



建設機械搭載型レーザスキャナの開発 および舗装の BIM/CIM への活用

前田道路(株) 技術研究所 加藤 康弘
 法政大学 デザイン工学部 今井 龍一
 三菱電機エンジニアリング(株) メディアシステム事業所 平 謙二
 大阪経済大学 情報社会学部 中村 健二
 摂南大学 経営学部 塚田 義典

1 はじめに

舗装は材料を変えながら何層も積み重ねて構築する道路構造物であり、層ごとに出来形管理などの施工管理を行い、必要に応じて発注者の現地臨場が行われる。平成29年度に規定されたICT舗装工の面管理では高性能・高価な地上設置型のレーザスキャナ(以下、LS)や地上移動体搭載型LSが用いられているが、これらによる計測や解析には時間や費用がかかっているのが現状である。そのため、次工程に速やかに移行したい路盤工などの中間工程の面管理は積極的に実施されていない。

一方、国土交通省は2023年度までに小規模工事を除くすべての公共工事でBIM/CIMの原則適用化の方針を決定しているが、「ICTの全面的な活用を推進する工種」として挙げられているものの、「BIM/CIM活用を推進する対象」となっていない。

筆者らは、2017年から舗装各層の仕上げ作業に用いる建設機械(タイヤローラ)にLSなどの装置を搭載して面管理に必要な3次元データを効率的に計測し、さらに計測から短時間で出来形の合否判定ができる「建設機械搭載型LSによる出来形管理システム」(以下、本技術)の開発に取り組ん

できた^{1)~3)}。現場試行の結果、本技術の導入により計測や解析の所要時間の大幅な低減、舗装全層への面管理の適用、遠隔臨場での活用、舗装各層の3次元データのBIM/CIM活用などの効果が得られたため、ここに報告する。

2 本技術の概要

2-1 システム構成

本技術のシステム構成の概念図を図-1に示す。主な構成は建設機械搭載型LS、制御およびデータ処理用のパソコン、自動追尾型トータルステーション(以下、TS)、Wi-Fiアクセスポイント、およびクラウドシステムである。

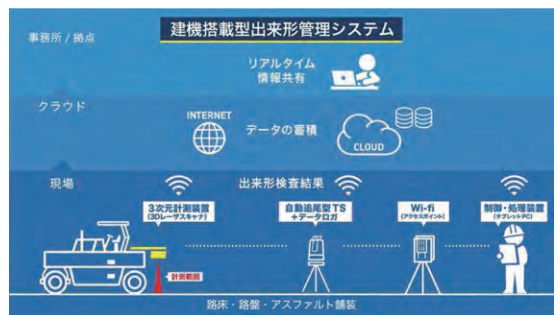


図-1 システム構成の概念図

表-1は建設機械搭載型LSの性能を示したものである。レーザスキャナは走行方向に対して横断形状をラインスキャンで計測する方式であり、レーザスキャナの設置高さや計測時の機械の走行速度によって計測密度が異なる。計測時の走行速度は、国土交通省の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)令和3年3月」(以下、管理要領)に規定された計測密度(0.01 m²あたり1点以上)を確実に満足する程度を検討した結果、計測時の走行速度は2.5km/h以下と設定した。

表-1 建設機械搭載型LSの仕様

項目	仕様
製造メーカー	三菱電機エンジニアリング株式会社
測距方式	パルス方式 (Time of Flight)
測定範囲	横断方向：装置直下を中心とした4m 縦断方向：80m (TSの追尾性能による)
測定密度	横断方向：4mm 以下 縦断方向：計測速度による
計測精度	鉛直方向：±4mm 以下 (1σ)
内蔵機能	高性能IMU、GNSS、無線LAN
寸法 (mm)	W110 × H121 × D224
耐環境	IP43

また、舗装工の中間工程では施工完了後速やかに次工程へ移行したいため、面管理であっても従来の出来形管理と同程度の所要時間でいえることが望ましい。そこで本技術は、出来形判定および遠隔での結果共有を計測後1時間以内に行えることを目標とした。

