

(38) 舗装工事における建設機械の施工履歴を用いた 3次元モデルの生成手法の精度検証

松浦 弦三郎¹・今井 龍一²・谷口 寿俊³

¹正会員 東京都市大学大学院 総合理工学研究科建築・都市専攻
(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
E-mail: gmatuura@tcu.ac.jp

²正会員 法政大学准教授 デザイン工学部都市環境デザイン工学科
(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)
E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

³正会員 九州大学大学院助教 工学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)
E-mail: taniguchi@doc.kyushu-u.ac.jp

建設現場におけるマシンコントロール・マシンガイダンスシステムにて使用されている ICT 建設機械では、走行履歴のログデータが取得されている。国土交通省の推進する i-Construction では、このログデータを出来高部分払の算出に適用していることから、今後ログデータの流通の進展が期待できる。

著者らは既存研究にて、ICT 建機のログデータのさらなる有効活用を目指し、ログデータから工事目的物の 3 次元形状の生成可能性を明らかにした。また、GNSS の測位誤差を考慮したログデータの補正処理手法を確立することで、ログデータを用いた出来形管理手法の実現可能性のある知見を得た。本稿では、ログデータの補正手法を考案して既存の 3 次元形状の生成手法に組み込み、試験施工による出来形管理を試行した。その結果、既存の出来形管理に適用できる有用性を明らかにした。

Key Words: Log-data, Shape-management, i-Construction, 3D-model

1. はじめに

我が国では、i-Construction¹⁾の推進により、建設現場の生産性向上を図るため、ICT 建設機械（以下、「ICT 建機」とする。）を用いたマシンコントロール・マシンガイダンス（以下、「MC・MG」とする。）が普及している。ICT 建機は、挙動履歴・走行履歴を 3 次元座標で記録した施工履歴データ（以下、「ログデータ」とする。）を収集・蓄積している。ログデータは、主に土工において出来高を示す土量算出に用いられており²⁾、RTK-GNSS を用いた出来形管理にも適用されている³⁾。また、舗装工の生産性向上を図る目的に必要な 10 の基準類が策定・改定されている。その中で、レーザースキャナを用いた出来形の面管理を導入し⁴⁾、厚さの管理は施工前後の標高の比較で算出することとしている。さらに、表層以外の中間層においてレーザースキャナ以外の機器を活用できるようにする目的で、新設舗装においては TS を用いた厚さ管理が可能となった⁵⁾。

現行の舗装工事の出来形管理では、図-1 のように多くの舗装工事ではトータルステーションおよび地上型レーザースキャナを用いられている。現行の測量器機による計

測方法に加えて、ICT 建機のログデータから構造物の 3 次元形状を生成して活用ができると、出来形管理の計測の省力化が期待される。

既存研究⁶⁾では、図-2 のように出来形管理手法を考案し、舗装工事における転圧機械のログデータから 3 次元モデルの生成可能性を明らかにし、出来形管理への適用可能性を示唆する知見が得られた。しかし、幅員は実測値に対して±200mm の計測誤差が生じていた。この要因は、舗装端部の施工仕上がりが不明確なためである。そのため、仕上げて走行した機械端部の境目と舗装端部の境目との距離の補完に向けて、ICT 建機の諸元および施工状況の調査が必要である。また、ログデータの適用可能性把握の観点から、閾値等による異常値判定を用い

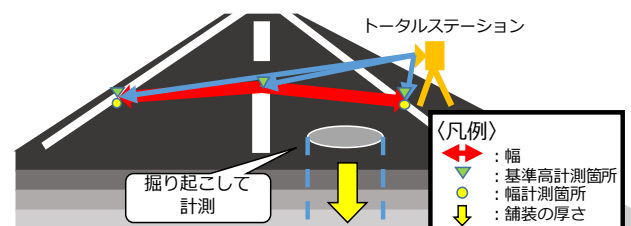


図-1 舗装工事の出来形管理のイメージ

ていなかった。したがって、転圧回数が増すごとに仕上がり面が下がっている懸念がある。さらに、GNSS 精度が良好であったとしても衛星状況に応じてわずかな誤差が生じてしまうことが考えられる。そこで、GNSS の測位誤差を考慮したログデータの補正処理手法の確立が必要であると考ええる。

