

12. 三次元マシンコントロールシステムによる現場施工の合理化

鹿島道路㈱：*鈴木 泰、
㈱トプコン：竹内 幸弘

1. はじめに

三次元マシンコントロールシステムとは、自動追尾トータルステーション技術、レーザ利用の光通信技術、精密な機械作動を行える油圧制御技術を融合させることにより、三次元的に建設機械を管理する情報化施工管理システムである。

この三次元マシンコントロールシステム技術が開発された背景には、ここ数年間において急速に発展、安価化したコンピュータ、通信技術など、情報化分野の技術を応用出来る環境が整ったことがある。これらの環境のもとで、測量、計測機器は、様々な機能を持つことが可能になった。

一方、建設機械においては、複雑な油圧回路をコントロールする技術が向上したことにより、その操作を更に容易に出来るようになった。近年、この測量機器の機能を使用することにより、建設機械のコントロールをするシステムの開発が行われてきた。建設分野においても、建設機械にこれらの技術を活用することにより、施工の合理化を図る情報化施工の具体化を望む声が聞かれるようになってきた。

当社では、広大で複雑な形状の現場での施工の合理化に対応すべく、設計データを用いて直接、建設機械の施工高さをコンピュータ制御する三次元マシンコントロールシステムを導入し、ブルドーザに搭載して基礎実験を行った。本報文は、基礎実験で得られたデータをもとに、このシステムによる現場施工の合理化の可能性を報告するものである。

2. システム導入の目的

システムの導入は、形状の複雑な精密土工の大型建設プロジェクトが計画されたことに端を発する。当該プロジェクトにおいて以下の問題点が挙げられ、その問題の解決を目的として三次元マシンコントロールシステムの導入が検討された。

- (1)溜池形の法面は曲面部と平面部とで形成され、複雑な形状となっている。その形状を正確に成形する為には多数の基準杭の設置と、測量作業が要求される。
- (2)当該プロジェクトは、当地の気象条件から年間で作業が出来る期間が限られるため、すべての工種に従来以上の合理化が要求される。測量作業も例外ではない。
- (3)複雑な形状の法面の施工は基準杭の設置が困難な為、整形作業は勘に頼る部分が多く、熟練オペレータによる作業が要求されるが、熟練オペレータの絶対数の不足が現実のものとなってきている。
- (4)今後、設計データにより、測量、施工、検査を管理できる可能性がある。即ち、建設CALSへの対応も、視野に入れることが出来る。

3. システムの概要

(1) システムの特徴

三次元マシンコントロールシステムは、建設機械の施工高さの自動制御を中心に据えた三次元的施工管理システムのことと最新の自動追尾トータルステーション技術、レーザー利用の光通信技術、油圧制御技術を融合した総合施工管理システムであり、建設機械の平面位置の計測、計測された位置での設計高さの建設機械側への指示、機械制御を自動的に行うシステムであるため、施工基準となる丁張り等を削減することが可能であり、従来の測量、丁張り設置作業を大幅に軽減することができるものである。

(2) システム構成

三次元マシンコントロールシステムを構成する主要な機器を以下に示す。

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とは、電子式セオドライと光波測距儀を一体化して、角度並びに距離を同時に測定し、データを自在に加工・電子記録し、また、自動的にデータを出力できる測量機器のことをいう。本システムでは、光通信機能付きの自動追尾トータルステーションを用いる。

自動追尾式トータルステーションは建設機械に取付けられた受光センサーを自動で追尾し、自動追尾式トータルステーションの設置された位置からの角度、距離を計測する。設計データに基づいた施工高さを建設機械側へ指示する。

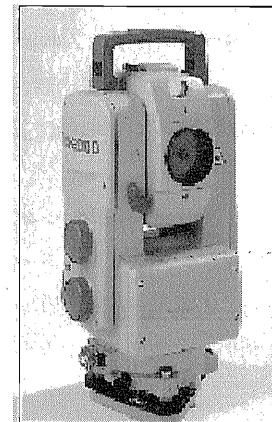


写真-1 自動追尾式トータルステーション

②受光センサ

自動追尾のための全周プリズムで構成された、光通信、レーザ検出のためのセンサ。自動追尾式トータルステーションから建設機械の現位置での設計高さ、横断勾配、ステアリング情報を受け取り、作業装置の制御部に渡す。