2-2 計測プロセス

本技術による計測のプロセスを図-2に示す。

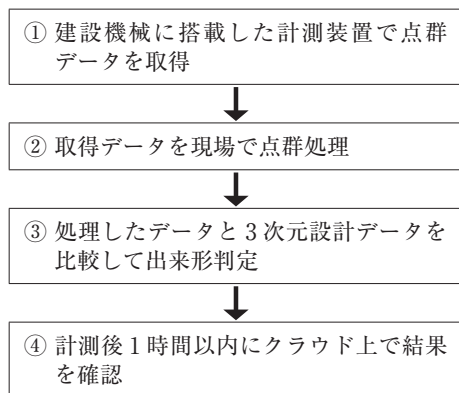


図-2 計測のプロセス

① 3次元点群データの取得

図-3に示すように舗装各層の仕上げ作業後にタイヤローラに搭載した建設機械搭載型LSで路面の3次元点群データを取得する。この際、建設機械搭載型LSをTSで測位することで計測データの補完(鉛直方向の精度確保)を行う。



図-3 本装置のレイアウト例

② 取得データの現場での点群処理

取得した3次元点群データをWi-Fi経由で現場のPCに送信し、専用のソフトを使ってノイズ処理や密度調整、座標変換などの点群処理を行い、出来形評価用データを作成する。

③ 出来形評価用データによる出来形判定

同じソフトを使って出来形評価用データと3次元設計データの較差(単位面積における高さの差)を示したヒートマップ(出来形分布図)を表示させ、面管理による出来形評価を行う。

④ 計測後1時間以内にクラウド上で結果を確認

処理後のデータをWi-Fi経由でクラウド上のアプリケーションにアップロードすることで、現場から離れた場所からでもWebブラウザを使って結果を確認できる。

3 本技術の検証

本技術は、開発の基礎段階として仕様や性能および機器構成の検討を行い、構内テストにより計測システムの実現化を図った。その結果、計測システムの鉛直方向の計測精度が管理要領に定められた路盤工の基準(±10 mm)を満足することが確認できたため、まずは路床工・路盤工を対象として現場による試行を行った。

3-1 路床路盤への適用性の検証

(1) 工事概要

路床工および路盤工を対象とした試行は2020年度に実施し、表-2に示した新設の舗装工事2現場のうち表層がアスファルト舗装である舗装構成の区間を選定して路床・路盤の仕上がり後に計測を行った。なお、計測に際して精度確認試験を行い路盤工に求められるすべての要求精度を満足していることを確認した。

表-2 路床工・路盤工への本技術の試行を行った工事概要

項目	内容
工事名	① 富沢地区舗装工事 ② 掛田トンネル外舗装工事
発注者	東北地方整備局 福島河川国道事務所
受注者	前田道路株式会社 東北支店
施工場所	① 福島県伊達市 ② 福島県伊達市
主要工種	① As舗装工 11,570m ² ② Co舗装工 8,140m ² , As舗装工 7,888m ²

(2) 計測結果

① 3次元点群データの取得

本技術を用いて取得した路床工の仕上がり面の計測状況を写真-1に、取得した3次元点群データを図-4に示す。1回の計測で取得した点群データの範囲は延長71mであり、計測に要した時間は事前準備を除いて5分程度であった。



写真-1 路床工の計測状況

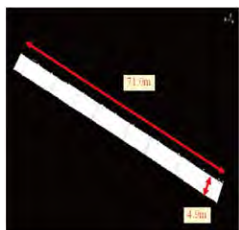


図-4 取得した点群データ



図-5 点群処理後の点群データ

なお、管理要領で規定されている10 cm角に1点以上のデータを取得できていることを確認した。

② 取得データの現場での点群処理

取得した点群データをパソコンの専用ソフトにより点群処理(ノイズ処理、密度調整、座標変換など)を行った結果が図-5である。計測後にパソコンへデータ転送し、点群処理の終了までに要した時間は15分程度であった。

このデータは10 cmメッシュに1点となるようデータ処理したものであり、管理要領に示された出来形評価に必要な点群密度を満足している。

③ 出来形評価用データによる出来形判定

得られた出来形評価用データと3次元設計データとの較差を評価したヒートマップを現場のパソコンで表示させたものが図-6である。このヒートマップ表示までに要した時間は5分程度であった。

