

MGローラの施工履歴データを用いた出来形管理の検討

日出山慎人・小塚 清・山下 尚

1. はじめに

我が国の人口は2010年の1億2806万人をピークに減少が進行し、2030年までの20年間、貴重な労働力である生産年齢人口が毎年1%近く減少するだろうと見込まれている¹⁾。建設業分野においても、建設業就業者数は1997年から2020年にかけて685万人から492万人まで減少しており、年齢構成については図-1のとおり2020年では55歳以上が約36%、29歳以下が約12%となっており、将来の労働力不足等が大きな課題となっている²⁾。

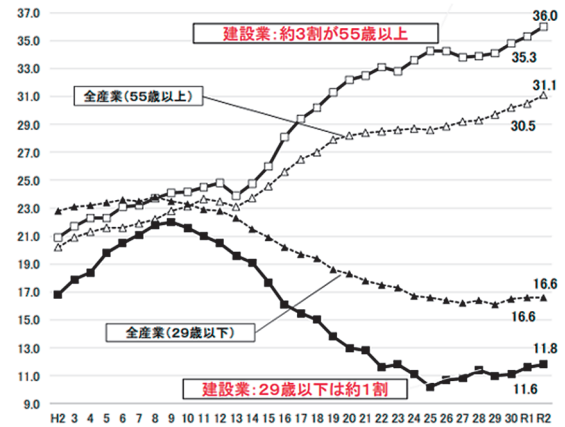
これらを背景とし、国土交通省は「ICTの全面的な活用（ICT土工）」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取組であるi-Construction（アイ・コンストラクション）を2016年度より導入した。土工を皮切りに導入後、現在まで、更なるICTの活用に向けて基準類を適宜拡充している³⁾。

ICT活用工事では施工の効率化を実現するツールの一つとして、ICT建設機械の施工履歴データの活用が進められており、これまで土工、河川浚渫工、路面切削工等における出来形管理手法として基準類が整備されてきた。そして令和3年度は、土工の出来形管理でこれまで適用対象外であったマシンガイダンスローラ（自動追尾式トータルステーションやGNSSなどの位置計測装置を用いて建設機械の位置情報を計測し、施工箇所の設計データと現地盤データとの差分をオペレータへ提供するシステムを指す⁴⁾。以下「MGローラ」という。）の適用可能性について検討した。

本稿では、MGローラの施工履歴データを用いた土工の出来形管理について検討した結果を報告する。

2. 施工履歴データの概要

施工履歴データはICT建設機械から取得できる



出典：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出

図-1 建設業就業者の高齢化の進行

作業機軌跡や車体位置などのログデータを用いて出来形を計測する技術である。施工しつつ出来形を計測することができることから、無人航空機（以下「UAV」という。）や地上型レーザースキャナー（以下「TLS」という。）等の計測機器を用いずに出来形計測が可能となる。また、工事期間の短縮に加えて工事費用の減少も見込むことができることから、生産性向上に大きく寄与することが期待されている。今回、MGローラの施工履歴データを用いた土工の出来形管理が可能となることで、締固め作業においても生産性向上が期待できる。

ただし、ICT建設機械の作業装置の位置情報の算出には、測位技術を用いた建設機械の位置情報と建設機械の動作によって変化する作業装置の位置情報を用いており、位置情報を取得する機材毎に生ずる誤差要因が累積される。そのため、TLS等の計測機器による計測と比較した場合、その精度は低くなる。加えて、ICT建設機械の位置情報取得には衛星測位が多く用いられており、衛星の配置による測位の揺らぎによる精度低下やローラの摩耗等による精度低下が懸念される。施工履歴データを活用するにあたっては、出来形計測値



図-2 鉄輪端部検測イメージ

としての信頼性を確保できるよう、作業装置の位置情報が出来形計測結果として基準値以内の精度があるかを確認するための手法の作成が必要となる。

3. 研究方法

MGローラの施工履歴データを用いた出来形管理への適用にあたり、段階的な精度確認を検討した。本研究で使用するMGローラは、2つのGNSSアンテナを鉄輪両脇に設置し位置、方向角を求め、傾斜計よりピッチ、ロールの傾斜を得てそれぞれのデータを演算することにより、正確な鉄輪中心接地点座標を算出するシステム（以下「本システム」という。）を用いた。

3.1 静止状態での精度確認

試験MGローラの作業装置位置の測定精度を確認するため、施工開始前の静止状態において精度確認を実施した。真値を測る手法としてトータルステーション（以下「TS」という。）により作業装置の位置座標を計測し、MGローラ側で計算される位置座標と比較することで、差分を算出した。そして、得られた結果が従来の出来形計測手法と同等の要求精度 $\pm 50\text{mm}$ 以内を満たしているか確認した。

