

地上移動体搭載型レーザースキャナーによる 舗装工事出来形管理の効率化

国土交通省直轄工事における ICT 舗装の適用事例

下 田 博 文

国土交通省が進める i-Construction のうち「ICT 活用工事（舗装工）」において、地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理を行う際、現地での計測作業や PC を使用した点群処理、帳票作成に多大な時間を要し、施工完了の翌日に検査を受けることが難しかった。そのため次工程の着工までにタイムラグが発生し、施工の連続性を確保できず、工事の生産性向上を図るうえで大きな課題となっていた。そこで面的出来形管理の効率化を目的として『地上移動体搭載型レーザースキャナー』の精度確認と工事への適用性評価に取り組んできた。本報では試験ヤードで実施した計測精度確認結果と、実工事に適用して得られた生産性向上等の導入効果について報告する。

キーワード：i-Construction，生産性向上，地上移動体搭載型，レーザースキャナー，ICT 活用工事，舗装工，面的出来形管理

1. はじめに

国土交通省は、近年の技能労働者の減少に伴う労働力不足や建設産業の低い労働生産性、他産業よりも多い建設現場の労働災害などの社会的な問題を背景に、『一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善』『建設現場に携わる人の賃金の水準の向上を図るなど魅力ある建設現場に』『死亡事故ゼロを目指し、安全性の飛躍的向上』を目的に i-Construction の推進に取り組んでいる。この i-Construction の中でも柱といわれる施策の一つに「ICT*の全面的な活用」が挙げられており、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場の創造を目指している。2016 年から導入された ICT 活用工事（土工）においては大きな成果（生産性向上）が報告されている。しかし、翌年の 2017 年度から導入された ICT 活用工事（舗装工）については、求められる出来形精度が高いことなどから地上型レーザースキャナー（以下、TLS）の有効計測範囲が限られるため頻繁な据替作業が必要となり、さらに計測した 3D 点群データの合成・解析にも多大な時間を要するなど、生産性向上を図るうえで解決すべき大きな課題があった。

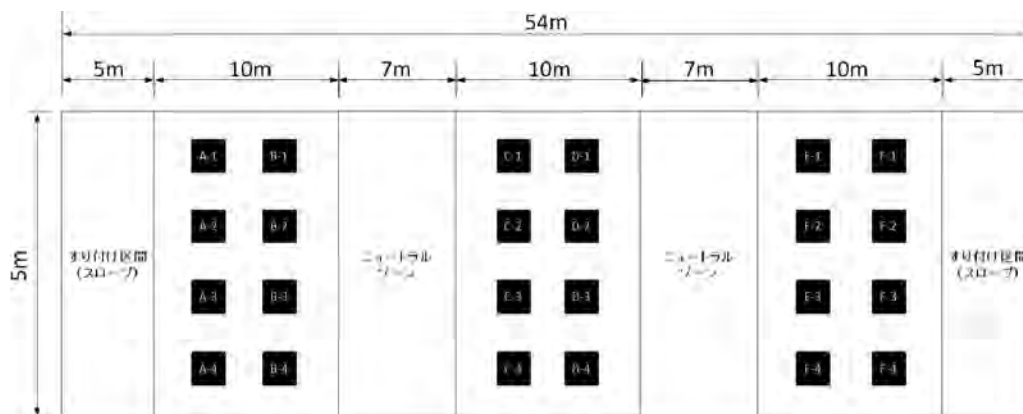
これらの課題を解決し施工完了の翌日に検査を受け次工程へのスムーズな移行（施工の連続性の確保）を行うため、計測作業および計測した 3D 点群データの合成・解析作業の効率化・省力化による面的出来形管

理の生産性向上を目的とした地上移動体搭載型レーザースキャナー（以下、地上移動体搭載型 LS）の適用性評価にいち早く取り組んできた。本報では試験施工ヤードで実施した計測精度確認結果と四国地方整備局発注の ICT 活用工事（舗装工）である「平成 29 年度 州津舗装工事」に適用して得られた生産性向上等の導入効果について報告し、起工測量時の不陸走破性向上のために実施した機器の改良結果を紹介する。

