

(32) 舗装工事の建設機械の施工履歴を用いて 生成した 3 次元モデルの精度検証及び一考察

松浦 弦三郎¹・今井 龍一²・中村 健二³・塚田 義典⁴・
橋本 侑弥⁵・鹿間 美咲⁶

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 大阪経済大学教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8)
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

⁴正会員 摂南大学准教授 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

⁵非会員 アジア航測株式会社 事業推進本部 社会基盤システム開発センター
(〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2)
E-mail: yya.hashimoto@ajiko.co.jp

⁶学生会員 法政大学大学院 デザイン工学研究科 都市環境デザイン専攻
(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)
E-mail: misaki.shikama.7t@stu.hosei.ac.jp

建設現場におけるマシンコントロールや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データが取得されており、今後、同データの流通の進展が期待できる。

著者らは、施工履歴データのさらなる活用を図る支援方策として、舗装工事の施工履歴データによる出来形管理手法を考案し 3 次元モデルの生成手法を研究している。本論文では、生成した 3 次元モデルを実際の出来形管理による 3 点の実測値に合わせて補正し、その精度を検証した結果、向上することを明らかにした。また、3 次元モデルの精度を踏まえた活用の展開方策を考察した。

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

1. はじめに

建設現場では生産性向上を図るため、i-Construction¹⁾の推進により 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。その中で、国土交通省が運用する「公共工事における新技術活用システム（NETIS）」に登録されている TS・RTK-GPS による転圧管理システム²⁾が舗装工においても活用されている。国土交通省は施工および施工管理の生産性向上や品質向上の目的で、ICT 舗装工の施策を段階的に推進し、ICT 施工の対象工事も拡大しており、舗装修繕工事の路面切削機やアスファルトフィニッシャー等にも

積極的な導入を推奨している³⁾。これらの 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・蓄積しているものが多い。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⁴⁾、舗装修繕工における路面切削工では、路面切削機のログデータを用いた出来形管理も可能となった⁵⁾。

また、国土交通省は 2012 年に業務の効率化を目的として「Construction Information Modeling/Management」（以下、「CIM」とする。）の取り組みを推進しており、ライフサイクル全体を見通した情報マネジメントと、3 次元モデルを活用した情報の見える化が並行して実践されている⁶⁾。さらなる i-Construction の推進に向けて、3 次元

モデル成果物の CIM への活用が促進されている。

著者らは既存研究^{8)・11)}にて、ログデータを用いた道路の舗装工事の出来形管理手法を確立し、舗装工事における転圧機械のログデータから 3 次元モデルの生成が可能であることを明らかにしてきた。そして、舗装現場のログデータから生成した 3 次元モデルにより出来形の厚さおよび幅員を算出し、その有用性を明らかにしてきた。その結果、厚さは多少のばらつきがみられ、幅員は多くの箇所では実測値よりも 200mm 程度不足していた。

本論文では、これらの課題を分析するとともに試験施工のデータを使用して 3 次元モデルを生成し、精度を検証する。また、検証結果を踏まえて 3 次元モデルの活用の展開方策を考察する。第 2 章にて、既存研究の課題を分析する。次に、第 3 章にて、実測データを用いて 3 次元モデルを補正し、精度を検証する。最後に、第 4 章にて、検証結果のまとめと今後の展望を述べる。

2. 既存研究の課題分析

(1) 既存研究の課題

これまでの研究の成果としては、ログデータから 3 次元モデルを作成し、出来形計測点を抽出してから厚さと幅員を算出し、設計データと照合することができた。しかし、幅員は転圧機械が走行したとおりの幅が算出できているものの、何らかの影響で設計どおりの位置を走行していないために実測値との差が大きくなっている。これらの課題の解消の目的で試験施工を実施した（図-1、図-2 参照）。試験施工では、図-3 上に示すように大型転圧機械が走行できない部分を小型ローラで転圧している。厚さは GNSS 受信機の設置位置の違いや補正值の設定誤差あるいは異なった機械の使用等により、正確な高さの補正ができていないことや、RTK-GNSS 測位ではノイズやマルチパス等の影響で数 cm の誤差があるために出来形の誤差やばらつきが生じている。これらを解消することが精度向上に繋げるための課題となっている。