3.2 走行状態での精度確認試験

MGローラの施工履歴データの出来形精度を確認するため、実施工を模した試験施工を実施し、施工履歴データを取得した。真値を測る手法としてTSにより施工後の出来形計測を行い、比較することで差分を算出した。そして、得られた結果が従来の出来形計測手法と同等の要求精度 $\pm 50\text{mm}$ 以内を満たしているか確認した。



写真-1 静止状態での精度確認実施状況

表-1 静止状態での精度確認試験結果

左鉄輪接地点			
	Δx	Δy	Δz
AVG	-11mm	+7mm	+5mm
σ	1mm	2mm	3mm
$ AVG +2\sigma$	14mm	10mm	12mm
基準	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$

右鉄輪接地点			
	Δx	Δy	Δz
AVG	-8mm	+5mm	+13mm
σ	2mm	2mm	5mm
$ AVG +2\sigma$	12mm	9mm	22mm
基準	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$

合算			
	Δx	Δy	Δz
AVG	-9mm	+6mm	+9mm
σ	2mm	2mm	5mm
$ AVG +2\sigma$	14mm	10mm	20mm
基準	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$

3.3 TLSを用いた面的な出来形計測結果との比較

既に要領化されている手法であるTLSを用いた出来形評価結果と比較し、施工履歴データの面的な出来形評価結果の有効性を確認した。

4. 検証結果

4.1 静止状態での精度確認試験結果

重機を静止した状態で本システムから算出される左右の鉄輪接地点の座標値と、TS等光波方式で計測した座標値との較差を算出し、要求精度の水平・鉛直方向（ Δx 、 Δy 、 Δz ）各 $\pm 50\text{mm}$ 以内であることを確認した。実施手順は以下のとおりである。

手順1. 重機を任意の場所で静止。

手順2. 鉄輪接地点（左側）のシステム出力座標を取得し、同時に座標をTSで計測。

手順3. 重機を任意の場所に移動。

手順4. 手順2、手順3を繰り返し左側10点計測。

手順5. 右側の鉄輪接地点を対象に手順2、手順3、手順4を実施。

手順6. 合計20点の検測箇所精度を検証。

静止状態での精度確認試験結果を表-1に示す。試験の結果、出来形管理に求められる要求精度（平均誤差 $+2 \times$ ばらつき $< \pm 50\text{mm}$ 以内）を満足

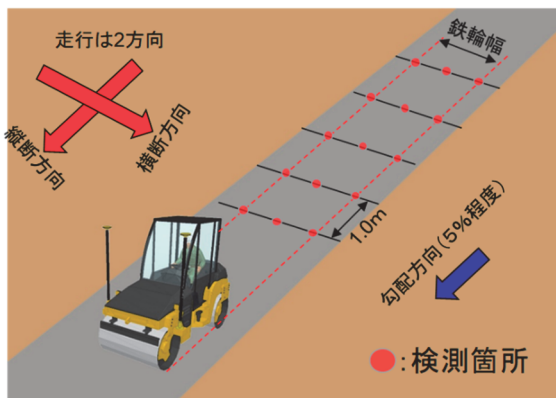


図-3 鉄輪センター検測イメージ



写真-2 走行状態での精度確認実施状況

していることが確認できた。

4.2 走行状態での精度確認試験結果

転圧ローラを直進走行させ、本システムから出力する鉄輪の両端およびセンターの座標とTSで計測した座標との較差を算出し、鉛直方向が±50mm以内であることを確認した。システム出力座標はTSで取得した座標の近傍点を使用した。なお、試験ヤードは1面を20×25mとして4面を造成し、実際の転圧作業を想定して縦断方向に5%程度の勾配を設けた。実施手順は以下のとおりである。

- 手順1. 試験ヤードの勾配（5%程度）に対して縦断方向に鉄輪端部を明示したレーンを作成。
- 手順2. レーンに沿って転圧ローラを走行し、システムから出力する座標を取得。
- 手順3. TSを用いて鉄輪の両端およびセンターの座標を1m間隔で計測（右端部20点、左端部20点、センター20点の合計60点）。
- 手順4. 試験ヤードの勾配に対して横断方向のレーンで手順2、手順3を実施。
- 手順5. 合計120点の検測箇所で精度を検証。

精度検証した結果を表-2に示す。いずれの条件においても出来形管理に求められる要求精度（平均誤差+2×ばらつき<±50mm以内）を満足していることが確認できた。

4.3 TLSを用いた面的な出来形計測結果との比較

本システムを用いて盛土面の出来形計測の一連の流れを試験的に実施した。試験ヤード内を転圧後に、地盤面をTLSで計測した点群データと、本システムより出力した点群データを仮の設計面と比較して出来形を評価した。実施手順は以下の