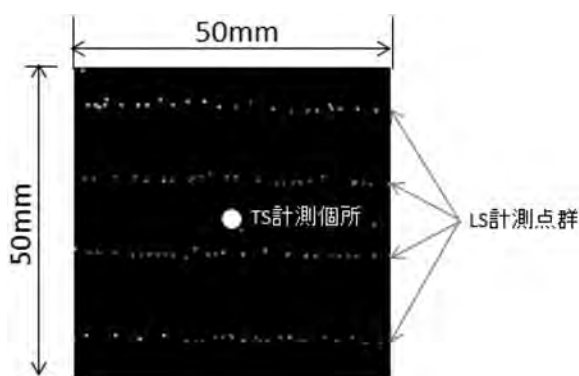
※ ICT：Information and Communication Technology

2. 地上移動体搭載型 LS の概要

今回、適用性を評価した地上移動体搭載型 LS の仕様を表 1 に示す。地上移動体搭載型 LS は、レーザースキャナーを手押しの台車に固定し、慣性計測装置：Inertial Measurement Unit（以下、IMU）と 360°プリズムを組み合わせたものであり、横断方向のスキャンを行いながら走行させることで面的な計測データを得るものである（写真 1，2）。点群の合成方法は、図 1 のように別途設置したトータルステーション（以下、TS）により計測したスキャナーの走行軌跡に、IMU データより算出したその時々スキャナーの姿勢（傾き）に合わせて、スキャニングした点群を合成するものである。



図一 試験施工ヤード



図二 計測箇所 (TS1点, LSは点群の平均値)

(2) 計測精度確認試験結果

砕石路盤およびアスファルト安定処理路盤の施工完了後の出来形計測結果の比較表を表一 2, 3に示す。砕石路盤においては、TSと地上移動体搭載型LSとの計測誤差は平均で+4 mm、標準偏差は2 mmであり、アスファルト安定処理路盤においては、平均で-2 mm、標準偏差1 mmであった。これより、地上移動体搭載型LSは舗装工(砕石路盤, アスファルト安定処理路盤)の出来形管理に十分適用できる計測精度を有していることを確認した。

4. ICT 活用工事 (舗装工) 対象工事での検証

(1) 工事概要および計測方法

検証工事は、四国地方整備局発注のICT活用工事(舗装工)である「平成29年度 州津舗装工事」であり、トンネル、橋梁、土工部を含む延長約1,000 mの舗装工事のうちの土工部500 m(舗装面積: 4,200 m²)をICT活用の対象範囲とした(図一 4)。管理する層は起工、下層路盤、上層路盤(As 安定処理)、基層の全4層とした(隣接工事の工事用道路も兼ねるため、本工事は基層までの発注)。

本工事の出来形管理は、「地上型レーザースキャナー

を用いた出来形管理要領(舗装工事編)(平成29年3月)」に則り実施し、並行して発注者の承諾を得たうえで地上移動体搭載型LSを用いた出来形管理を行い、生産性向上効果や計測精度の比較を実施した。

なお、図一 4には下層路盤工の出来形管理にTLSを用いた場合と地上移動体搭載型LSを用いた場合の

表一 2 砕石路盤における計測精度比較 (m)

地上移動体搭載型 LS	TS	地上移動体搭載型 LSとTSの差
8.489	8.485	0.004
8.484	8.477	0.007
8.488	8.483	0.005
8.491	8.484	0.007
8.501	8.496	0.005
8.500	8.498	0.002
8.505	8.504	0.001
8.504	8.502	0.002
8.519	8.513	0.006
8.519	8.517	0.002
8.518	8.512	0.006
8.519	8.515	0.004
8.518	8.515	0.003
8.519	8.512	0.007
8.518	8.516	0.002
8.522	8.520	0.002
8.520	8.521	-0.001
8.521	8.518	0.003
8.523	8.517	0.006
8.521	8.517	0.004
8.516	8.513	0.003
8.519	8.520	-0.001
8.520	8.514	0.006
8.521	8.516	0.005
平 均		0.004
標 準 偏 差		0.002

