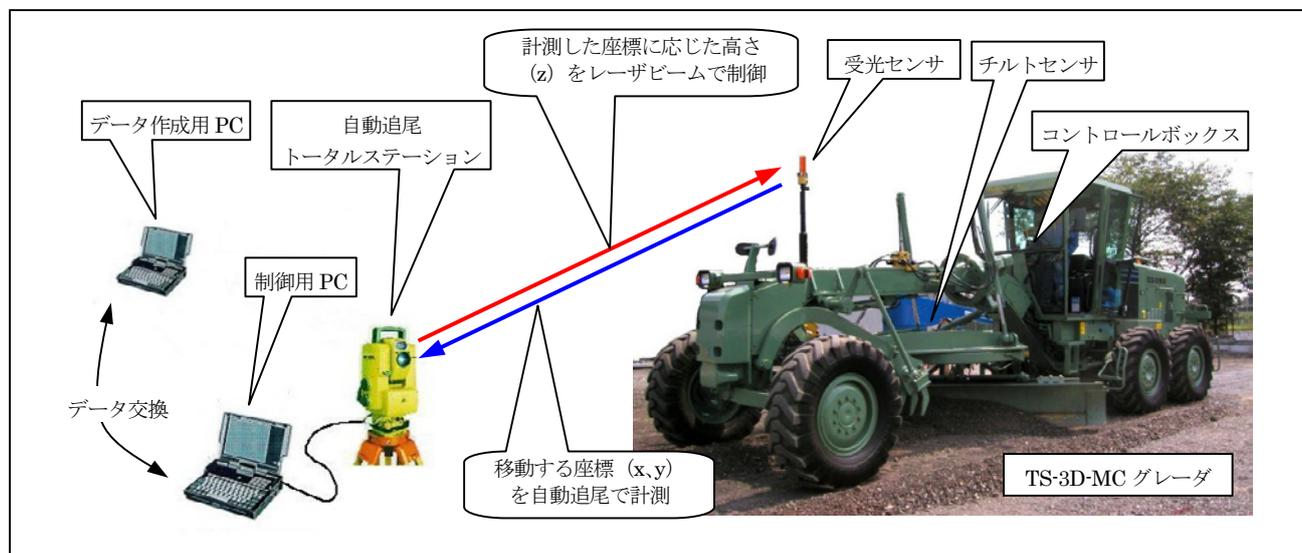


図 1 TS-3D-MC グレーダのシステム構成

るための手段として用いられている。最近はロシアの測位衛星であるグロー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出来るシステムも増えてきており、より精度が高い安定した情報を得ることができるようになってきている。

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) である。RTK-GPS 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 アンテナと共に複数の点で同時観測を行い、相対的な位置精度を向上させるシステムである。これにより、常時移動している建設機械の位置座標を短時間かつ数センチメートルの精度で測位することが出来る。

まず、RTK-GPS によりグレーダの位置情報 (X_a , Y_a , Z_a) を取得し、グレーダ内の車載コンピュータに入力されている設計データ (x , y , z) と比較をする。その位置における高さ方向の差 ($z-Z_a$) を補正することによりブレードを自動制御する。このとき高さ情報と同時にグレーダが作業をしているエリアの横断勾配データも参照することにより、ブレードの勾配を自動制御する。概略の構成を以下に示す。

- ① GPS : 上記の測位衛星。高度約 2 万 km の 6 つの軌道上に衛星が配置されている。
- ② 基地局 : RTK-GPS を形成するために設置される固定 GPS 受信機。無線で移動局と通信を行う。
- ③ 移動局 : グレーダ側に装備されている GPS 受信機とレシーバ。無線も備え、基地局と通信を行う。
- ④ コントローラ : 3D-MC 用専用ソフトウェアがインストールされ設計データが入力されている車載型特殊コンピュータ。GPS によって測位された位置情報を設計データと照合して作業装置の高さ及び横断勾配を制御する。油圧装置の感度等の設定も行う。
- ⑤ データ作成用 PC : 制御データを作成するためのコンピュータ、現場に持ち込む必要はない。

