

JCMA 報告

平成 23 年度
機械施工と建設機械シンポジウム
優秀論文賞 (1)

路床・路盤整正機への
ICT 施工技術の適用
路盤整正への適用事例

関口 峰・平野 晃・小泉 慎太郎

1. はじめに

路床・路盤の仕上げ整正には、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。それらの運転作業には、熟練オペレータを必要とするが、高齢化による熟練オペレータの減少など、いくつかの課題がある。また、建設事業においては、①作業安全性の確保、②作業効率の向上によるコスト縮減、③技術の高度化による品質向上、などが求められるが、近年は、さらに、環境負荷低減への要求が一層高まる傾向にあり、舗装技術へのニーズも多種多様化していると言える。

それら背景を踏まえ、路床・路盤の仕上げ整正の施工技術に着目し、モータグレーダやブルドーザを用いる従来工法と比較して、高度な技術を有する熟練オペレータを必要とせずに仕上げ整正が容易な路床・路盤整正機（以下、地盤整正機）の適用を考え、実現場にて、その導入効果の検証を行った。さらに、地盤整正機の現場導入にあたっては、情報化施工を適用し、さらなる効果の向上を目指した。

本文は、路床・路盤の仕上げ整正における現状の課題を整理し、情報化施工を適用した地盤整正機を用いることによる特長を示すとともに、現場施工への活用事例とその導入効果の検証結果を示すものである。

2. 路床・路盤の仕上げ整正における従来工法の課題

路床・路盤の仕上げ整正作業は、従来、ダンプトラックなどにより所定の場所に運搬された材料をブルドーザやモータグレーダにより敷きならし、さらに作業員

により仕上げ高さを検測しながら行う。このブルドーザやモータグレーダにより路床・路盤を仕上げる従来工法は、以下に示すような課題がある。

- 1) 施工精度と作業効率を確保するためには、高度な技術を持つ熟練オペレータへの依存度が高い。
- 2) 仕上げ整正作業が、機械の前進・後進の繰り返し作業により行われ、作業員による仕上げ高さの検測作業の頻度が高いため、誘導員の配置や注意喚起など、作業安全性の確保が重要課題となる。

上記 1) については、少子高齢化の影響により、熟練オペレータが減少傾向にあるなどの課題がある。また、建設工事においては、2) に示す作業安全性の確保は不可欠であり、作業上の危険性を少しでも排除することが重要課題であるといえる。さらに近年は、作業効率の向上などによる CO₂ 排出量の削減等、地球環境に配慮した施工技術の開発も課題の 1 つに挙げられる。

3. 従来工法の課題への対応技術

前章で示した路床・路盤の仕上げ整正の課題への対応技術として、欧米諸国における路盤整正工などで既実績のある地盤整正機の適用を検討した。

地盤整正機は、モータグレーダやブルドーザにより材料を荒ならしした路床や路盤の表面をトリミング（鋤取り）することにより、地盤の表面整正を行う施工機械である。（その特長については、後述）、この地盤整正機を適用することにより、以下に示す効果が期待できる。

- 1) 仕上げ整正作業が、前進のみのワンパス施工を基本とするため、施工の簡素化が可能となり、作業員の検測作業など、施工機械との近接作業を軽減することで、作業安全性が向上する。
- 2) ブルドーザやモータグレーダの操作と比較して、熟練オペレータへの依存度が低い。
- 3) 施工の簡素化により、作業効率が向上し、機械の作業時間が短縮できることから、機械の稼働に伴う CO₂ 排出量を抑制することが可能となる。
- 4) 情報化施工を適用することで、施工精度の確保、作業効率の一層の向上が期待できる。

