

19. ICT 施工技術を活用した地盤整正機による路盤工の紹介

－ 新機械編成による更なる効率化 －

大成ロテック株式会社 ○横山 真吾
 ○田中 純
 ○高橋 勁太

1. はじめに

路盤の仕上げ作業には、ブルドーザやモータグレーダを用いるのが一般的である。しかし、これらの運転作業には、熟練の技術が必要とされる。昨今、熟練オペレータの高齢化や建設工事従事者の減少などが課題となっており、これらの課題への対応策として、ICT 技術を活用したマシンコントロール技術が積極的に導入されている。

それらの背景を踏まえ、大成ロテック株式会社では、路盤工の仕上げ作業に着目し、平成 22 年より、ブルドーザやモータグレーダに代わる ICT 技術を活用した地盤整正機を導入し、実績を上げている。

本稿では、地盤整正機による施工事例と、地盤整正機の問題点を整理し、更なる施工効率の向上を目指した新機械編成による路盤工の施工事例を紹介するものである。

2. 地盤整正機による施工事例

2.1 地盤整正機の概要

2.1.1 機械概要

使用する地盤整正機は、米国 GOMACO 社製の「トリマー9000」である。

地盤整正機は、通常のブルドーザなどと同様の排土板に加え、専用の切削ビットによるトリミング機構（鋤取り）を特徴とする機械である。

地盤整正機は、①エンジン、油圧装置、履帯式走行装置を備えた「ベースマシン」、②トリミング装置を備えた「トリマーヘッド」、③材料排出用の「ベルトコンベア」を装備している。

施工方法は、予め高めに敷均し、転圧を行った地盤を、ワンパスにてトリミングし、余剰材料をベルトコンベアを介して、ダンプトラックに排出する。その後、転圧ローラにて再度転圧を行う手順となる。

地盤整正機の全景を写真-1 に、主要諸元を表-1、機械構成図を図-1 に示す。



写真-1 地盤整正機全景

表-1 地盤整正機主要諸元

名称	9000トリマー
全高(運搬時)	3,000mm
全 幅	5,060mm
全 長	13,720mm
総重量	24,600 kg
施工幅	4,470mm

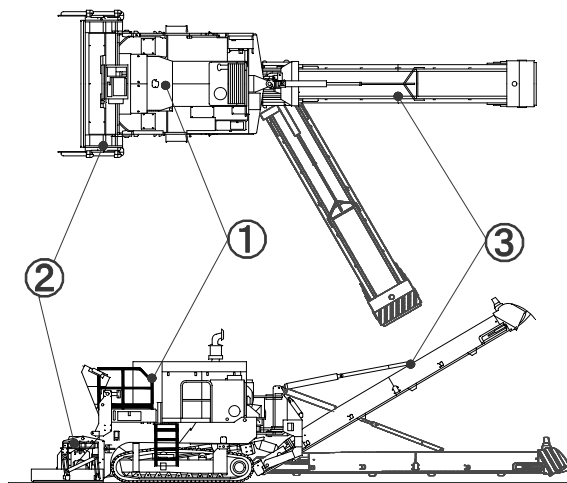


図-1 機械構成図

2.1.2 制御方法

地盤整正機の制御には、ブルドーザ等と同様の ICT 技術を採用して施工を実施する。ICT 技術

は、①GNSS(Global Navigation Satellite System)とレーザー技術を融合した「高精度GNSS システム」もしくは、②自動追尾式トータルステーション(以下、TS)を用いた制御方式を採用する。また、併用して横断スロープセンサおよび超音波式グレードセンサを使用する。

