

(7) 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・活用に関する考察

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 工学研究科都市工学専攻 (〒158-8557 東京都 世田谷区 玉堤 1-28-1)
E-mail: gmatuura@tcu.ac.jp

²正会員 東京都市大学 准教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都 世田谷区 玉堤 1-28-1)
E-mail: imair@tcu.ac.jp

³正会員 青山学院大学附置情報メディアセンター (〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1)
E-mail: taniguchi@aim.aoyama.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、挙動履歴や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。本研究では、ログデータのさらなる活用を図る支援方策として、ログデータ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。本稿では、ログデータを用いた 3 次元モデルの生成手法、設計データの厚さおよび幅員との比較検証結果を報告する。

Key Words: construction log data, pavement management, i-Construction, 3D-model

1. はじめに

建設現場の抜本的な生産性向上を図るため、国土交通省は、情報通信技術を活用した i-Construction の施策を推進している¹⁾。同施策の取り組みの一環として、公共構造物に係わる 3 次元データの活用方策となる 15 の新基準が施工されている²⁾。現在、工事施工では、ICT 建設機械（以下、「ICT 建機」という。）によるマシンコントロール・マシンガイダンスシステム（以下、「MC・MG」という。）の導入が推進されている。

具体例として、施工履歴データ（以下、「ログデータ」という。）による土工の出来高算出要領³⁾がある。ログデータには、ICT 建機のブレード等の挙動履歴や走行履歴が 3 次元座標で記録されている。同要領の導入により、出来高部分払の数量算出にログデータが活用できるようになったことから、今後ログデータの流通の進展が期待できる。

この動向を踏まえ、本研究では、ログデータのさらなる活用方策を図る支援策として、ログデータに収録されている 3 次元座標から工事目的物の完成形状を生成することに着目した。具体例として、道路工事の最終工程にあたる舗装の出来形管理では、図-1 に示すように、基

準高および幅の出来形はトータルステーションを用いて計測している⁴⁾。厚さの出来形は掘り起こして計測している。その計測結果の出来形値と設計値（以下、「設計データ」という。）とを比較し、寸法（基準高、厚さおよび幅）が規格値内に収まっているかを検査する。この出来形計測点をログデータの 3 次元座標から抽出し、出来形管理に適用できると、MC・MG を用いた施工における省力化が期待できる。

本研究の目的は、ログデータ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。本稿では、ログデータを用いた 3 次元モデルの生成手法、設計データの厚さおよび幅員との比較検証結果を報告する。

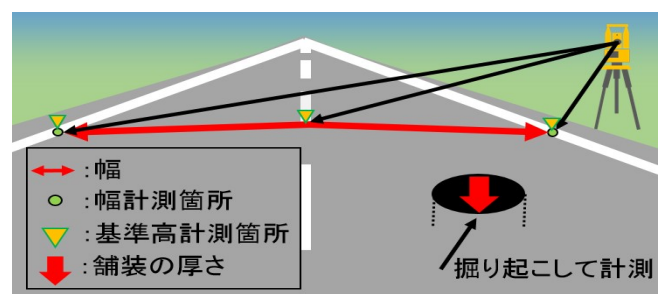


図-1 舗装の出来形管理のイメージ

2. ICT 建設機械及びログデータの特性調査

本研究では、舗装工事で使用されている ICT 建機の特
性として、記録されているログデータの項目と、その内
容を調査した。表-1 は ICT 建機の特性を示しており、
情報化施工に対応した車載器や各種センサを搭載し、ロ
グデータを取得しているものが多い。

表-2 は、ログデータ的具体例を示しており、X、Y、
Z 座標値およびその取得時刻等が記録されている。座標
値の取得間隔や精度は ICT 建機によって異なる。オペレ
ータは、施工実施前に、GPS 受信機の地表面からの高さ
や機械の前後左右の位置等を設定し、入力している。

3. ログデータを用いた舗装工の出来形管理手法

本研究では、図-2 に示すログデータを用いた舗装工
の出来形管理手法の手順を考案した。本手法は、表層工
以下の基層工や路盤工の出来形も対象とする。以下、各
プロセスの内容を概説する。

(1) ログデータのフィルタリング処理

ログデータから抽出した座標値には、ICT 建機の通信
状況や地表面の段差によってノイズとなる異常値が含ま
れている。そのため、フィルタリング処理を用いてノイ
ズを削除する。なお、本稿では、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ずロ
グデータに記載される GPS 精度を用いてフィルタリン
グを実施するものとした。