表-3 加熱アスファルト安定処理路盤における計測精度比較 (m)

地上移動体搭載型 LS	TS	地上移動体搭載型 LSとTSの差
8.717	8.717	0.000
8.716	8.718	-0.002
8.723	8.724	-0.001
8.728	8.728	0.000
8.724	8.725	-0.001
8.720	8.720	0.000
8.724	8.725	-0.001
8.727	8.729	-0.002
8.721	8.725	-0.004
8.718	8.722	-0.004
8.721	8.723	-0.002
8.722	8.724	-0.002
8.720	8.722	-0.002
8.716	8.718	-0.002
8.720	8.721	-0.001
8.723	8.725	-0.002
8.722	8.727	-0.005
8.716	8.720	-0.004
8.721	8.724	-0.003
8.724	8.726	-0.002
8.719	8.723	-0.004
8.716	8.720	-0.004
8.714	8.717	-0.003
8.719	8.722	-0.003
平均		-0.002
標準偏差		0.001

TLS および地上移動体搭載型 LS 用 TS の設置位置を記載している。

レーザースキャナーによる計測では、計測器から遠方になるほど、レーザーの入射角が小さくなるほど、計測精度が低下することが知られている。そのため、TLS による出来形管理では、規定の測定精度（計測対象層によって変化）を満足する範囲内しか計測できず、さらに図-5 のように TLS の真下が計測できないため、図-6 に示すように未計測箇所を計測可能範囲（路盤工で半径 60 m、アスファルト舗装で半径 40 m 程度）で補完するように TLS を据え替える必要があった。一方、地上移動体搭載型 LS による出来形管理では、レーザースキャナーからの計測距離は最大でも幅員の広さ（10 m 以下）までであり、十分な精度を確保できるため、計測精度は地上移動体搭載型