4. 地盤整正機

(1) 地盤整正機の概要

本検討で使用した地盤整正機は、米国 GOMACO 社製の「トリマー 9000」である。

地盤整正機は、従来のブルドーザやモータグレーダに代わり、トリミング方式（鋤取り式）により、路盤等の表面整正を行う施工機械である。

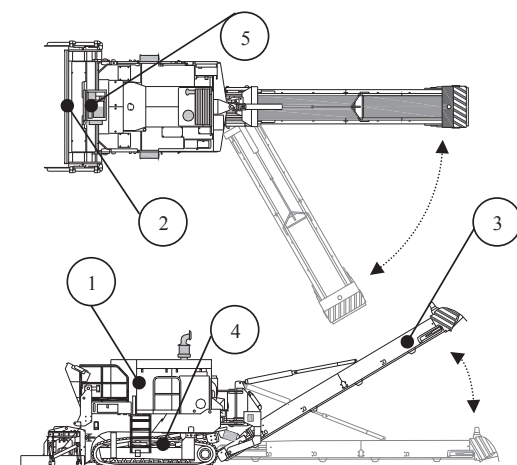
施工機械は、①動力装置や走行装置を有する機械ベースマシン、②トリミング装置であるトリマーヘッド、③材料排出用のベルトコンベア、④運転席および操作盤で構成されている。



写真-1 地盤整正機全景

表-1 地盤整正機の主要諸元

項目	諸元
本体高さ	3,000 mm
本体幅	2,970 mm
本体長	5,620 mm
総重量	24,600 kg
機関出力	287.2 kw
施工幅	3.25 m 3.86 m 4.47 m
ベルトコンベア	760 mm × 7,600 mm (スイング式)
走行装置	ホワイトゴムクローラ



地盤整正機主要装置構成

- ①：機械ベースマシン（走行装置・動力装置）
- ②：トリマーヘッド（トリミング装置）
- ③：第2ベルトコンベア（材料排出用）
- ④：第1ベルトコンベア（材料排出用）
- ⑤：運転席・操作盤

図-1 地盤整正機機構図

施工方法の概要として、荒仕上げされた路盤面の整正を最大施工幅 W：4.5 m で、ワンパス施工により、トリミングし、余剰となった材料は、付帯のベルトコンベアで、ダンプトラックや未施工レーンに排出（リチャージ）する。

当該機は、トリマーヘッドを材料チャージングホップに変更することで、コンクリート舗装等の材料横取り機としても、使用することが可能である。

地盤整正機の主な適用工事としては、高規格道路、高速道路、空港、コンテナヤード、駐車場、オートレース場、サーキット場等の比較的施工規模の大きな現場に適している。

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

(2) 地盤整正機の特長

地盤整正機主要装置の特長を以下に示す。

①トリマーヘッド

トリマーヘッドを写真-2 に示す。

- 1) 施工幅員は、トリマーヘッドの幅を 3.25 m, 3.86 m, 4.47 m に組み替えることで幅員を変更することが可能である。
- 2) トリミング用のローダ装置は、アッパーカッティング方式を採用しているため、固い地盤での施工においても施工機械が浮き上がることなく正確なトリミングを行うことが可能である。
- 3) トリミング深さは、施工対象となる材料により異なるが、路盤材（RC-40）のトリミング作業においては、最大 150 mm の深さまで施工が可能である。



写真-2 トリマーヘッド

②走行装置

走行装置は、2脚のクローラを有し、シュー幅が 350 mm と広くなっているため、接地圧が 0.1 MPa と小さく、軟弱地盤での施工にも十分対応することができる。

クローラが左右独立駆動のため、その場で、360°の方向転換や曲線部施工時の走行においても、スムーズな走行を行うことが可能である。

③制御方法

作業操作系統は、オペレータ運転席より、作業状況を把握しながら集中操作することが可能である。また、電気、油圧式センサーシステムを採用しているため、作業装置、走行ステアリングは、以下の方法により、自動制御することが可能である。

- 1) 現場内にセンサーラインを設置し、作業装置および走行ステアリングを接触式センサにて制御する方法。
- 2) 情報化施工を適用し、作業装置および走行ステアリングを設計データ通りに制御する方法。

5. 情報化施工の適用

情報化施工とは、ICT(Information and Communication Technology)の活用により得られる電子情報を活用して生産性向上と高効率、高精度な施工を行うことであり、施工管理や施工の合理化に活かす技術のことである。我が国においては、産学官による情報化施工の戦略的な普及方策が推し進められている。

その中でもここ数年、三次元マシンコントロールシステム(3DMC)は、舗装業界においても実用化され、飛躍的な進歩を遂げ急速に普及している。近年の3DMCの代表例としては、①「GNSS(Global Navigation Satellite System)」とレーザー技術を融合し、mm単位の制御を可能にした「高精度GNSSシステム」と、②測量機器の1つである「自動追尾式のトータルステーション」(以下TSという)を利用した制御システムがある。