表-1 各種建設機械の特性

使用機械	適用工種	特性等	施工速度
ブルドーザ	路床工、路盤工	加-う式 敷均し	1~11km/h 程度
モーターグレーダ	路床工、路盤工	4台走行式 敷均し	3~21km/h程度
ロードローラ	路床工、路盤工、舗装工	3輪式鉄輪 締固め	2~11km/h程度
タイヤローラ	路床工、路盤工、舗装工	4台の車輪 締固め	3~11km/h程度
アスファルトフィニッシャ	アスファルト舗装工	加-う式 As敷均し	0.1~1km/h程度
コンクリートフィニッシャ	コンクリート舗装工	加-う式 Co敷均し	0.1~1km/h程度
スリッパフォームペーパー	緑石、水路等	Co敷均し 型枠不要	0.1~1km/h程度

表-2 ログデータの項目内容

時刻 (JST)	GPS 精度	衛星 数	HDOP	GPS 状態	前後 進 状態	X 座標	Y 座標	Z 座標	CCV 反力 値	CCV 振動 数	起振 状態	温度 使用 有効 無効?	温度 有効 2?	取得 温度	TS通 尾 モード	反力 使用 有無	地盤 反力 使用 有無
155215	5	12	0.8	3	1	-1235.645	83289.399	395.484	-1	-1	0	1	1	26	-1	0	0
155216	5	12	0.8	3	1	-1237.754	83290.363	395.459	-1	-1	0	1	1	26	-1	0	0
155217	5	12	0.8	3	1	-1239.793	83291.312	395.437	-1	-1	0	1	1	26	-1	0	0
155218	5	12	0.8	3	1	-1241.801	83292.132	395.430	-1	-1	0	1	1	26	-1	0	0
155219	5	12	0.8	3	1	-1243.714	83292.959	395.413	-1	-1	0	1	1	26	-1	0	0
155220	5	12	0.8	3	1	-1245.782	83293.801	395.329	-1	-1	0	1	1	27	-1	0	0
155221	5	12	0.8	3	1	-1247.770	83294.647	395.290	-1	-1	0	1	1	28	-1	0	0
155222	5	12	0.8	3	1	-1249.635	83295.483	395.235	-1	-1	0	1	1	29	-1	0	0
155223	5	12	0.8	3	1	-1250.810	83295.898	395.229	-1	-1	0	1	1	30	-1	0	0
155224	5	12	0.8	3	1	-1251.097	83296.023	395.228	-1	-1	0	1	1	30	-1	0	0
155225	5	12	0.8	3	1	-1250.510	83295.774	395.233	-1	-1	0	1	1	31	-1	0	0

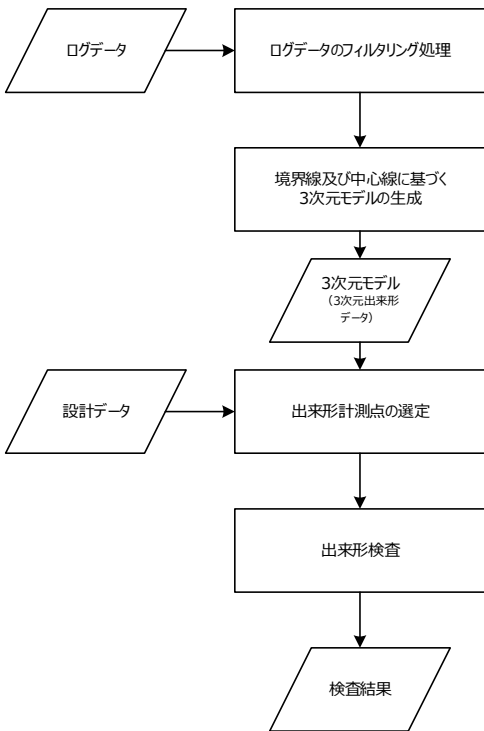


図-2 ログデータを用いた舗装工の出来形管理手法

(2) 境界線及び中心線に基づく 3 次元モデルの生成

前節の処理後のログデータを用いて完成形状の 3 次元
モデルを生成する。舗装工では、厚さおよび幅員の出来
形を管理する。これらを算出するには舗装面の境界や中
心線が必要になる。境界線は、動的輪郭法を用いて生成
する。中心線は、地表面の勾配の傾き変化点を中心点と
して結び生成する。その後、TIN を生成させて 3 次元モ
デル（3 次元出来形データ）とする。

(3) 出来形計測点の選定

3 次元モデルを用いて、縦断方向の任意の箇所を指定
して横断測線を生成し、横断測線と境界点との交点を来
形計測点として選定する。

(4) 出来形検査

前節の成果である出来形計測点と、設計データとを照
合し、基準高、厚さおよび幅員が許容誤差内に収まって
いるかを検査する。

4. ケーススタディ

本研究では、考案手法に則して、実際の舗装工のログ
データを用いて 3 次元モデルの生成可否を確認し、設計
データの厚さおよび幅員との照合分析のケーススタディ
を実施した。本ケーススタディに同一箇所における下層
路盤から表層までの 4 層の仕上げに使用する機械（タイ