なお、図-6は本技術の検証用として10 cmメッシュという細かな単位で出来形評価を行ったものであるが、管理要領に示されている出来形評価は1mメッシュの単位で行う。

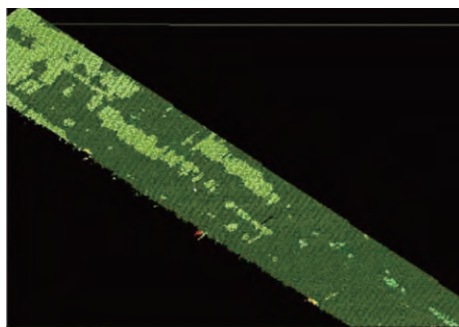


図-6 現場でのパソコンによるヒートマップの表示例

④ 計測後1時間以内にクラウド上で結果を確認

出来形評価用データをWi-Fi経由でクラウド上のアプリケーションにアップロードし、Webブラウザにより結果表示をさせたものが図-7である。クラウドへのデータアップロードからブラウザ表示までに要した時間は30分程度であった。また、現場から離れた事務所からでも出来形評価結果を見ることができていることを確認した。

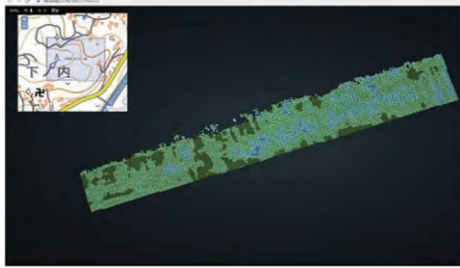


図-7 Web ブラウザによるヒートマップの表示例

(3) 計測データに関する考察

① 従来技術との比較

本技術との比較を目的に、試行時は従来技術として地上設置型LSによる計測も併せて行った。両技術による面管理による出来形管理結果の例を図-8に示す。その結果、本技術と従来技術の出来形管理資料のヒートマップおよび測定数値はほぼ同程度であり、本技術は従来技術と同程度の測定性能を有していることを確認した。

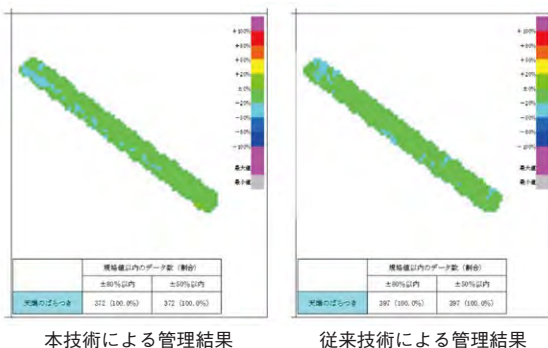


図-8 各計測技術によるヒートマップの比較

② 面管理の結果共有までの所要時間

表-3は点群計測後からWebブラウザで結果を確認できるまでの所要時間を示したものである。今回の試行で測定した所要時間は30分であり、目標とする60分以内を達成している。その結果、本技術はリアルタイムな出来形管理システムとして有用なことを確認した。

表-3 計測終了からデータ共有までの所要時間

項目	所要時間(分)
取得したデータの点群処理	15
処理したデータによる出来形判定	5
出来形判定をクラウド上で共有	10
合計(目標60分以内)	30

3-2 アスファルト舗装工への適用性の検証

2020年度は路床・路盤工への本技術の適用性について検討した。2021年度は、計測性能を向上させたLSを用いてアスファルト舗装工(表基層)の基準(鉛直方向の計測精度 ± 4 mm)への適用性について現場試行を行った。

(1) 工事概要

アスファルト舗装工を含む舗装全層を対象とした試行現場は表-4に示す舗装改築工事である。計測に際し精度確認試験を行い、要求精度を満足していることを確認した。計測状況を写真-2に、試験結果を表-5に示す。