これらのシステムは、三次元の位置情報をリアルタイムに測位、測定しながら施工を行うため、一般的に以下のようなメリットが知られている。

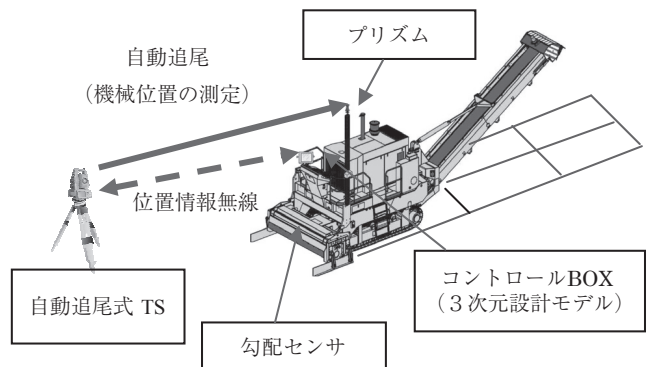
- 1) 計画した設計データ通りに施工を行うため、経験の少ないオペレータでも高精度の施工が可能となり省熟練化を図ることができる。
- 2) 計画設計高に対する現況の把握が容易になることや従来の丁張りを使用した「点の管理」から連続した「面の管理」が可能となり、生産性の向上が期待できる。
- 3) 設計データを基準として、機械制御から施工後のデータ管理まで一元化できるので施工の合理化を期待できる。

(1) 地盤整正機への情報化施工適用の概念

地盤整正機に自動追尾式TSによる3DMCシステムを適用した場合のシステム概念を以下に示す。

- 1) 地盤整正機のマシンフレームにマストを立て、その先端部にTS追尾用のプリズムターゲットを設置し、そのプリズムを1台の自動追尾式TSで、1秒間に20回測定する。
- 2) これらの測定値は無線モデムによってマシンに搭載されたマシンPCに送信される。
- 3) トリマーヘッドに取り付けられた勾配センサによって、トリマーヘッドの横断勾配に関する情報もコントロールBOXに提供する。
- 4) 継続的にトリマーヘッドの位置、高さ、勾配情報を使用して、現時点でのトリマーヘッド位置、高さ、勾配および進行方向が算出される。
- 5) トリマーヘッドの実位置情報(位置、高さ、勾配)は、コントロールBOX内で3次元設計モデルと瞬時に比較される。実際値と設計値の比較差(偏差)は補正值として、機械本体のマシンコントローラ(油圧制御用)へ送信され、油圧制御により施工中の整正高さや横断方向の傾き補正を全て自動制御で行う。

自動追尾式TSによる3DMCシステムの概念を図一2に、情報化施工適用事例を写真一3に示す。



図一2 自動追尾TSによる3DMCシステムの概念



写真一3 情報化施工を適用した施工事例

6. 施工活用事例

愛知県内の大規模駐車場における路盤施工に地盤整形機を導入し、その効果の検証を行った。

当該施工においては、地盤整形機に情報化施工を適用し、より一層の施工効率化を図った。

以下に工事概要、および導入効果の検証結果を示す。

(1) 工事概要

工事概要を表-2に示す。

表-2に示すように、当該現場は、施工面積が約10,900 m²の大規模駐車場である。当初モータグレーダを使用した従来工法での施工を計画していたが、施工の効率化を図るために、情報化施工を適用した地盤整形機の導入を試みた。

表-2 工事概要

施工期間	2010年6月～2010年7月
施工場所	愛知県内の大規模駐車場
施工数量	約10,900 m ² (約47 m × 約230 m)
施工厚	150 mm
使用材料	RC-40

(2) 施工

TSによる3DMCを適用した地盤整形機の路盤施工の作業手順を以下に示す。

- 1) ダンプトラックで搬入した路盤材の荒ならし作業をモータグレーダで行う。地盤整形機で整形するため、計画高さより2～5 cm程度高く敷き均す。
- 2) 地盤整形機により、計画高さまでトリミング作業を行う。地盤整形機の作業装置の制御は、自動追尾式TSによる3DMCシステムを適用する。
- 3) トリミング作業により余剰となった路盤材は、地盤整形機に付属するベルトコンベアでダンプトラックに排出し、排出された路盤材は、後続の荒ならし作業箇所へ荷下ろしする。