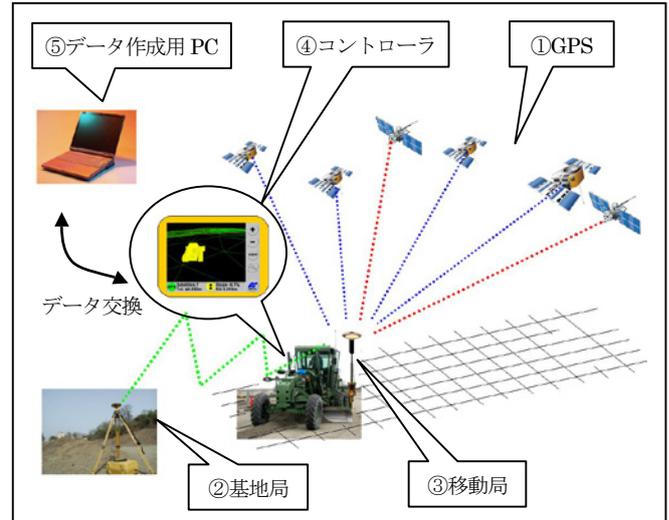


図 2 GPS-3D-MC の制御イメージ

なお、グレーダの作業装置は通常手動により操作を行うので 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。

GPS-3D-MC の一番の魅力は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ことにある。しかし精度的には許容できる作業は限られる。実際のマシンコントロール時は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 $\pm 20\text{mm}$ 、垂直方向では $\pm 40\text{mm}$ 程度になる。垂直方向の仕上りがミリ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。

(3) 高精度 GPS (mmGPS) を使用した 3D-MC

上に述べた垂直精度の点から、道路建設において GPS を使用するには限界があった。この垂直精度を向上させたシステムが、トプコン社製の mmGPS という高精度 GPS である。前述の TS と同等の垂直精度 $\pm 10\text{mm}$ を得ることができ、道路建設に必要な精度を確保することができる。基本的なシステムは 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を設置することにより垂直精度を向上させることができる点にある。

ゾーンレーザは発光中心から幅 10m (上下 5m) のレーザを発光し、GPS 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

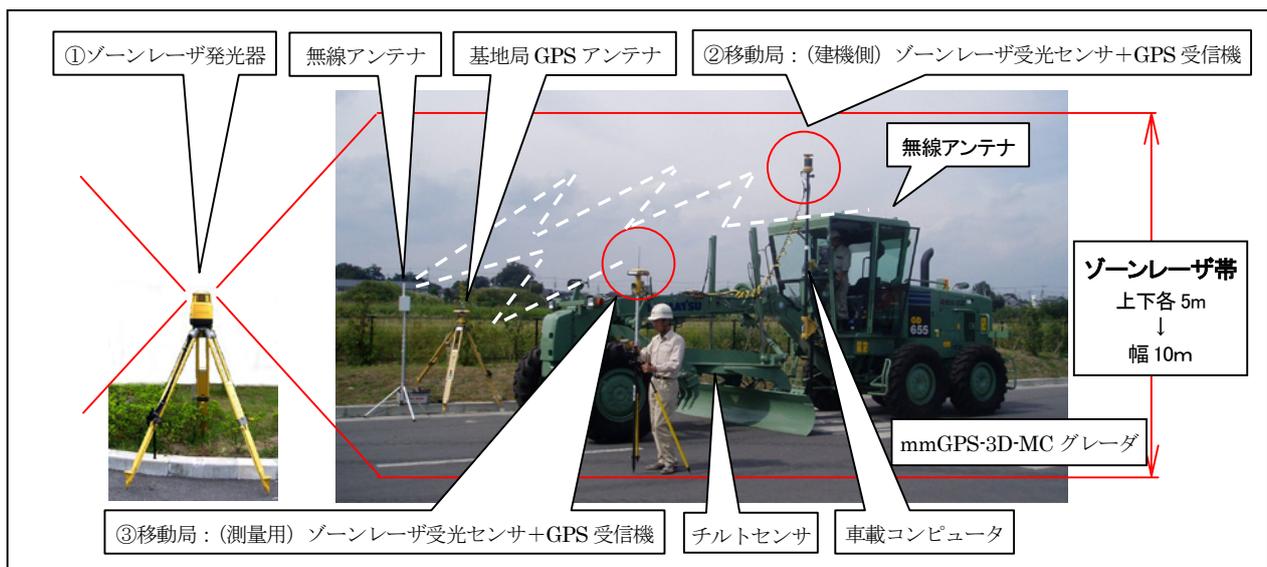


図-3 高精度 GPS-3D-MC 構成

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出来る。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、有効半径にとられない連続施工環境を構築することが出来る。

なお、ゾーンレーザによる精度補正は垂直方向のみに行われるので水平方向の精度は従来のGPS-3D-MCシステムと変わらない。

3. 実施工時の3D-MCの効果と比較

(1) 実施工時3D-MCの効果

一般的に道路建設現場では、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丁張杭と呼ばれる測量杭を一定間隔で設置する。建設機械のオペレータは丁張杭を見て現在の路盤面の高さを仕上り面と一致させるため、経験に基づいた作業装置の運転操作が必要となる。特に今回取り上げたグレーダは微妙な操作が求められ、熟練の技術を要する。この点を踏まえた上で高精度GPS-3D-MC施工により得られた効果を以下に示す。