表-2 走行状態での精度確認試験結果

<横断勾配5%の場合>		<縦断勾配5%の場合>		<合算>	
左鉄輪接地点		左鉄輪接地点		左鉄輪接地点	
Δz		Δz		Δz	
AVG	+1mm	AVG	-6mm	AVG	-2mm
σ	8mm	σ	9mm	σ	9mm
$ AVG +2\sigma$	17mm	$ AVG +2\sigma$	24mm	$ AVG +2\sigma$	20mm
基準	±50mm	基準	±50mm	基準	±50mm
中央鉄輪接地点		中央鉄輪接地点		中央鉄輪接地点	
Δz		Δz		Δz	
AVG	-9mm	AVG	-12mm	AVG	-10mm
σ	10mm	σ	9mm	σ	9mm
$ AVG +2\sigma$	29mm	$ AVG +2\sigma$	29mm	$ AVG +2\sigma$	29mm
基準	±50mm	基準	±50mm	基準	±50mm
右鉄輪接地点		右鉄輪接地点		右鉄輪接地点	
Δz		Δz		Δz	
AVG	-16mm	AVG	-5mm	AVG	-11mm
σ	12mm	σ	10mm	σ	13mm
$ AVG +2\sigma$	41mm	$ AVG +2\sigma$	25mm	$ AVG +2\sigma$	36mm
基準	±50mm	基準	±50mm	基準	±50mm

とおりである。

- 手順1. 1区画全域を転圧ローラで4回転圧
- 手順2. 転圧完了後に試験面をTLSで計測し仮の設計面を作成
- 手順3. システムで取得した点群の最下点をフィルタリングにて処理
- 手順4. 仮の設計面とフィルタリング処理後の点群を用いてヒートマップ作成

本システムとTLSとの面的な出来形計測結果をヒートマップ表示で比較した結果を図-4に示す。なお、ヒートマップ中の色は、離れの計算結果の規格値に対する割合を示している。本システムで計測した出来形のヒートマップは、既存要領で使用が認められているTLSによって計測したヒートマップと同様の計測結果となっているため、本技術が面的な出来形管理手法として適切であることが確認できた。また、TLSを用いて実施した面的な出来形計測・点群処理・出来形評価に要した時



写真-3 転圧状況

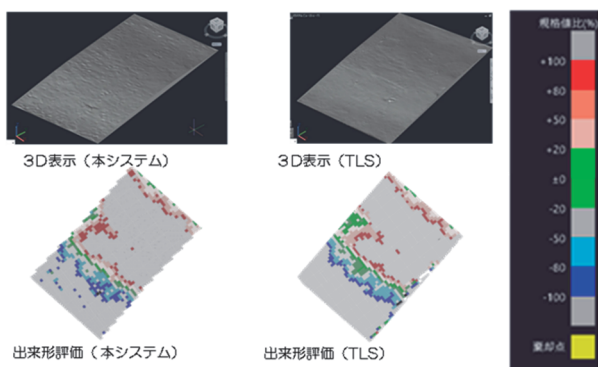


図-4 面的な出来形計測結果の比較

間と、本システムで計測し施工履歴データを用いた点群処理・出来形評価に要した時間を比較すると、120分から50分まで短縮され、工事期間の短縮も期待できることが確認できた。

5. 結論

MGローラの施工履歴データを用いた土工の出来形管理について、現場における出来形計測精度検証実験の結果より、本システムは縦断勾配5%、横断勾配5%の条件下においても、面的な出来形管理の要求精度の目安となる「平均誤差+2×ばらつき $\pm 50\text{mm}$ 以内」を満足していた。また、施工履歴データとTLSの面的な出来形計測結果についても同程度の結果となった。本結果等を踏まえ、2022年3月に、MGローラの施工履歴データを土工の出来形計測手法の一つとして位置付けた。

今回要領化した本技術について、今後はフォローアップ調査等を実施し、実施工現場における活用状況や改善点の把握に努めたい。

参考文献

- 1) i-Construction～建設現場の生産性革命～、2016年4月
<https://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- 2) 中央建設業審議会（2021年10月15日開催）資料
- 3) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）、2022年3月
- 4) マシンコントロール／マシンガイダンス技術（バックホウ編）の手引書【発注者用】、2018年2月

日出山 慎人



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室 研究官、現 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室 機械保全係長
HIDEYAMA Shinto

小塚 清



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室 主任研究官
KOZUKA Kiyoshi

山下 尚



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター 社会資本施工高度化研究室長
YAMASHITA Hisashi