(2) 課題の分析と対応策

前項の課題を整理すると、次の 3 項目となる。それぞれ項目ごとに内容を分析する。

a) 幅員の誤差

転圧機械の走行どおりの幅を算出できているが、転圧機械が設計幅員ぎりぎりまで走行していないためほぼ一定の誤差が生じている（図-3 左下参照）。

対応策としては、特に現場の状況の変化する箇所毎に実際の出来形端部と転圧機械端部との幅を測定して補完すれば誤差が解消できると考える。

b) 高さの補正值の誤差

オペレータは、施工実施前に図-3 右下に示すような GNSS 受信機の地表面からの高さや機械の前後左右の設置位置を測定し設定値を入力している。異なった転圧機械を使用する場合は GNSS 受信機の設置位置の入力する設定値が異なるため、一定の高さの誤差が生じている。

この課題は、入力する設定値を正確に確認することで解消できると考える。しかし、オペレータが交代することにより mm 単位での正確な設定値を確認できない場合がある。そのため、施工の区切りの良い箇所において正確な高さを実測し補正する必要がある。

c) RTK-GNSS の測位誤差

RTK-GNSS 測位ではノイズやマルチパス等の影響で数 cm の誤差が生じている。梶田らは¹²⁾、バラツキが大きい Z 方向のデータを対象に、12 時間取得した生データの変動を調査している。その変動波形を、図-4 に示す。全体的な変動を見ると、鉛直(Z)方向は約±30mm 以内で変動している。この際、常に大きく振幅する形では無く、約 1～2 時間の長周期の波形に短周期の波形がのっている。ログデータを取得するために転圧機械が稼働するの

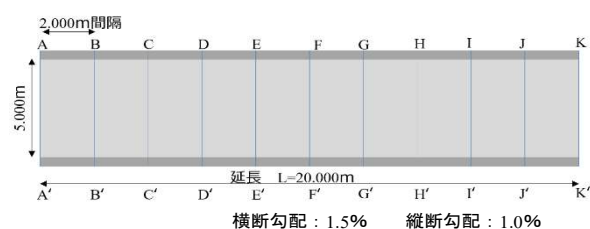


図-1 試験施工平面図

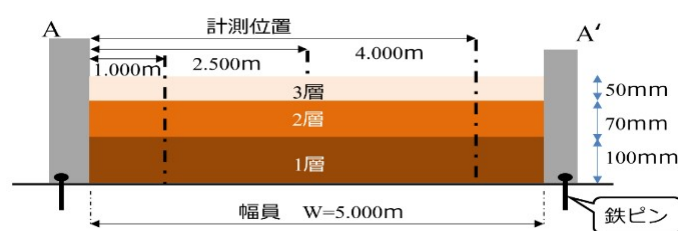
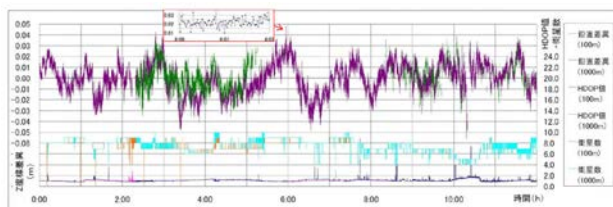


図-2 試験施工断面図



図-3 試験施工の転圧状況



は、仕上げに要する短時間である。取得したログデータは長周期での誤差ではなく短周期での誤差の変動のみにより生じている可能性が高い。また、各層で稼働する時間帯が違うため、前章の試験施工の結果から見ても全体的な平均値の変動が生じている。そして、各層の計測値の変動は最大 20mm 程度に納まっており、短周期での波形の中での変動によるものと推察する。したがって、±30mm の中で高い位置にあるのか低い位置にあるのかが確認できない状況である。長周期の中での位置の違いによる高さの補正ができると精度向上に繋がると考える。