本研究の目的は既存手法の改良とし、具体的にはログデータの補正処理手法を考案し、既存の3次元モデルの生成手法に組み込む。また、試験施工により実測値との照合検証を実施し、舗装工事の出来形管理への適用可能性を明らかにすることとした。

2. 補正処理手法の考案

既存研究⁶⁾では、ログデータの補正処理手法として、高さ補正および異常点の除去の2種類の手法を採用している。まず、図-3 (A) のように高さ補正としてログデータの高さから GNSS 受信機の高さを差し引くことで、ログデータの高さを地面と同じ高さに補正する。次に、座標値には、図-3 (B) のように GNSS の測位誤差を含む異常値が含まれている。そのため、GNSS の測位精度が低い座標値を異常値として除去するものとした。具体的には、「RTK の FIX 解」であることを示す表-1 の GNSS 測位状況が5 (表-1 の GNSS 精度が5) となっているデータのみを抽出する。

これらの手順に加え、本研究ではさらに2種類の手法を考案し、既存手法に組み込んだ。

(1) 考案手法 1

転圧回数が増すごとに仕上がり面が下がっている可能性がある。この懸念を解消するために、最終走行のログデータを抽出することとした。具体的には、図-4 (A)

のように、取得したログデータによる点群データと XY 平面上で生成したメッシュとを重畳する。メッシュサイズは、面的な出来形管理において必要最低限の基準値である点群密度 (1.0 m² のメッシュ内に 1 点以上)⁸⁾ とする。最後に、転圧機械のログデータの中で、仕上げ走行箇所が完成形状を捉えることができると仮定し、メッシュ毎で最終走行時間のログデータを代表点として採用し、フィルタリング処理する (図-5 右上参照)。

(2) 考案手法 2

ログデータの高さ情報の計画勾配による影響を除去するために、図-4 (B) のように、横断および縦断方向の

表-1 ログデータの項目 (GNSS を用いた例)⁷⁾

時刻 (JST)	GNSS 精度	衛星数	HDOP	GNSS 状態	前後進状態	X 座標	Y 座標	Z 座標
155215	5	12	0.8	3	1	-153235.645	83289.399	395.484
155216	4	12	0.8	3	1	-153237.754	83290.363	395.459
155217	5	12	0.8	3	1	-153239.793	83291.312	395.437
155218	5	12	0.8	3	1	-153241.801	83292.132	395.430
155219	5	12	0.8	3	1	-153243.714	83292.959	395.413
155220	5	12	0.8	3	1	-153247.770	83294.647	395.290
155221	5	12	0.8	3	1	-153249.635	83295.483	395.235
155222	5	12	0.8	3	1	-153250.810	83295.898	395.229
155223	3	12	0.8	3	1	-153251.097	83296.023	395.228
155224	5	12	0.8	3	1	-153250.510	83295.774	395.233