図-5 TLS で計測した点群データ

No. 367+0~373+16, 376+10~395+0 延長：約 500m 面積：約 4,200m²

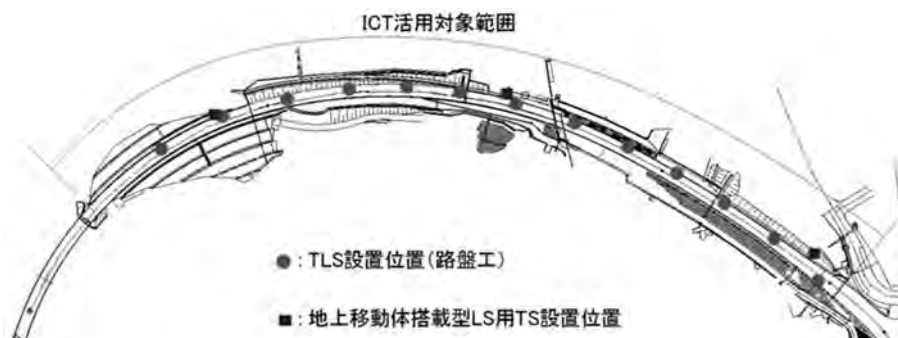


図-4 面的出来形管理対象エリア平面図

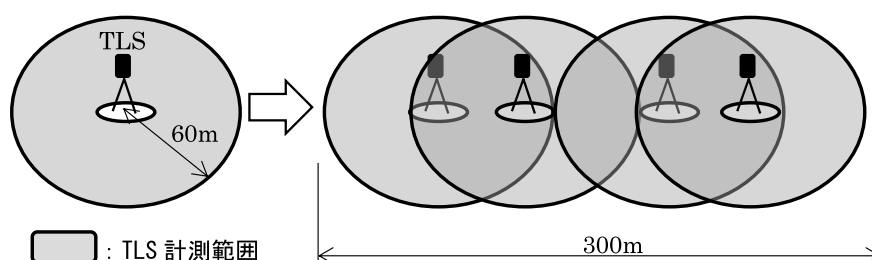
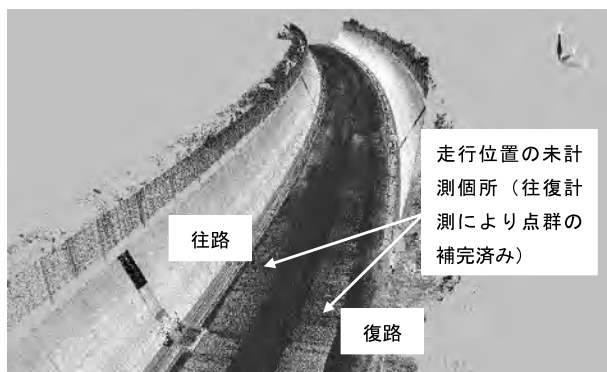
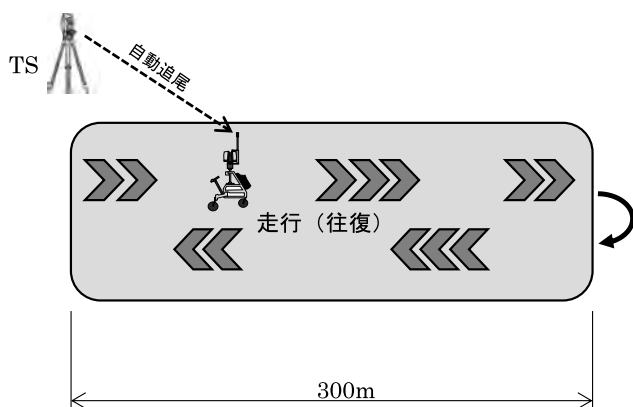


図-6 TLS 計測範囲と未計測箇所（機械点）の補完例



図一七 地上移動体搭載型LSで計測した点群データ



図一八 地上移動体搭載型LSによる計測例

LSの軌跡を計測するTSの精度に依存し、今回は一級トータルステーション(MS60)を使用したため、TSから半径300mを計測範囲とした。ただし、図一七のように地上移動体搭載型LSも自身の真下は計測できないため、走行位置をずらして往復して計測し走行位置(未計測箇所)を補完した(図一八)。

(2) 生産性向上効果

TLSおよび地上移動体搭載型LSを用いた出来形管

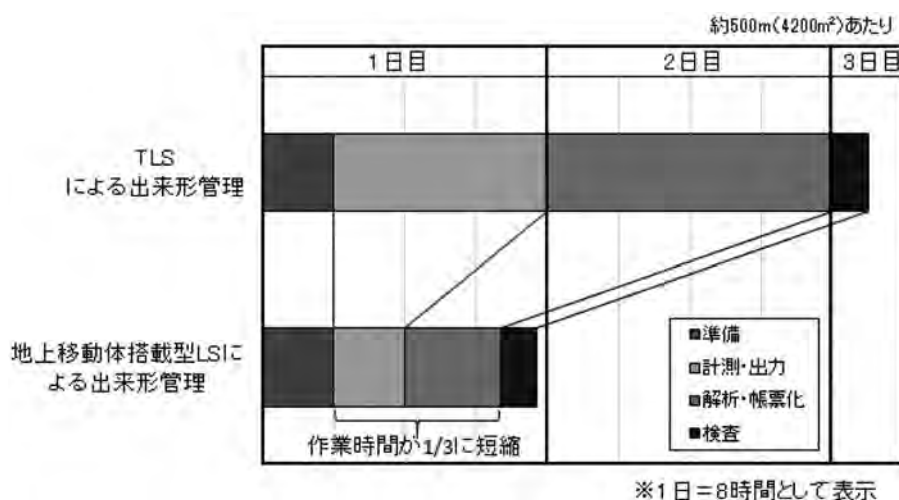
理(準備～計測・出力～解析・帳票化～検査)に要した時間を各層あわせて平均化したものを図一九に示す。ここでいう準備とは、計測前のレーザースキャナーの精度確認試験及び現地での基準点の確認作業をさし、どちらの計測方法をとった場合も一様に2時間程度を要する作業である。