自動追尾式TSによる施工概念図を図-2、施工状況写真を写真-2に示す。

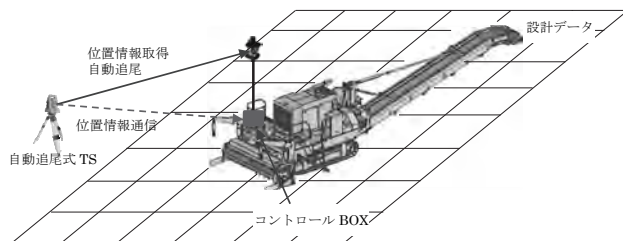


図-2 自動追尾式TSによる施工概念図



写真-2 施工状況

2.2 施工事例

大規模駐車場における地盤整正機の施工事例およびその施工精度、施工効率の検証結果を以下に示す。

工事概要を表-2に示す。

表-2 工事概要

施工期間	2010年6月～7月
施工数量	約 10,900 m ²
施工厚	150mm
使用材料	RC-40

2.2.1 地盤整正機を用いた機械編成

当該現場での機械編成を図-3に示す。

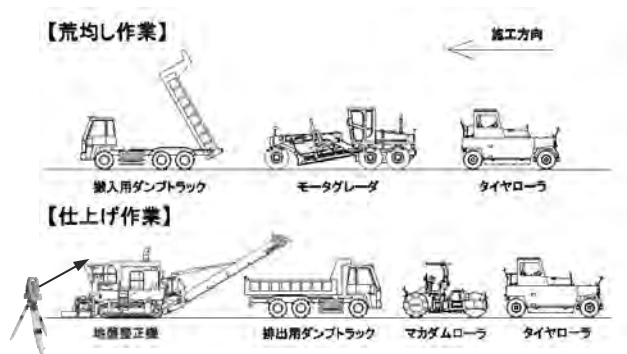


図-3 機械編成図

図-3に示す通り、地盤整正機での施工方法では、事前にモータグレーダ等の敷均し機械を使用し、丁張やICT機器を使用して検出した高さを目安に、予め高めに仕上げる。その後、自動追尾式TSにより制御された路盤整正機を使用してトリミングを行い、余剰材料をダンプトラックへ排出する機械編成となる。

トリミング状況写真を写真-3に示す。



写真-3 トリミング状況

2.2.2 施工結果

地盤整正機での施工結果を、①施工精度②施工効率に関して評価した。

① 施工精度

施工精度は、設計高さと転圧後の仕上がり高さとの誤差を評価した。

施工精度の比較を表-3に、地盤整正機および汎用機(自動追尾式TS制御によるモータグレーダ施工)による施工精度のヒストグラムを図-4および図-5に示す。

表-3に示す通り地盤整正機での施工では、誤差の頻度が±10mm以内に92%、±15mm以内に100%となるのに対し、モータグレーダでは、

±10mm 以内に 96%、15mm 以内に 100%となる結果となった。また、標準偏差においても、地盤整正機では、4.88mm、モータグレーダでは 4.58mm とほぼ同等の結果となった。

表-3 施工精度比較

項目		従来工法 モータグレーダ	地盤整正機 9000トリマー
誤差の 頻度 (%)	±5mm	70	57
	±10mm	96	92
	±15mm	100	100
	±20mm	100	100
標準偏差		4.58	4.88
データ数		75	390