表-4 舗装全層への本技術の試行を行った工事概要

項目	内容
工事名	河辺地区道路改良舗装工事
発注者	東北地方整備局 秋田河川国道事務所
受注者	前田道路株式会社 東北支店
施工場所	秋田県秋田市
主要工種	As 舗装工 4,693m ² 舗装構成：路床、下層路盤(クラッシュラン)、上層路盤(粒度調整碎石)、上層路盤(As安定処理)、基層(再生粗粒度As)、表層(再生密粒度As改質)



写真-2 アスファルト舗装面の精度確認試験状況

表-5 精度確認試験結果(アスファルト舗装面)

対象	項目	判定基準	検査結果	可否
検査面	点密度	100点以上	100点	合格
	平均高さ	± 4 mm以下	-0.2mm	合格
(最大: 5.8mm、最小: -6.0mm、 σ : 2.7mm)				
検証点	距離誤差	10mm以下	1.4mm	合格

(2) 計測結果

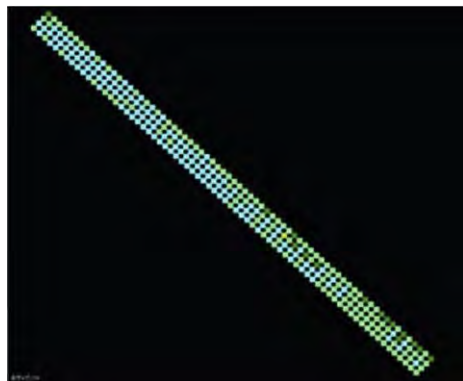
性能向上させた本技術を用いて路床工から表層工までの全6層を対象に仕上がり面の計測を行っ

た。計測状況を写真－3に示す。前年度の検証と同様に、本技術は舗装全層の3次元点群データの取得、現場での点群処理、出来形判定(図－9)およびクラウドでの結果確認のすべてにおいて適用できることを確認した。

また、従来技術(地上設置型LS)と同等の面管理による出来形管理ができることを確認した。



写真－3 舗装全層の計測状況



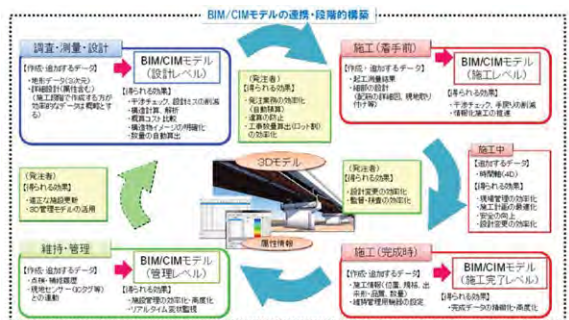
図－9 パソコンによるヒートマップ表示

3-3 計測データのBIM/CIM活用方法の検討

BIM/CIMとは、3次元の形状情報(3次元モデル)に加え、構造物やその構成部材などの形状、物性や物性値(強度等)など付与可能な情報(属性情報)と補足資料(参照資料)を併せ持つ情報モデル(BIM/CIMモデル)を構築すること、およびそのBIM/CIMモデルの情報を管理・活用することと

定義され、その概念は図－10のようである⁵⁾。

道路分野のBIM/CIM活用はトンネルや橋梁への事例が多いものの、ICT活用工事や情報化施工で3次元データの利活用が多い舗装では事例が少ないのが現状である。一方、本技術はICT舗装工で任意項目である舗装中間層の面管理を従来技術と比べて短時間で効率的に実施でき、そのデータはクラウドで保管できる。これらのデータは図－10の概念のうち表－6に示す各段階のBIM/CIMモデルの3次元データに該当する。そこで、本技術で取得したデータのBIM/CIM活用方法について検討した。



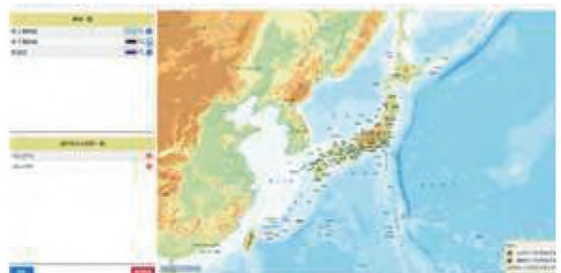
図－10 BIM/CIMの概念⁵⁾

表－6 本技術で取得できる3次元データの種類

段階	BIM/CIMモデル	3次元データ
施工(着事前)	施工レベル	3次元設計データ
施工(施工中)	施工レベル	舗装各層の3次元点群データ
施工(完成時)	施工完了レベル	表層の3次元点群データ