計測・出力については、前述のようにTLSでは計測・据替作業の繰り返しが多く延長500mを計測するのに13箇所での計測とその回数分の出力作業が必要であり多大な手間と時間を要していた。一方、地上移動体搭載型LSでは、計測器追尾用TSの据替回数は3回で計測可能であり、点群の出力は往復で6回となりTLSを用いた場合と比べ作業時間を約1/3に短縮できることが確認された。

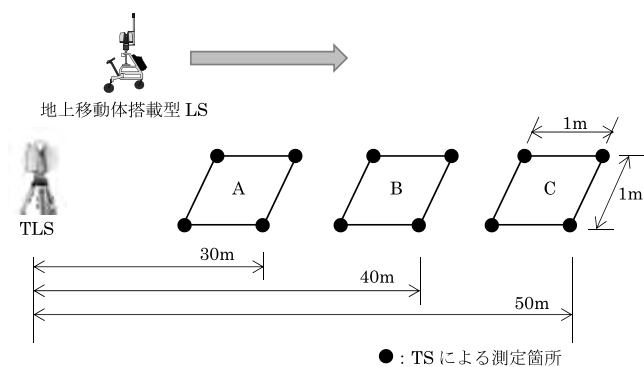
解析・帳票化については、TLSを用いた場合はそれぞれの計測データ容量が大きく、各計測点群の合成や解析に多大な時間がかかり、地上移動体搭載型LSを用いた場合は合成する点群が少ないことと専用解析ソフトを用いることにより作業時間をこちらも約1/3に短縮できることが確認された。これにより、地上移動体搭載型LSを用いることによって、TLSによる出来形管理を行う上で問題であった計測作業から解析作業に時間がかかり施工の連続性が確保できないという点を解決でき、施工完了の翌日に検査を受けることが可能となる。

(3) 地上移動体搭載型LSとTLSとの計測精度比較

基層工完了時において、TLS設置位置からの距離が30m、40m、50mの地点に1m角の計測箇所A、B、Cを設け、その4隅をTSで計測しその平均高さをその測定箇所の代表高さとして、地上移動体搭載型LSおよびTLSにより計測した点群の平均値と比較し



図一九 出来形管理に要する時間の比較



図一10 計測精度比較試験

た（図一10）。

比較結果を表一4に示す。これより、TLSは計測距離が長くなるほど精度が下がることが確認され、地上移動体搭載型LSでは計測箇所による誤差の変化は見られなかった。また、「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領」では、計測対象層毎に許容精度が定められておりその精度を満足する範囲をTLSによる出来形計測可能範囲としている。基層工においては、鉛直方向の測定精度は ± 4 mm以内とされているため、TLSを用いた基層の出来形計測は半径40 m以内として器械を据え替えながら計測した点群を合成して、出来形管理を行った。

そうして得られた基層工の出来形評価用データ（計測した点群データから 1 m^2 に1点の代表値を算出したもの）と地上移動体搭載型LSによって計測された出来形評価用データの標高較差を比較すると標高較差の平均値は0 mm、標準偏差は5 mm（データ数：約4,200点）であった（図一11）。これらより、地上移動体搭載型LSによる出来形計測方法は、国土交通省の定めたTLSによる出来形計測方法と比較して遜色