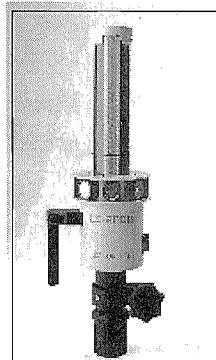


写真-2 受光センサ

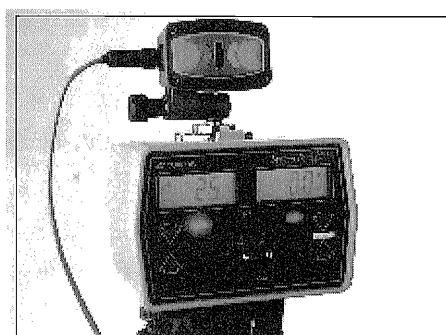


写真-3 建設機械制御部

③建設機械制御部

自動追尾トータルステーションから送信された制御信号を元に、建設機械の排土板等の作業装置の高さと傾きを制御する。また、コントロールボックスによる電動マストの上下操作、制御時の高さおよび傾斜表示、ステアリング情報表示を行う。

④制御ソフト

三次元マシンコントロールシステム用の処理ソフト。Windows95, 98, Me, NT, 2000 環境下のラップトップPCで動作し、機能的には CAD 部（3次元設計データの入力・編集機能）と重機のリアルタイム制御部に大別される。

CAD 部は、設計データの入出力、編集、等高線表示等から構成され、現場でのデータ管理・編集を容易にする。扱うデータは作業工種に応じて道路用の路線データ（ポリライン）と、造成用の三角メッシュの処理が可能である。

重機のリアルタイム制御部は、自動追尾トータルステーションで計測された建設機械の位置情報に応じた作業装置の高さ、勾配、ステアリング情報を自動追尾トータルステーションを経由して制御データを重機側に送る。

⑤ラップトップパソコンコンピュータ

制御ソフトをインストールして、システムのデータ作成、整理、コントロール情報の発信指示を行い、建設機械の制御を管理する。現場に持ち込むので、防塵、防滴、耐衝撃性に優れた機種を用いる。RS232ケーブルで自動追尾トータルステーションに接続して使用する。

（3）システム動作

①自動追尾トータルステーションで建設機械の受光センサ全周に配置されるプリズムを自動追尾し、その座標位置（X, Y）をリアルタイムに測定し、制御ソフトに転送する。

②制御ソフトは（X, Y）位置の設計高さや横断勾配等の、施工に必要な情報を3次元設計データを基に算出し、自動追尾式トータルステーションに返送する。

③自動追尾式トータルステーションは、制御ソフトからのデータに従い、扇状のビーム（ファンビーム）の送出により（X, Y）位置での高低位置を直接指示する。また横断勾配等の数値データを変調し、受光センサに送出する。

④受光センサは、自動追尾式トータルステーションからのファンビームを受信し、センサ中心に対する受信高さの検出、および数値データの復調を行い、建設機械制御部にそれらを通信する。建設機械制御部は受信データに基づき、ブレードの高さ・傾き等が設計値に合致する様、機械の油圧回路を制御する。