図-3 舗装ログデータの処理手順

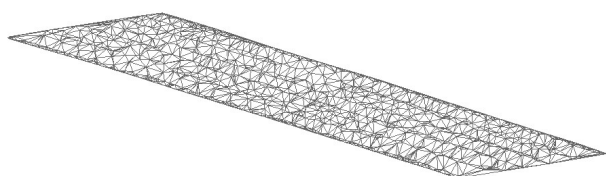


図-4 TINにより生成した3次元モデル（2層分）

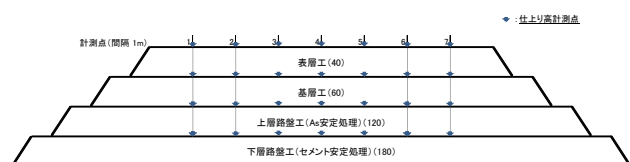


図-5 厚さを算出した計測断面

ヤローラ)のログデータを使用した。また、実際の出来形管理の資料との照合は、本ケーススタディの結果を受けて実施する方針とした。

(1) 3次元モデルの生成可否

ログデータのフィルタリング処理として、本ケーススタディでは、GPS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。そのため今回は、GPS測位モードを「RTKのFIX解」として計測したログデータを用いて境界点の生成と中心点の生成範囲の特定を実施した。

境界点は、図-3に示すように、ログデータに動的輪郭法を適用すると生成されることを確認した。境界部のログデータの座標点密度が10点/㎡以上であれば正確に境界点が生成された。しかし、境界部の欠損箇所の範囲が直線距離で6m以上あると生成できないことを確認した。そのため、境界部に大きな欠損箇所のあるログデータに関しては、境界部の欠損を埋めるよう、境界点から境界線を生成して欠損を補完する必要がある。

中心点は、地表両端の境界点から舗装の中心部に向けて隣接2点間の方向ベクトルを逐次算出した。そして、両端からの方向ベクトルの交差点から舗装中心部の生成範囲を特定し、傾き変化点を確認できた。しかし、ロ

グデータの点密度が5点/㎡以下の箇所では、3次元座標の情報が少ないため、舗装の中心部に傾き変化点を確認できなかった。また、ログデータの点密度が30点/㎡以上の箇所では、施工時に異常値が多く含まれているため、舗装の中心部に傾き変化点を確認できなかった。そのため、座標点密度が5点/㎡以下の箇所では、近傍点からログデータの3次元座標の情報を集約して補完する必要がある。また、座標点密度が30点/㎡以上の箇所では、異常値が多く含まれている境界点から舗装の中心部のフィルタリング処理の手法を検討する必要がある。

以上の処理を経てから完成形状の3次元モデルを生成した(図-4)。

(2) 設計データの厚さ及び幅員との照合分析

a) 幅員

各層の幅員の照合分析の結果を表-3に示す。出来形の基準値を満足できる箇所はなく、多くの箇所で設計データより短い結果となった。

この要因の考察として、ログデータの取得したICT建機は仕上げるためのタイヤローラであるため、舗装端部の境目まで転圧すると端部の角が崩れてしまう可能性がある。このため、境目より内側の作業となり、結果として、幅員は設計よりも不足している箇所が多い可能性があると考えられる。したがって、今回のケーススタディ結果に基づく、完成形状の正確な幅員は、端部と、仕上げで走行した端部の境目との距離を補完しなければ算出が難しいと言える。

b) 厚さ

各層の厚さは、4層の同一点の仕上り高さの差から算出した(図-5)。各層の仕上り高さを表-4、舗装厚さの計測結果を表-5に示す。

舗装の出来形管理は、土木工事施工管理基準及び規格(案)⁹⁾によると、縦断方向に対して幅員を80mの間隔で計測している(図-1参照)。また、厚さに関しては、路盤工は1箇所/200m掘り起こしての厚さ管理、アスファルト舗装工は1箇所/1,000㎡抜き取りコアによる

表-3 幅員計測結果

項目	図面上 の計測 幅員 (mm)	機械幅 (mm)	測定幅 員 (mm)	設計幅 員 (mm)	差 (mm)	基準値 (mm)	備考
表層工	8,805	1,950	10,755	10,850	-95	-25	別の機 械を使 用
	8,805	1,950	10,755	10,850	-95		
基層工	9,249	2,090	11,339	11,180	+159	-25	同じ機 械を使 用
	9,090	2,090	11,199	11,180	+19		
上層路盤工 (As安定処理)	9,348	2,090	11,438	11,360	+78	-50	
	9,218	2,090	11,308	11,360	-52		
下層路盤工	9,437	2,090	11,527	11,726	-199	-50	
	9,324	2,090	11,414	11,726	-312		