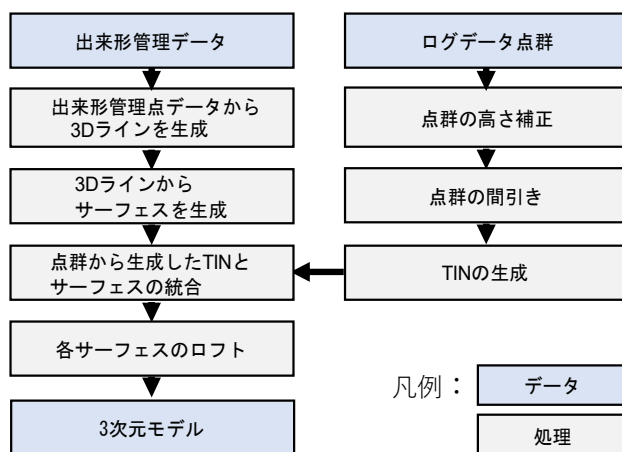
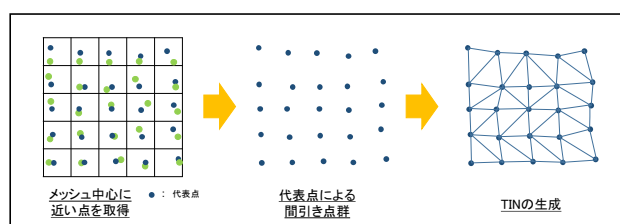


図-5 3次元モデル生成フロー



3. 3次元モデルの生成手法の改良

(1) 3次元モデルの生成手法の改良

図-5 に示すように 3 次元モデルの生成フローを考案し、試験施工における実測値を用いて検証した。まず、起点と終点および中間点（10m 間隔）での出来形管理の実測値に合わせた 3 次元ラインからサーフェスを生成する。次に均一な TIN を生成するために、機械高の高さ補正をしたログデータを図-6 に示すように 25cm のメッシュに分割して間引きを行い TIN を生成する。その後、生成した TIN を出来形管理の実測値に合わせたサーフェスに統合し、各サーフェスのプロットを行って 3 次元モデルを生成する。この手法で各層を生成し、重畳する。その全体像を図-7 に、拡大図を図-8 にそれぞれ示す。

(2) 検証結果

前項の手法により重畳した各層の3次元モデルにより、計測点における高さの差から厚さを算出し、実測値との比較を行った。当初の調整前の計測結果を表-1に、今回の改良手法による結果を表-2に示す。比較すると、多少ばらつきはあるもののかなり精度が向上した。

このように、実際の出来形計測値とログデータにより生成した3次元モデルを組み合わせることで、高い精度の3次元モデルを生成できることが確認できた。

表-2 全体調整後の厚さ計測結果 (単位: mm)

計測断面	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	平均値	標準偏差
工種	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	J'	K'		
1層目	0	-7	-5	16	7	0	0	0	8	-7	0	1	6.60
2層目	0	11	-6	-6	1	0	2	3	5	1	0	1	4.49
3層目	0	6	19	9	12	0	11	-3	19	11	0	8	7.34