(1) 取得した3次元データのデータベース化

3次元データは緯度経度で管理されているため、本技術では表－6に示した各データは一覧表示したり図－11のように取得位置を地図上で確認できる。



図－11 BIM/CIMデータの地図上での表示例

(2) 施工段階の BIM/CIM モデルの表示機能

次に、地図上に表示された箇所を選択すると、施工段階のデータを図-12のように地図や衛星写真とリンクさせたヒートマップを表示できる。さらに、表示させた任意の位置を選定すると図-13のように選定箇所の表層のヒートマップや舗装各層の縦横断形状を表示できる。

このように本技術は施工段階の BIM/CIM モデルをさまざまな方法で閲覧できることを確認した。

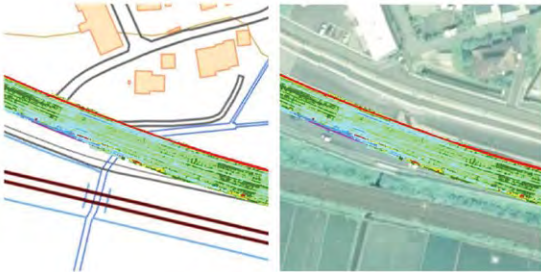


図-12 取得データの地図情報や衛星写真への表示例

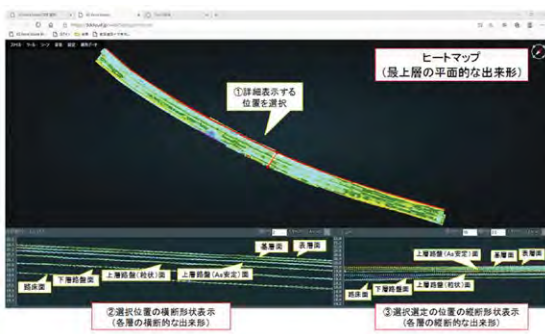


図-13 施工段階の3次元データの任意箇所の表示例

4 本技術の適用効果

現場試行で得られた内容を踏まえて、本技術の ICT 舗装工への適用効果について検討した。

4-1 舗装1層あたりの作業時間の短縮効果

計測やデータ解析に要する作業時間について、従来技術と比較したものが図-14である。路床工4,320m² (L=540m、W=8m)を対象に面管理による出来形管理を各LS(地上型LS、移動体搭載型LS、本技術)で行う場合の作業時間について、国土交通省のICT導入協議会資料⁴⁾に基づき試算した。

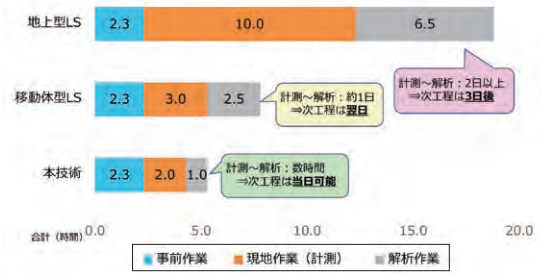


図-14 各計測技術による面管理の所要時間

現地作業からデータ解析に要する時間が地上型LSでは約2日以上、地上移動体搭載型LSでは約1日であるのに対し、本技術は約5時間であった。このことから、本技術の適用により出来形管理に要する時間は地上型LSと比べて72%、地上移動体搭載型LSと比べて32%の省力化が図れることが分かった。また本技術を中間工程に適用すれば、当日中に次工程に移ることも可能なことが分かった。

4-2 計測や解析に要する人員の縮減効果

上記の条件で作業人員について試算すると、図-15に示すように地上型LSでは3.6人、地上移動体搭載型LSでは1.6人であるのに対し、本技術は1.2人となり、地上型LSの66%、移動体搭載型LSの25%の縮減が見込めた。さらに、クラウドを使ったWebによる情報共有により遠隔臨場ができることから、施工管理の効率化として、さらに受注者・発注者それぞれ1人、0.25人の縮減が見込めることが分かった。