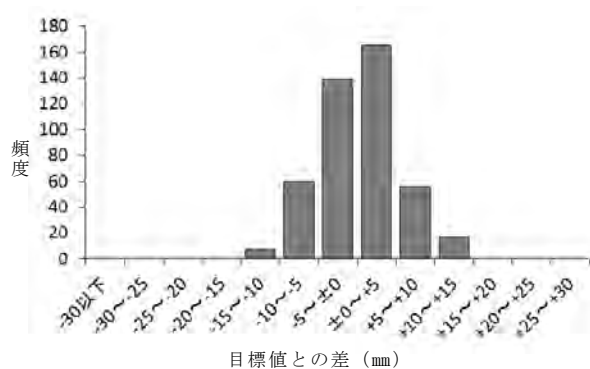


図-4 地盤整正機の施工精度

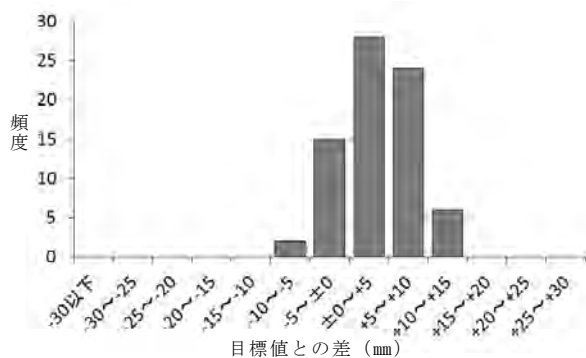


図-5 モータグレーダでの施工精度

② 施工効率

地盤整正機および汎用機械による路盤工の 1 日当たりの平均施工数量比較を表-4 に示す。

地盤整正機を導入した結果、モータグレーダでの施工に対して、約 1.8 倍の施工効率の向上が得られた。

表-4 施工数量比較

項目	従来工法 モータグレーダ	地盤整正機 9000トリマー
施工面積	6,000 m ²	10,900 m ²
施工日数	3 日	3 日
1 日当たり平均 施工数量	2,000 m ² /日※	3,630 m ² /日※
施工効率向上 効果	1.8 倍	

※ 施工数量は、導入現場での社内実績値

3. 本機械編成の課題

2.2 施工事例で示す導入事例においては、同等の施工精度、また施工効率の向上が確認できたが、課題も残されている。

地盤整正機の特徴は、2.1.1 機械編成に示す通り、計画高さより少し高めに敷均し、転圧した路盤をトリミングをし、ワンパスで仕上げ作業を行うことである。

そのため、トリミング前の路盤が設計高さより低い場合、仕上がり面が盛り仕上げとなり、ローラの転圧減の違いにより、出来形不足等の問題が生じる事例もある。

また、トリミング前の路盤が設計高さより高すぎる場合、排出する材料が過多となり、作業効率が大きく低下する。

表-5 にトリミング前の路盤高さによる 1 日当たりの施工数量の比較を示す。

表-5 トリミング厚ごとの施工数量比較

トリミング厚	0~8cm	8~13cm
最大施工数量	4,100 m ² /日	2,800 m ² /日
最小施工数量	3,200 m ² /日	1,700 m ² /日
平均施工数量	3,630 m ² /日	2,570 m ² /日
施工効率	0.7 倍	

本機械編成による事前の敷均し作業では、モータグレーダ等の敷均し機械を使用するが、粗均し高さの目安は、丁張や ICT 機器を使用して検測を行う方法を用いている。しかし、丁張設置では、無駄な作業の追加、ICT 機器による検測では、安全面の問題等の問題が課題となっている。

以下に、従来機械編成での問題点をまとめる。

- ① 事前の粗均し作業の精度が、出来形および施工効率に大きな影響を与える。
- ② 粗均し作業において、中精度、かつ高効率な機械施工が必要である。

4. 新たな機械編成による施工

4.1 新技術の採用

3.本機械編成の課題を解決するための粗均し機械に求められる条件は、以下のとおりである。

- ① 精度に mm 単位は必要としない
- ② 丁張、検測を必要としない高さ制御
- ③ 日々の事前準備が不要

そこで、上記課題を解決するため、従来のマシンコントロール技術にジャイロ技術を融合した GNSS 制御による高速施工型マシンコントロール技術を粗均し用のブルドーザに搭載し導入を試みた。

使用する高速施工型マシンコントロール技術は、トプコン社製の「3DMC²(3DMC スクエア)」である。

4.1.1 機械概要

搭載する重機制御機器①3DMC² および、位置情報測定装置②VRS-RTK-GNSS (N-trip) の概要を以下に示す。

システム概念図を図-6 に示す。

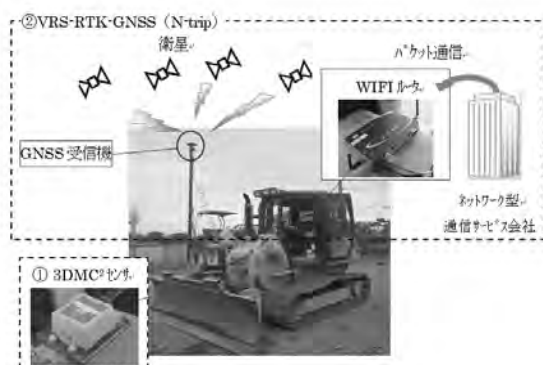


図 6 システム概念図

① 3DMC²システム

3DMC² システムは、センサから得られたロール、ピッチ、ヨーの加速度と、GNSS から得られる(X, Y, Z)の測位データを結合させることで、従来のシステムに比べ安定した排土板の制御を可能とし、高速施工においても高品質な施工を実現するシステムである。センサ概念図を図-7 に示す。