・導入した現場

- ① 旭川紋別自動車道下白滝舗装工事
- ② 名寄市高砂舗装工事



写真1 高精度GPSグレーダによる現場作業状況

・得られた効果

① 仕上り精度と安定性の向上

これまでのグレーダの仕上り精度はオペレータの腕に頼っていたと言っても過言では無い。3D-MC導入によって、オペレータの腕に左右されることなく安定した仕上り精度が期待できるようになった。精度に関しては、施工条件にもよるが、これまで現場で確認された垂直方向精度は80%以上が±10mm以内に収まっている。

② 施工量の向上

材料の搬入などの条件にもよるが従来の手動作業と比較して1.5～2倍の施工量が得られる。

③ 仕上げ微調整量の適正化

敷均し後転圧ローラによって路盤を締固めるが、このときの沈下量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仕上ることが出来る。



写真2 高精度 GPS-3D-MC フィニッシャ

④ 人員の省力化と安全性の向上

検測作業を削減することができるため検測員も削減できる。そのため現場内の近接作業が減り、作業員と重機との接触事故が防止でき安全性の向上にも繋がる。また、丁張杭を打つ手間も少なくなる。

⑤ 同一データにおける複数機械の制御

制御させる機械がブルドーザであれグレーダであれ、舗装を行うアスファルトフィニッシャ（写真2参照）であっても 3D-MC に対応している機種であれば同一制御データを用いることができる。

⑥ 夜間作業の効率の向上

夜間の施工では全ての作業効率が低下する。特に丁張を参照して作業を行うグレーダの場合、施工量も精度も昼間の作業に比べて著しく低下する。3D-MC 使用時においてはオペレータの技量に関係なく、昼間の施工と同じ精度を得ることができる。

(2) タイプ別 3D-MC の比較

表1に 3D-MC 各タイプの特徴を示す。

表1 タイプ別 3D-MC の特徴比較

| 項目 | GPS | | 高精度 GPS | | トータルステーション | |
|--------------|-----|--------------|---------|--------------|------------|-------------|
| | ◎ | 半径 200m | ○ | 半径 300m+ | ○ | 半径 300m |
| 制御範囲 | ◎ | 半径 200m | ○ | 半径 300m+ | ○ | 半径 300m |
| 垂直方向 制御精度 | △ | ±30mm | ◎ | ±10mm | ◎ | ±10mm |
| 周辺への 影響 | △ | 無線電波 の発信 | △ | 無線電波 の発信 | ◎ | 無し |
| 複数制御 | ◎ | 制御範囲 内無制限 | ◎ | 制御範囲 内無制限 | △ | 1対1での 制御 |
| 天 候 | ◎ | 左右 されない | ○ | 通常の GPS | × | 降雨時 不可 |

一見、制御範囲が広く複数台制御することができる GPS タイプが優れているように見える。しかし前述の通り、高い垂直精度が要求される道路建設での使用は難しい。

そこで高精度 GPS の特徴に注目してみると、垂直精度と複数制御の項目で通常の GPS と TS の両方の優位な特性を備えていることが分る。更にゾーンレーザ発光器を複数台据えることによって制御範囲を拡大することができる。しかしこの高精度 GPS も万能という訳ではない。GPS を使用するためには建設機械が衛星信号を受信できる位置にいないといけない。トンネルや建物内においては信号を受信することが出来ない。更に切り立った地形やビルの側では反射波が生じて正確な信号を受信できず、橋梁の下や木陰などにおいても受信状態不安定となることがある。

以上のことから、どのタイプの 3D-MC を使用するかは現場の状況に応じて適切に選定する必要がある。

4. おわりに

当社で情報化施工を本格的に取り入れてから六年、それまでは回転レーザによって平面を作り出す 2D 制御を主としていたが、ダム の斜面部分の施工など技術的に困難とされる条件においてブルドーザによる TS-3D-MC が取り入れられた。その後、高速道路や一般道などでも使用されるようになり、施工条件が異なる様々な現場で活用してきた。しかし一つの現場に複数台の TS を導入した場合、光波が混同し制御できない状態になるという問題も浮上した。そこで複数台制御が必要な施工においては、1 対複数の建設機械、測量器の制御が可能な高精度 GPS を用いるようになった。まだ高精度 GPS による施工数は限られているが、確実に実績を挙げていることは間違いない。

団塊世代の退職、技術の伝承不足等による熟練オペレータ不足が問題となっている昨今、情報化施工によってその技術を補っていきたいと思う。