□: 実測値に合わせた箇所

(3) 3次元モデルの活用に向けた考察

主に高速道路の盛土区間においては地盤の沈下対策が重要である。図-9 は道路の供用開始後の地盤沈下による挙動イメージであるが、定点観測により沈下量を測定し、詳細はボーリング調査等を実施して把握しているのが現状である。一方、実際にはさまざまな車両や機械が道路の維持管理に使用されている。清掃車や安全パトロール車は毎回同じような車線位置を走行している。特に安全パトロール車は毎日のように走行している。そこで、発想を変えて建設機械ではなく日常的に走行している車両に GNSS 受信機を取り付けてログデータを取得し、本手法により縦断形状を表現した 3 次元モデルを生成する。そして、前節で検証したように、供用開始時の 3 次元モデルと重畳し、厚さ（高さの差）を算出することで経年劣化状況（沈下量）を確認することができる。一般的に GNSS センサは 1 秒間隔でデータを取得している。仮に安全パトロール車が 72km/h で走行しているとすると 1 秒間では 20m 間隔のデータが毎日取得できることになる。ある一定の期間（1 週間あるいは 1 ヶ月）のログデータを用いて 3 次元モデルを生成する。これにより、低コストで賢く道路の縦断形状の定期観測が可能となり、図-12 に示すような施工後の経年劣化状況の把握ができる可能性がある。

4. まとめ

本論文では、3 次元モデルの生成手法を改良し、試験施工のデータを用いて検証した結果、精度の向上がみられた。しかし、今回検証した試験施工現場は、延長が 20m と短いことで高い精度が得られた可能性がある。今後、実際の長い区間での舗装工事現場のログデータを用いて検証を実施し、舗装工事の出来形管理の適用に向けて本手法の検証を進めていく所存である。

加えて、精度の検証結果を踏まえて 3 次元モデルの活用策を考察した。主に高速道路では沈下に対する経年変化の追跡調査などを実施しているが、定点のみならず面による管理として 3 次元モデルの活用が有効であると考えられる。今後も、道路の維持管理の効率化も視野に入れながら、ログデータを用いたさまざまな具体的な活用方策の開発を進めていく予定である。

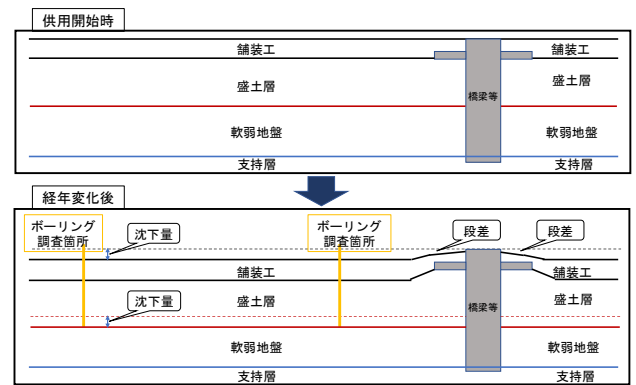


図-9 道路の供用開始後の地盤沈下による挙動イメージ

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、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。

本研究は JSPS 科研費 JP17K06517, JP20K04648 の助成を受けたものである。

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：新技術情報提供システム (NETIS), TS・RTK-GPS による転圧管理システム, 2015.
- 3) 国土交通省：ICT 舗装工, <<https://www.mlit.go.jp/common/001174971.pdf>>, (入手 2019.9.8) .
- 4) 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), 2019.
- 5) 国土交通省：施工履歴データを用いた出来形管理要領 (路面切削工編) (案), 2020.
- 6) 国土交通省：CIM の取組み, <http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000037.html>, (入手 2020.4.1) .
- 7) 国土交通省：i-Construction 推進のための基準要領等の制・改定について, <https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000789.html>, (入手 2021.6.1) .
- 8) 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を用いた 3 次元モデルの生成・活用に関する考察, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.42, pp.23-26, 2017.
- 9) 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.I_416-I_423, 2017.
- 10) 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を用いた 3 次元モデルの生成手法の精度検証, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.44, pp.149-152, 2019.
- 11) 松浦弦三郎, 今井龍一, 谷口寿俊：道路の切削・舗装工事の建設機械の施工履歴を用いた出来形管理手法に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.75, No.2, pp.II_17-II_24, 2019.
- 12) 梶田洋規, 北川 順, 平城正隆：情報化施工に利用する衛星測量技術「RTK-GNSS」で取得したデータの特徴, 土木技術資料, Vol.53, No.5, pp.18-21, 2011.