写真-4 施工状況

- 4) トリミング作業終了後、転圧機械にて転圧作業を行い、路盤を仕上げる。

施工状況を写真-4に示す。

(3) 導入効果の検証

TSによる3DMCを適用した地盤整形機の導入効果として、以下に示す3項目について検証した。なお、今回の検証結果は、類似した規模の現場条件の路盤施工を経験25年の熟練オペレータがモータグレーダを用いて施工した従来工法のデータ例を比較対象としたものである。

- 1) 施工精度：設計高さと仕上がり高さとの誤差
- 2) 作業効率：施工日数
- 3) 環境負荷低減効果：燃料消費量とCO₂排出量

① 施工精度

図-3および図-4に、地盤整形機および従来工法の設計高さと仕上がり高さの差のヒストグラムを示し、表-3に施工精度の比較を示す。

表-3に示すように、地盤整形機による施工の場合、最終仕上がり高さの設計高さに対する誤差の頻度は、誤差±5 mm以内に70%、±10 mm以内に96%、±15 mm以内に100%となる。これに対し、従来工法では、±5 mm以内に44%、±10 mm以内に73%、±

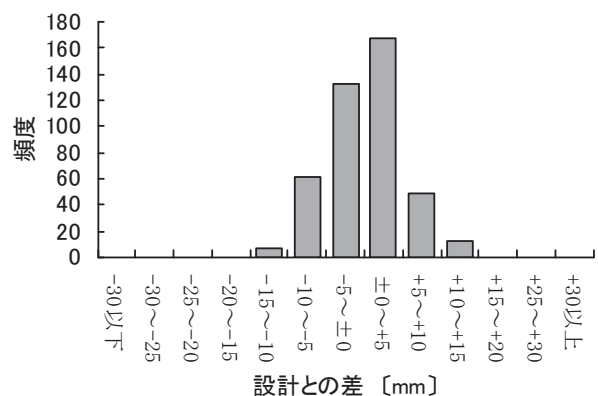


図-3 地盤整形機の施工精度

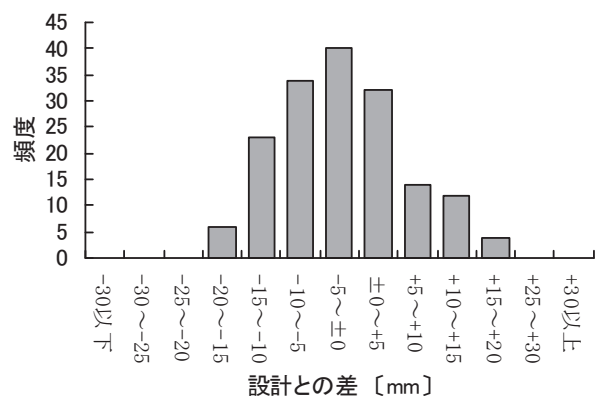


図-4 従来工法の施工精度

表一三 施工精度の比較

項目		地盤整正機 適用工法	従来工法
各誤差の頻度 〔%〕	± 5 mm	70	44
	± 10 mm	96	73
	± 15 mm	100	94
	± 20 mm	100	100
最大値〔mm〕		14	19
最小値〔mm〕		-12	-18
平均値〔mm〕		-0.28	-0.86
標準偏差〔mm〕		4.88	6.59
データ数		390	165

15 mm 以内に 94%, ± 20 mm 以内に 100% であった。また、誤差の標準偏差は、地盤整正機が 4.88 mm, 従来工法が 6.59 mm であり、地盤整正機を用いた工法の施工精度が従来工法と比較して高いことが確認できる。

②作業効率

表一四にモータグレーダを使用した従来工法との施工数量、施工日数の比較を示す。

3DMC システムを適用した地盤整正機を当該現場の路盤施工へ導入した結果、従来工法と比較して約 2.4 倍の作業効率の向上が得られた。

工期短縮効果としては、10,000 m² の路盤工を施工する場合、従来工法で予定していた当初の計画より、3 日間の工期短縮効果が得られた。

表一四 施工日数量、施工日数の比較

項目	地盤整正機 適用工法	従来工法
平均施工数量	3,630 m ² /日	1,500 m ² /日
作業効率向上効果	2.42 倍	
施工日数	4 日	7 日
工期短縮効果	3 日間	