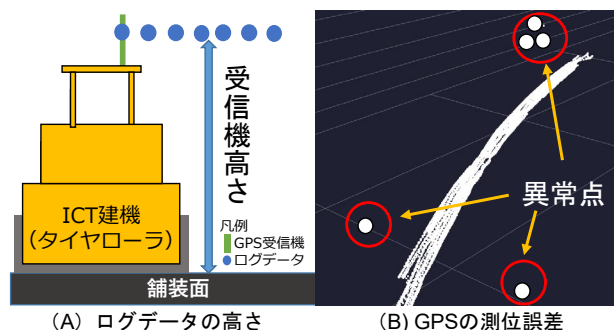


図-3 ログデータに関する課題

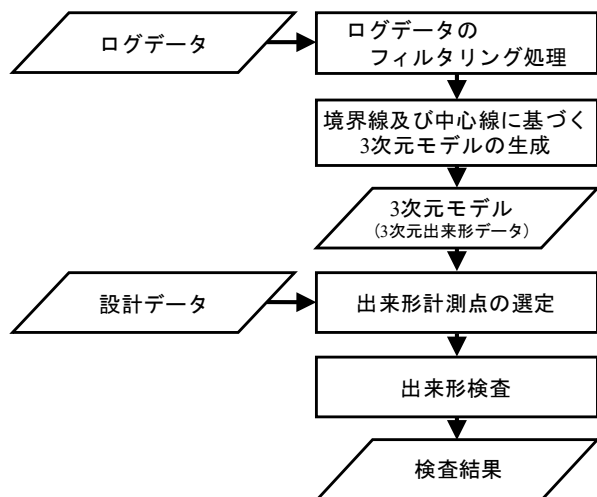


図-2 考案した出来形管理手法

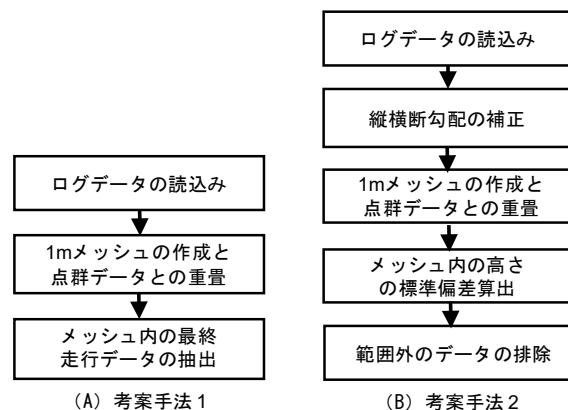


図-4 考案したログデータの補正処理手法

勾配を補正する。次に、衛星状況のバラつきを解消するために、ログデータの高さ平均および標準偏差を算出し、データの高さ較差の範囲を算出する。それを許容範囲としてフィルタリング処理する（図-5右下参照）。

3. 考案手法の有用性の検証

本章では、前章の考案手法により処理したログデータから生成した3次元モデルから厚さを算出する。その値が基準値⁹⁾を満足しているかを検証した。

本検証は、前田道路株式会社から提供を受けた坂東舗装工事のアスファルト舗装工の設計データおよびログデータを用いた。工事概要を次に示す。

（工事概要）

工事名：首都圏中央連絡自動車道 坂東舗装工事

工事延長：9.7km 舗装面積：140,000m²

工期：H27.03.06から480日間

この工事で収集されたログデータの200m区間を検証した。検証方法として、まず、補正処理されたログデータから3次元モデルを生成する。次に、生成した各層の3次元モデルと設計データとを重ねし、縦断方向に任意で横断面を抽出して、舗装厚を照合分析する。舗装厚の計測点は、横断方向に1.0m毎の地点とした（図-6参照）。既存手法を用いた結果を表-2、考案手法1を用いた結果を表-3、考案手法2を用いた結果を表-4に示す。いずれの手法も表層以外の層は基準値を満足した。表層の施工には他と異なる建機を使用しており、受信機高さの設定が異なっていた可能性がある。また、標準偏差に注目した際に、若干ではあるが上層以外に既存手法に比べて数値が小さくなっている。このことから、考案手法1および考案手法2が既存手法に比べて高い精度の舗装厚を算出できると考えられる。

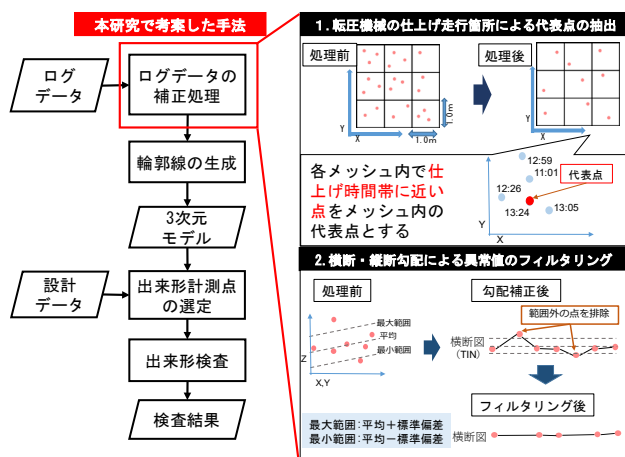


図-5 考案手法のイメージ

4. 試験施工による検証

既存研究で明らかになった課題の解消および考案手法の検証の目的で試験施工を実施した。試験施工は前田道路株式会社の協力により、同社施設内の敷地を使用して実施した。試験施工の概要を次に示す。