表-4 仕上り高計測結果 (単位: m)

計測断面	計測点	表層	基層	As処理	下層路盤
A	1	23.237	23.358	23.296	23.182
	2	23.292	23.412	23.355	23.247
	3	23.348	23.464	23.405	23.313
	4	23.396	23.519	23.465	23.357
	5	23.452	23.570	23.508	23.400
	6		23.619	23.564	23.453
B	1	23.210	23.338	23.270	23.170
	2	23.265	23.385	23.320	23.217
	3	23.324	23.448	23.390	23.290
	4	23.366	23.501	23.447	23.335
	5	23.421	23.551	23.500	23.383
	6	23.485	23.598	23.540	23.437
	7		23.649	23.597	23.473
C	1	23.248	23.375	23.302	23.183
	2	23.291	23.419	23.357	23.250
	3	23.353	23.474	23.406	23.312
	4	23.395	23.518	23.459	23.364
	5	23.463	23.577	23.521	23.424
	6		23.623	23.564	23.458

表-5 舗装厚さ計測結果 (単位: mm)

計測断面	計測点	表層 設計厚(40)	基層 設計厚(60)	As処理 設計厚(120)
A	1	-121	62	114
	2	-120	57	109
	3	-117	59	91
	4	-123	54	107
	5	-119	63	108
	6		55	111
	平均	-120	58	107
	差	-160	-2	-13
B	1	-129	68	100
	2	-120	65	103
	3	-124	58	100
	4	-135	55	112
	5	-130	51	118
	6	-114	58	104
	7		53	124
	平均	-125	57	110
	差	-165	-3	-10
C	1	-127	73	118
	2	-129	63	107
	3	-121	68	94
	4	-123	59	96
	5	-114	55	98
	6		60	105
	平均	-123	63	103
	差	-163	3	-17
基準値	個々の測定値	-7	-9	-15
	10個の平均値	-2	-3	-5

厚さ管理をしている。それぞれの基準値は計測結果の表-3および表-5に示している。

表層は、ほぼ一律マイナス 120mm 前後となっていた。第2章のとおり、オペレータは ICT 建機の始動の前に各種条件を設定入力している。その条件には、受信機アンテナの地表面からの高さや、機械本体の前後左右の位置

等がある。今回の解析対象工種は、下層路盤工、上層路盤工 (As 安定処理)、基層工、表層工の 4 層であり、下層路盤工から基層工までの 3 層は同一の ICT 建機を使用し、表層工だけは別の ICT 建機を使用していた。したがって、表層工に使用した ICT 建機の入力した設定条件の誤差が一要因である可能性がある。

基層は、設計厚 60mm に対してほぼ同程度の結果になっており、同一の ICT 建機で同一条件の下では、高い精度の結果が得られたといえる。

上層路盤 (As 安定処理) は、設計厚 120mm に対してほぼ一律マイナスの 10~20mm という結果であった。この層も同一の ICT 建機で同一条件となっているものの若干の誤差が表れた。このことから、設定条件を正確に入力することでさらに高い精度が得られる可能性があると考えられる。また、ICT 建機の諸元や施工状況も併せて詳細に調査する必要がある。

5. おわりに

本研究では、ICT 建機のログデータのさらなる有効活用を目指し、舗装工事の完成形状の 3 次元モデルの生成、下層から表層までの 4 層の幅員および厚さの精度を検証した。

その結果、ログデータから工事目的物の 3 次元モデルの生成可能性を明らかにし、ログデータを用いた出来形管理手法の確立に向けての可能性を示唆する知見を得た。

今後は、さらに多くの現場や各種の ICT 建機のログデータを検証するとともに、実際の出来形管理データとの照合分析も実施し、精度の検証を進めていく必要がある。

謝辞：本研究の遂行にあたり、国土交通省総合政策局公共事業企画調整課の近藤弘嗣氏、北首都国道事務所、東日本高速道路株式会社および前田道路株式会社の関係者には、資料の提供や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～建設現場の生産性向上の取り組みについて～、<<http://www.mlit.go.jp/common/001113551.pdf>>、(入手 2017.6.25)
- 2) 国土交通省：新たに導入する 15 の新基準及び積算基準、<<http://www.mlit.go.jp/common/001127188.pdf>>、(入手 2017.6.25)。
- 3) 国土交通省：施工履歴データによる出来高算出要領(案)、2016。
- 4) 国土交通省：TS を用いた出来形管理要領(舗装工事編)、2012。
- 5) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格(案)、2013。