③環境負荷低減効果

環境負荷低減効果を検証するため、当該現場における地盤整正機を含む施工機械の燃料消費量、CO₂ 排出量を算出し、従来工法と比較した。

表一五に燃料消費量と CO₂ 排出量の比較結果を示す。

表一五より、モータグレーダを使用した従来工法と比較して、燃料消費量は、約 707 [L] の削減が見られた。また、CO₂ 排出削減量は、約 1,827 [kg-CO₂] であった。以上の算定結果より、燃料消費量および CO₂ 排出量において、従来工法と比較して、約 37 [%] の削減効果が得られた。

表一五 燃料消費量および CO₂ 排出量の比較

項目	燃料消費量 ¹⁾	CO ₂ 排出量 ²⁾
地盤整正機適用工法	1,196 L	3092.22 kg-CO ₂
従来工法	1,903 L	4919.31 kg-CO ₂
削減量	707 L	1827.09 kg-CO ₂
削減効果	37.1%	

これら環境負荷低減効果の要因としては、モータグレーダを使用した従来工法では、機械の前後進を複数回行い、整正作業を行うのに対し、TS を適用した地盤整正機の施工では、整正するレーンをワンパスで、効率的に仕上げるため、施工面積当たりの稼働量が少ない点等が挙げられる。また、施工規模が大きいほど、作業効率に対する地盤整正機の優位性が増し、環境負荷低減効果が大きくなるものと考えられる。

④安全性の向上

地盤整正機での施工は、荒ならしされた路盤面の整正をワンパスでトリミングするため、施工方向は、常時同一方向となる。また、当該現場では、TS による 3DMC システムを適用した情報化施工を実施しているため、施工高さの検測作業も従来工法と比較して頻度が低く、簡素化されている。そのため、仕上げ作業に前後進を繰り返す従来工法と比較して施工機械との近接作業が減少するので、作業安全性が向上するものとする。

3DMC システムを適用した地盤整正機の検測状況を図一五に示す。



図一五 検測状況

7. まとめ

本検討では、情報化施工を適用した地盤整正機を路盤施工に導入し、その効果検証を行った。

結果を以下にまとめて示す。

- 1) 設計高さに対する仕上がり高さの誤差や仕上がり高さのバラツキが、従来工法と比較して小さく、

施工精度の向上が確認できた。

- 2) 日施工量が従来工法と比較して約2倍であり、作業効率の向上が確認できた。
- 3) 燃料消費量およびCO₂排出量の低減が図れ、環境負荷低減効果が確認できた。
- 4) 従来工法と比較して、省人化が図れると共に、機械周囲での検測作業が減少し、作業安全性が向上するものと考ええる。

8. 今後の課題

地盤整正機的主要な課題点を以下に示す。

1) 施工コストと現場規模の選定

地盤整正機を導入した場合、従来工法比で、輸送費等の機械経費がコスト増となる。輸送条件や施工規模を考慮し、導入を検討する必要がある。

2) その他制御システムの適応検討

本検討では、TSによる3DMCシステムを導入した。今後は、様々な測位方法に対応すべく、システムの互換性および、制御精度について、検証する。

3) 施工データの蓄積

今後、さらに施工実績を積み重ね、施工精度と施工出来形の関係より、システム制御および、操作性の向上を図る。

9. おわりに

路床・路盤における従来工法に対する施工の効率化、省人化、作業安全性の確保、環境負荷低減効果等を期

待して、地盤整正機を実現現場での施工に導入し、その導入効果を確認することができた。

今回の効果検証は、従来工法の一例との比較に基づくものであり、また、いくつかの課題も残された。今後も積極的な現場への導入を図るとともに、同一条件下における従来工法との比較データの集積を継続し、地盤整正機の優位性を検証していく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) (社)日本建設機械化協会：平成22年度版 建設機械等損料表, 2010.4
- 2) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル
<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/manual/index.html>,
<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>

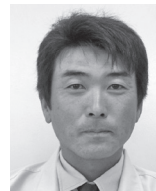
【筆者紹介】



関口 峰 (せきぐち たかし)
大成ロテック(株)
事業本部 機械部
課長代理



平野 見 (ひらの あきら)
大成ロテック(株)
事業本部 機械部
課長



小泉 慎太郎 (こいずみ しんたろう)
大成ロテック(株)
中部支社
課長代理