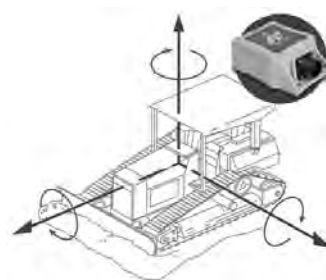


図-7 センサ概念図

② VRS-RTK-GNSS (N-trip 方式)

マシンコントロール技術を活用するには、正確な位置情報を取得する必要がある。従来の固定局を設置した RTK-GNSS 方式では、日々の施工前準備作業として固定局を設置する必要があった。

それに対し、VRS-RTK-GNSS 方式では、重機の電源を入れることでネットワーク環境が確立し、位置情報補正データを受信して正確な位置情報を取得することが可能となる。

4.1.2 施工事例

3DMC²+VRS-RTK-GNSS システムをブルドーザに導入し、精度の検証を行った事例を以下に示す。工事概要を表-6 に示す。

表-6 施工概要

施工期間	2014 年 7 月
施工数量	約 14,000 m ²
施工厚	200mm
使用材料	セメント安定処理路盤

施工精度の検証は、上記システムによるブルドーザを使用して路盤を敷均し、ローラによる転圧後の仕上がり高さ为目标値と比較した。施工精度を表-7、施工精度のヒストグラムを図-8、施工速度比較を表-8 に示す。

表-7 施工精度

項目	施工データ	
誤差の頻度 (%)	±10mm	43.4
	±20mm	72.7
	±30mm	93.3
	±40mm	100
標準偏差	17.2	
データ数	184	

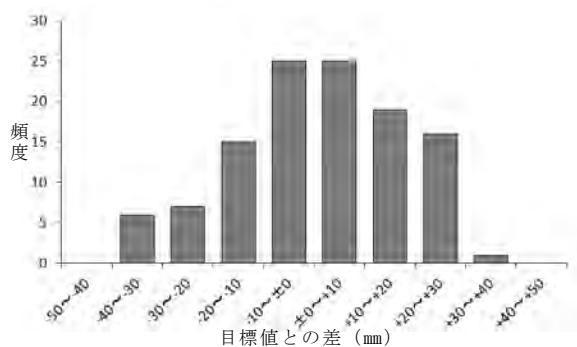


図-8 施工結果

表-8 施工速度比較

	従来技術	3DMC ² システム
施工速度 (km/h)	1 速 3.4	2 速 5.6(1.64 倍)

※カタログ値より

表-7、図-8 より、±30mm 以内に 93%、±40mm 以内に 100%となる結果となった。また、表-8 に示すとおり重機の施工速度は、従来のマシンコントロール技術での粗均し作業が、1 速であったのに対し、新技術を採用することで約 1.64 倍の速度である 2 速での施工が可能となった。

4.2 新機械編成による路盤工

4.2.1 機械編成

4.1 に示すブルドーザを地盤整正機と組み合わせた新たな機械編成図を図-9 に示す。

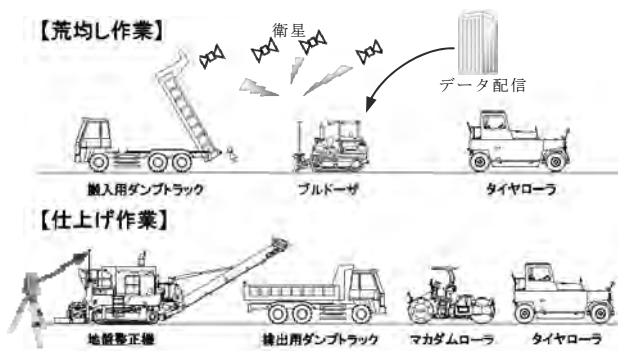


図-9 機械編成図

新機械編成による施工手順を以下に示す。

- ① 3DMC²+VRS-RTK-GNSS 技術を搭載したブルドーザを使用し、路盤材を敷均し、転圧を行う。仕上りの目標値を、設計高さ+3~4cm とすることで、設計高さより 0~7cm 高い路盤を形成する。