この一連のシーケンスを0.1秒毎に繰り返し、リアルタイムに機械制御を行うことで、PCに格納された3次元設計データ通りの施工が可能となる。

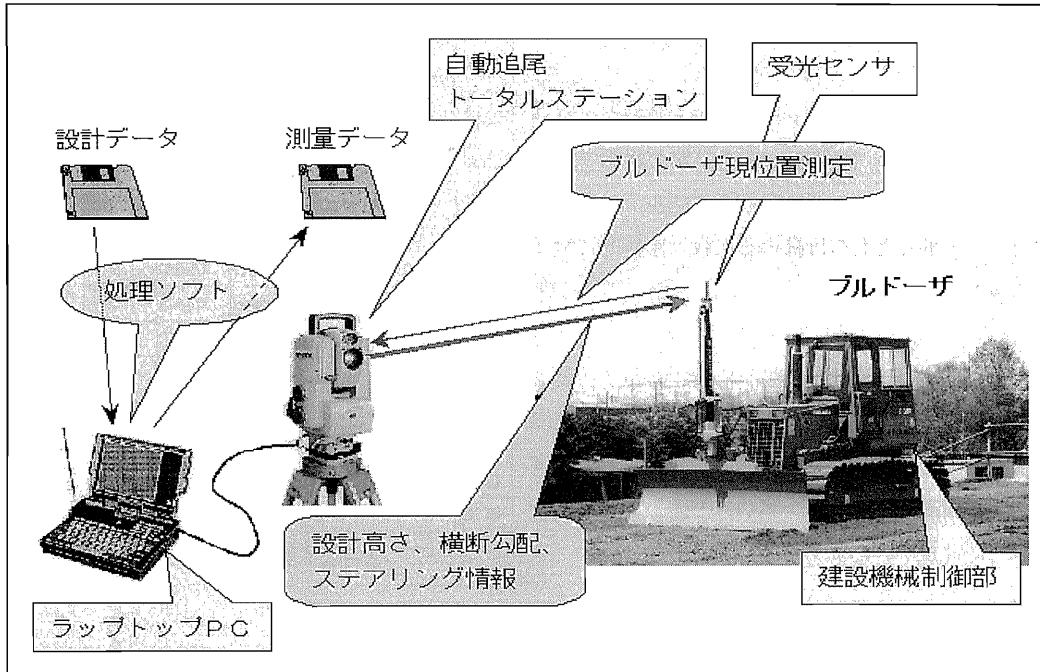


図-1 システム構成

4. システムの効果

平面的な現場及び急勾配法面（2割5分勾配）の現場において7tonクラスのブルドーザを使用して、路盤材料の撒き出しを行い、その時の仕上げ精度の測定を行った。検測の結果は表-1、表-2に示す通りである。

平面的な場所では誤差平均値+10mmで、実用上問題ない満足行く結果が得られている。また、急勾配法面では誤差平均値-22mmであり、全体的にマイナス傾向となった。

このように、急勾配法面では若干誤差が大きくなる傾向を示したが、三次元マシンコントロールシステムを導入することにより、捲き出しの目安となる丁張りを設置せずに充分な敷均し精度が得られることが確認出来、施工の合理化が図れるものと判断された。また、ここで特筆すべきことは、このときのブルドーザの運転操作はブルドーザ運転経験が10

No.	座標		誤高	敷均高	誤差
	X	Y			
CH-1	1060.0310	1049.8790	179.338	179.344	0.006
CH-2	1060.0290	1050.6940	179.341	179.355	0.014
CH-3	1060.0290	1051.8060	179.346	179.358	0.012
CH-4	1059.9200	1052.8260	179.350	179.358	0.008
CH-5	1059.9620	1053.8540	179.354	179.365	0.011
CH-6	1060.0560	1054.8440	179.358	179.377	0.019
CH-7	1064.0410	1049.8650	179.346	179.353	0.007
CH-8	1063.9090	1050.8500	179.350	179.363	0.013
CH-9	1063.9260	1051.8550	179.354	179.370	0.016
CH-10	1063.9560	1052.8340	179.358	179.367	0.009
CH-11	1063.9630	1053.8200	179.362	179.361	-0.001
CH-12	1063.9350	1054.8820	179.366	179.376	0.010
CH-13	1068.0820	1049.8580	179.354	179.360	0.006
CH-14	1068.0960	1050.8780	179.358	179.363	0.005
平均					0.010

表-1 平面での敷均し精度結果例

時間未満の、いわゆる、素人オペレータによって、このような精度が確保されたということである。

なお、急勾配法面の巻き出しで全体的にマイナス傾向となった原因としては、「撒き出しが下り勾配方向で行われ、使用した盛立材料の最大粒径が100mmであったので、設計面に中途半端な状態で配置されていた碎石は、その粒径ゆえ、ブルドーザの排土板に引っ掛けたものは掻き出され、全体的にマイナス（低め）の仕上がりになった。」事が考えられる。