（試験施工概要）

延長：20m、幅員：5m（図-7、図-8参照）

使用材料：RC-40

舗装厚：総厚220mm

1層目(100mm)、2層目(70mm)、3層目(50mm)

使用機械：MCブルドーザ、タンデムローラー、

タイヤローラー（転圧管理システム搭載）

路床面の施工後、両端に高さ25cmの固定式の金属製型枠を設置し、鉄ピンを打込んで固定した。その内側にMC対応ブルドーザで碎石を敷均し、転圧管理システム（GNSS受信機およびTS反射鏡）を搭載したタイヤローラーで転圧して各層を仕上げた。

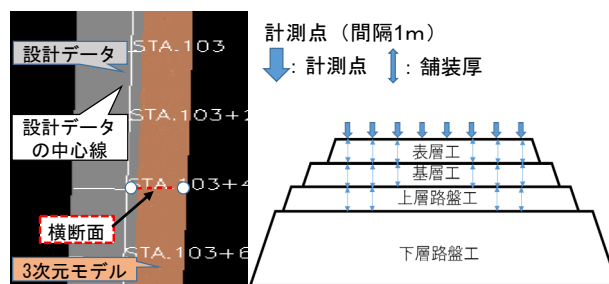


図-6 計測箇所の概要

表-2 既存手法の照合結果（単位：mm）

項目	実測値								標準 偏差	設計値	差	基準値		備考 (機種)	
計測点	1	2	3	4	5	6	7	8				平均	個々		平均
表層	-110	-118	-118	-107	-131	-131	-128	-128	-121	8.86	40	-161	-7	-2	TZ701改
基層	61	58	41	40	58	60	69	85	59	13.56	60	-1	-9	-3	TS650C
上層	120	126	133	132	134	125	115	125	126	6.31	120	6	-15	-5	TS650C

表-3 考案手法1の照合結果（単位：mm）

項目	実測値								平均	標準 偏差	設計値	差	基準値		備考 (機種)
	1	2	3	4	5	6	7	8					個々	平均	
計測点	1	2	3	4	5	6	7	8							
表層	-107	-119	-125	-120	-124	-131	-134	-129	-124	7.91	40	-164	-7	-2	TZ701改
基層	62	63	53	46	53	64	68	87	62	11.72	60	2	-9	-3	TS650C
上層	120	126	127	130	135	121	120	113	124	6.54	120	4	-15	-5	TS650C

表-4 考案手法2の照合結果（単位：mm）

項目	実測値								平均	標準 偏差	設計値		基準値		備考 (機種)
計測点	1	2	3	4	5	6	7	8			個々	平均			
表層	-111	-117	-119	-108	-130	-131	-128	-129	-122	8.64	40	-162	-7	-2	TZ701改
基層	61	58	42	40	59	60	69	85	59	13.51	60	-1	-9	-3	TS650C
上層	120	126	134	132	134	125	115	112	125	7.86	120	5	-15	-5	TS650C

計測点は図-7のように延長方向2m毎に設定した。計測位置は図-8のようにそれぞれの計測点の左端から1m, 2.5m, 4mの位置とし、型枠の天端に水糸を張り、スケールで各仕上がり面（路床～3層目）までの深さを測定する。その深さの差を各層の厚さの実測値（正解値）として採用した。

本手法による計測は、図-3（A）のようにGNSS受信機の左右の機械幅だけ計測不能となるため中心点（左端から2.5mの位置）だけの計測値を採用し、実測値（正解値）と照合分析した。各断面毎に厚さを算出し、同じ断面の実測値を正解値としてそれらの差を算出する。既存手法による計測値を例として表-5に示す。今回は