- ② 地盤整正機を使用して、路盤をトリミングし、仕上げ転圧を行う。

4.2.2 施工事例

新機械編成による施工事例を表-9 に示す。

表-9 工事概要

施工期間	2016 年 3 月～4 月
施工数量	約 67,400 m ²
施工厚	200mm
使用材料	RC-40

4.2.3 施工結果

新機械編成での施工結果を、①施工精度②施工効率に関して評価した。

①施工精度

施工精度は、設計高さと転圧後の仕上がり高さとの誤差により評価した。

新機械導入前後の精度比較を表-10、施工精度のヒストグラムを図-10 に示す。

表-10 精度比較

項目	9000 トリマー ブルドーザ	9000 トリマー 3DMC ² ブルドーザ
誤差の 頻度 (%)	±5mm	70
	±10mm	96
	±15mm	100
	±20mm	100
標準偏差	4.88	3.58
データ数	390	44

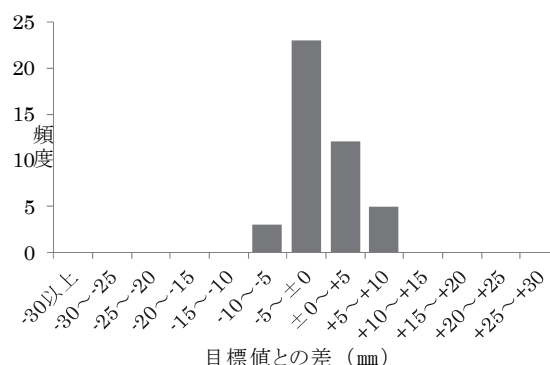


図-10 施工結果

表-10 に示す通り新機械編成での標準偏差は 3.58mm、従来機械編成では 4.88mm であり、安定した量を鋤取することで施工精度向上の効果が確認できた。

②施工効率

新機械編成と従来機械編成での施工量の比較を表-11 に示す。

表-11 施工量比較

項目	9000 トリマー ブルドーザ	9000 トリマー 3DMC ² フルトラサ ⁺
施工面積	10,900 m ²	67,400 m ²
施工日数	3 日	13 日
平均施工数量	3,630 m ² /日※	5,180 m ² /日※
施工効率向上効果	1.42 倍	

※ 施工数量は、導入現場での社内実績値

表-11 に示す通り、従来機械編成による施工では 3,630 m²であったのに対し、新機械編成による施工では 5,180 m²と約 1.42 倍の施工効率の増加が確認できた。

5. 考察

地盤整正機と 3DMC²+VRS-RTK-GNSS 技術を搭載したブルドーザによる新たな機械編成を構築することで確認できたことを以下にまとめる。

- ① 地盤整正機施工前の路盤を、適切な高さに仕上げる事が可能となり、施工効率の向上が確認できた。
- ② 粗均し作業時の検測作業員が不要となることで安全性の向上が確認できた。
- ③ 丁張不要、事前準備不要による省力化が確認できた。

導入現場の事例より、上記 3 点の向上が確認できたが、施工効率に関しては、碎石の搬入状況等に大きく左右される。そのため、当該機械編成の導入は、地盤整正機による新機械編成の効果が得られる条件での施工が重要であり、従来施工技術と並行して導入を検討していく必要がある。

6. おわりに

ICT 技術の発達、建設業界において急速に発達しており、今後も I-Construction をはじめ、

ますますの発展が期待される。

今後も、ICT 技術を積極的に取り入れ、工事現場の省力化、出来形の向上を目指していく所存である。