したがって、粒形が小さくなれば仕上がり精度は向上すると予想されるが、実施工においては、実際に敷均しを行う材料を用いて撒き出し試験施工を実施し、計画高さとの誤差を事前に把握し、その値を制御時に考慮する必要があると思われる。

No.	座標		設計高	敷均高	誤差
	X	Y			
CH1	-83496.5949	33988.4023	778.835	778.831	-0.004
CH2	-83498.4951	33989.1134	778.024	778.022	-0.002
CH3	-83502.2394	33990.4463	776.434	776.412	-0.022
CH4	-83504.1183	33991.1446	775.632	775.626	-0.006
CH5	-83496.0869	33989.8412	778.830	778.809	-0.021
CH6	-83497.9558	33990.4891	778.039	778.010	-0.029
CH7	-83501.7446	33991.8788	776.425	776.384	-0.041
CH8	-83503.6100	33992.5641	775.630	775.605	-0.025
CH9	-83506.3364	33992.0263	774.678	774.658	-0.020
CH10	-83508.8570	33992.8301	773.620	773.610	-0.010
CH11	-83511.3981	33993.6683	772.569	772.503	-0.066
CH12	-83514.3691	33994.7780	771.592	771.555	-0.037
CH13	-83517.2820	33995.7316	770.985	770.965	-0.020
CH14	-83519.7587	33996.6968	770.727	770.715	-0.012
平均					-0.022

表-2 急勾配法面での敷均し精度結果例

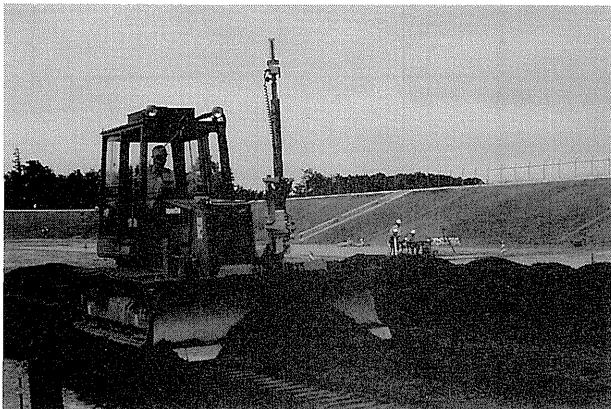


写真-4 平面での施工



写真-5 急勾配法面での施工

5. 今後の課題

今回三次元マシンコントロールシステムを搭載した機種は、試験施工を実施するのに取り扱いの容易な7トンクラスのブルドーザであったが、実施工には16トンクラスのブルドーザが要求される。今後は実施工に対応するクラスのブルドーザで機能を確認する計画である。また、本システムはブルドーザのみならず、モータグレーダ、アスファルトフィニッシャに対しても作業装置の制御が可能であるので、これらの建設機械に応用展開することも計画している。特にアスファルトフィニッシャのステアリングの自動化は、他の作業装置の制御とは異なるフィードバック制御が必要となるので、制御動作の確認が要求される項目である。

6. むすび

今回の一連の試験施工により、三次元マシンコントロールシステムにより、基準杭の設置を大幅に削減できるのを確認すると同時に、オペレータの技量に左右されることなく、均一で精度の高い施工結果が得られることが実証された。

建設機械の自動コントロールシステムは本件の三次元マシンコントロールシステムのみならず、油圧ショベルを自動コントロールして、一定の法勾配の成形に対応出来るものも実用化されている。

また、三次元マシンコントロールシステムとはシステムが異なるが、GPSを利用し、建設機械が自分自身の位置（座標）及び進行方向を認識し、建設機械に搭載したコンピュータがその作業ポイントにおけるデータを記憶装置から読み取り、作業を実行するシステムも実用化されつつある。

現場施工において、三次元マシンコントロールシステムの有効性を確認すると同時に、このようなさらに進んだ技術により現場管理を行う方法についての調査研究を実施していく所存である。