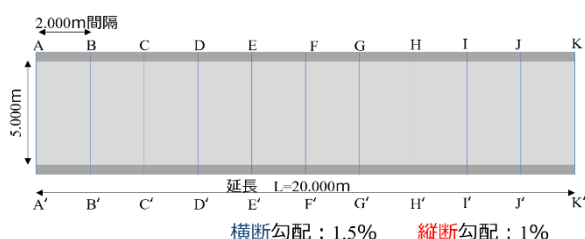


図-7 試験施工平面図

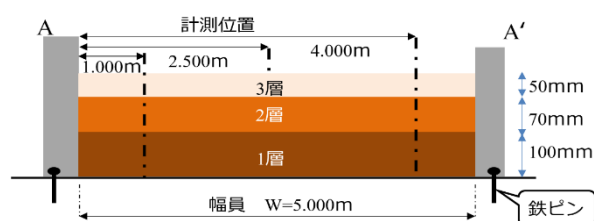


図-8 試験施工断面図

表-5 計測値と正解値との差（例）（単位：mm）

工程	計測断面	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	J'	K'
1層目	既存手法による計測値	64	66	73	95	74	90	84	84	91	78	82
	正解値（水糸による計測値）	80	87	87	86	84	90	85	85	85	90	85
	差	-17	-21	-15	9	-10	0	-1	-2	6	-12	-4

表-6 GNSSログデータによる計測結果（単位：mm）

工程	計測断面	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	平均値	標準偏差
		A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	J'	K'		
1層目		-17	-21	-15	9	-10	0	-1	-2	6	-12	-4	-6	9.15
2層目		18	27	8	7	12	9	12	14	16	13	13	13	5.42
3層目		-1	5	18	8	11	-1	10	-3	19	12	1	7	7.19

表-7 TSログデータによる計測結果（単位：mm）

工程	計測断面	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	平均値	標準偏差
		A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	J'	K'		
1層目		-1	-3	-4	2	-1	-3	1	0	1	-5	-2	-1	2.26
2層目		0	4	6	3	4	2	3	3	3	3	6	3	1.60
3層目		4	1	-2	1	1	2	6	-3	4	2	-4	1	2.93

GNSSログデータとTSログデータを同時に取得しており、それぞれ算出した値と実測値（正解値）との差を集計し、その結果を表-6および表-7に示す。

GNSSログデータによる結果は±20mm程度であり、TSログデータによる結果は±6mm以内であった。TSログデータからはかなり高い精度の舗装厚が算出できたといえる。

5. おわりに

本研究では、ログデータの補正手法を考案し、既存の3次元モデルの生成手法を改良した。既存の舗装工事の成果を用いたケーススタディを実施し、考案手法の有用性を確認した。そして、試験施工を実施し、同時に取得したGNSSログデータおよびTSログデータを使用して舗装厚を算出し、高い精度の結果が得られた。

今後は、仕上げて走行した機械端部の境目と舗装端部の境目との距離の補完の実用化に向けて、ICT建機の諸元および施工状況の確認の課題も併せて分析し、出来形管理手法の確立に向けて研究を進めていく所存である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、前田道路株式会社の関係者には、試験施工の実施や資料の提供および貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction, <<http://www.mlit.go.jp/common/001127188.pdf>>,（入手 2019.1.8）
- 2) 国土交通省：施工履歴データによる土工の出来高算出要領（案），2016。
- 3) 国土交通省：RTK-GNSSを用いた出来形管理要領（土工編）（案），2018。
- 4) 国土交通省：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）（案），2018。
- 5) 国土交通省：TSを用いた出来形管理要領（舗装工事編），2019。
- 6) 松浦弦三郎，今井龍一，谷口寿俊：舗装工事における建設機械の施工履歴の出来形管理への適用可能性の評価，土木学会論文集F3（土木情報学），土木学会，Vol.73，No.2，pp.1416-1423，2017。
- 7) 国土交通省：TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領，2012。
- 8) 国土交通省：レーザースキャナを用いた出来形管理要領（土工編），2015。
- 9) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格（案），2013。