ない計測精度を確保でき、ICT活用工事（舗装工）の出来形管理に十分適用できることが確認できた。

5. 地上移動体搭載型LSの走行性能改良

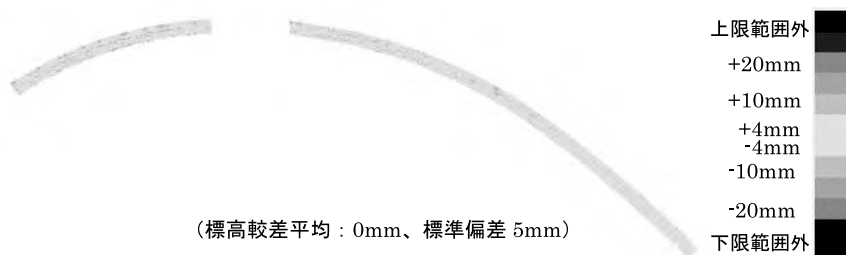
地上移動体搭載型LSは、現場状況によっては起工測量時に路面の凹部に車輪が埋まることがあり、そのことが原因でスムーズな計測ができない、計測した点群データに抜けが発生するといった問題が発生した（写真一3）。そのため、従来は車輪径200 mm、幅50 mmである前輪を、車輪径250 mm、幅70 mmに変更しさらに二輪（写真一4）に改良し、中央部にヒンジ構造を採用することで凹凸のある表面上での走破性の向上を図った。試験ヤードでの確認試験の結果、80 mmの凹部および凸部を通過（片輪）する際にも問題なく走行可能であり、新たに設けたヒンジ構造により計測器本体の揺れを大幅に抑えることができ、スムーズな点群データの計測も可能であることを確認した。



写真一3 計測中の脱輪

表一4 計測精度比較

計測箇所	TS 測量	TLS		地上移動体搭載型 TLS	
	標高	標高	TS との差	標高	TS との差
A (30 m)	114.277 m	114.275 m	-0.002 m	114.277 m	0.000 m
B (40 m)	113.733 m	113.729 m	-0.004 m	113.731 m	-0.002 m
C (50 m)	113.155 m	113.148 m	-0.007 m	113.153 m	-0.002 m



図一11 TLSと地上移動体搭載型LSの標高較差のヒートマップ



写真—4 前輪の改良

改良後に起工測量に適用した工事では、従前のような不具合の発生もなく良好な結果が得られている。

6. おわりに

地上移動体搭載型 LS を用いた出来形管理方法は、実工事においても舗装工の出来形管理に適用可能な精度を有し、面的出来形管理の生産性を大きく向上させるものであることが確認できた。また、地上移動体搭載型（現地を走行しながら計測）であるが故の問題点であった走行性能についても、タイヤ径及び幅の増大と二輪構造に改良することによって改善が図れたことを報告した。

現在使用している計測機器やソフトは非常に高価なものであるため、購入費やリース価格、市場台数の少

なさが工事適用への大きなハードルとなっている。しかし、今年度から地上移動体搭載型 LS を用いた出来形管理方法が正式に国土交通省の出来形管理要領に追加されたことにより、ますます適用工事が増加するものと思われ、それにより機器の普及、低廉化やリース器械の活用増加による導入費用低減と市場台数の増加により機器確保が容易になることが期待される。

これまでレーザースキャナー（地上型、地上移動体搭載型ともに）を用いた面的出来形管理においては、計測後に点群解析・帳票作成を実施しなければ出来形の合否判定ができなかったが、今後は更なる計測作業の効率化や複雑な解析作業の簡素化、半自動化を進めることによって計測直後の迅速な合否判定や実地検査への対応を可能とするなど維持修繕工事への適用も視野に入れた技術開発にも力を入れていく。その上で工事全体の最適化を図るため、他の ICT 技術と組み合わせた総合的な施工管理システムを構築し、生産性向上や省力化による働き方改革の実現を目指す所存である。

J C M A

【筆者紹介】

下田 博文（しもだ ひろふみ）
鹿島道路㈱
生産技術本部 ICT 施工推進室
担当課長