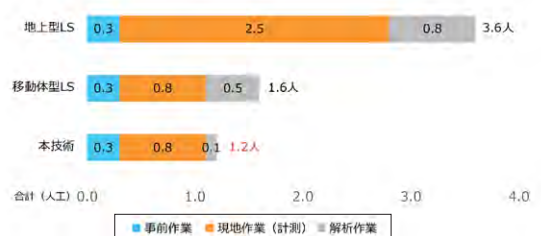


図-15 各計測技術による面管理の所要人員数

4-3 舗装全層への適用による生産性向上

図-14や図-15に示した効果は1層あたりの面管理に対するものである。舗装は路床工から路

盤工、表層工まで同一箇所に対して材料を変えながら何層も積み重ねる道路構造物であり、2021年度の試行により本技術は舗装全層への適用が可能であることを確認した。この現場の舗装構成は図-16に示すように6層であり、本技術を全層に導入した場合、面管理に要する作業時間や作業人員の縮減効果はこれまでに示した試算の6倍の効果が見込め、大幅な施工管理の生産性向上を図ることができる。

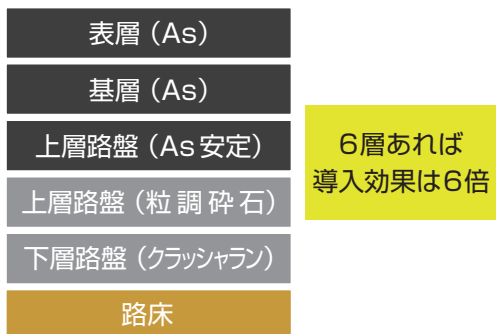


図-16 2021年度に試行した現場の舗装構成

4-4 舗装のBIM/CIM活用効果

図-13に示したように、本技術は施工段階のBIM/CIMモデルがデータベース化されて供用後にも閲覧することができる。そのため、維持管理段階で道路構造物の異常(局所的な陥没など)が発生した場合に、トレーサビリティの確認として活用できる。

さらに、各層の3次元データに属性情報として、例えば各層の使用材料の情報(産地や製造工場)や品質管理結果などを付与すれば、路面の異常膨張など使用材料に起因すると考えられる現象が生じた際にも原因を推定するなど、維持管理段階での活用ができる。

5 まとめ

ICT舗装工における面管理による出来形管理の効率化を目的に、建設機械搭載型のLSシステムを開発し、その実用性を現場試行により検証した。その結果、管理要領に定められた計測性能を満足すること、従来技術と比べて計測や解析作業の生産性向上を図れることが分かった。また、取得したデータを舗装のBIM/CIMに活用する方法を示した。

本技術は国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」に2020年度から2年連続で選定され、現場での試行により実用化を図ることができた。試行内容は共にA評価を得ることができ、さらにその結果を踏まえて令和2年度i-Construction大賞優秀賞を受賞することができた。

現在は1回あたりの計測距離の拡大やソフトウェアのユーザビリティの向上を図っており、早期の社会実装に向けて取り組んでいる。今後も舗装におけるICT活用やBIM/CIM活用の推進に寄与していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 加藤康弘、今井龍一、平謙二：土工・舗装工事の出来形管理のための建設機械搭載型計測装置の開発に関する取組み、第33回日本道路会議、日本道路協会、2019。
- 2) 加藤康弘、今井龍一、平謙二、中村健二、塚田義典：建設機械搭載型レーザスキャナによる遠隔臨場リアルタイム出来形管理システム、第34回日本道路会議、日本道路協会、2021。
- 3) 加藤康弘、今井龍一、平謙二、中村健二、塚田義典：建設機械搭載型レーザスキャナによる出来形管理システムの開発、第4回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」、土木学会建設マネジメント委員会、2022。
- 4) 国土交通省：ICT導入協議会第6回【資料-3】
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html
- 5) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案)、2022。