

(16) 舗装工事を対象とした地上型レーザー スキャナーの出来形計測の検証実験

樋口 智明¹・佐田 達典²・江守 央³・村山 盛行⁴・福森 秀晃⁵

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: cstol18012@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学准教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 株式会社フィールドテック (〒110-0016 東京都台東区台東 2-24-8)
E-mail: smurayam@fieldtech.co.jp

⁵正会員 株式会社フィールドテック (〒110-0016 東京都台東区台東 2-24-8)
E-mail: fukumori@fieldtech.co.jp

2016年度から国土交通省では、i-Constructonに取り組んでおり、生産性向上を目標としている。その中で2016年4月に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）が公表され、今後の利用が増加すると見込まれる。本研究では出来形管理要領の条件に沿って複数の計測手法で地上型レーザースキャナーの計測を行い、作業時間、計測精度を検証した。その結果、計測時間は計測回数が多いと長くなった。データ処理時間は標定点の個数が多いほど座標変換の時間がかかるが、計測範囲が狭いほうがノイズ処理をする時間が短くなった。また、標定点の間隔が短くなるほど計測精度が上がり、機器設置位置付近では誤差が大きくなる傾向が見られた。

Key Words: TLS, pavement construction, point cloud data

1. はじめに

近年、日本の建設現場では少子高齢化による労働力の低下、低い労働生産性、社会資本の老朽化等の諸問題がある¹⁾。これらの課題を解決することを目的として、国土交通省では2016年よりi-Constructionに取り組んでおり、出来形管理などで生産性の向上が目標とされている。従来、舗装工事では巻尺、レベルを用いて出来形管理を行っていたが、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）²⁾（以下、出来形管理要領）が公表され、今後、利用が増加すると見込まれる。

地上型レーザースキャナー（以下、TLS）の出来形計測は、計測対象の地形を短時間かつ高密度に3次元座標の取得が可能であり、従来の施工管理手間の大幅な軽減と、詳細な地形や出来形の形状取得が可能である。一方で計測箇所をピンポイントで計測できないことや、計測間隔が均一ではないといった特徴や、ソフトウェアを用

いた大量の計測点群データの処理が必要である。以上のことから、出来形管理にTLSを用いるための出来形計測手順や管理基準が策定された。

出来形管理要領では、設置、計測に係わる留意点が示されており、最大観測距離は点群密度が0.01 m² (0.1m×0.1mメッシュ)に1点とされている。しかし、具体的な計測手法については、個々の作業者に委ねられている。

本研究では、出来形管理要領の条件に沿って、複数の計測手法でTLSの計測を行い、計測時間、計測精度、処理時間を算出し、計測手法ごとの作業性、精度について明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

(1) 計測方法

本研究では、表-1に示すRIEGL社のTLSを検証実験

用に、標定点設置と計測時間比較でニコン・トリンプル社のトータルステーション（以下、TS）を用いた。

実験日時は、2019年5月8日、5月9日の、いずれも9時から16時である。

レーザーの照射間隔は鉛直方向 0.01° 、水平方向 0.19° として、TLSの照射部の高さを1.5mと設定した。出来形管理要領では 0.01 m^2 ($0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$ のメッシュ) に1点以上照射されていることが計測条件とされており、設定した照射間隔における計測可能距離を式(1)⁴⁾、(2)により求めた。

$$p_r = h[\tan\{(n+1)\alpha\} - \tan\{n\alpha\}] \quad (1)$$

$$L = h \tan\{n\alpha\} \quad (2)$$

ここで、

p_r : メッシュのピッチ (m)

h : TLSの照射部の高さ (m)

n : TLSの直下から観測が行われたと仮定したときの照射順番

α : 鉛直方向の照射間隔 ($^\circ$)

L : 機器設置位置から計測可能距離 (m)

である。

式(1)、(2)の結果から、計測可能距離は29.2mと算出され、勾配を考慮し、機器設置位置から1回の計測距離を25mとした。

計測範囲は、図-1のように $15\text{m} \times 200\text{m}$ のフィールドの作成を行い、事前に1mごとの格子点の3216 (16×201) 点の水準測量を行った。

TLSの計測位置、標定点として用いるターゲットの設置位置は、図-2の3つの手法で行った。

計測手法①は、出来形管理要領に記載されている例を参考に、TLSの計測位置は25m間隔で計測角度 160° の計測を計8回行い、計測範囲をの四隅に標定点を設置する。

計測手法②は、新たな提案手法であり、計測手法①よりも計測回数、時間を減らすために、1周計測を4回と半周計測を2回を行い、標定点は始点と終点は25m間隔で、それ以外は37.5m間隔で設置する。

計測手法③は、TLS直下は特性上欠測するが、平成31年改訂の出来形管理要領では、除外しても良いとされたことから、欠測部を補完せずに50m間隔で計測位置を設け、標定点も50m間隔に設置した。

TLSは、図-3のように台車に載せて計測位置まで移動させて、計測を行った。

TSを用いた計測時間比較は、フィールド横断を7点ずつ、計6基線 (40mおき) 標高データを算出した。

(2) 解析方法

複数の機器設置位置で取得したデータを標定点をもとに座標変換と合成を行い、 $15\text{m} \times 200\text{m}$ のフィールドのデータを抽出する。抽出したデータを格子点に囲まれた 1 m^2 四方で平均値を算出し、事前に行った格子点の水準測量値の四隅の平均値との差を求め、ヒートマップ、誤差の平均値、標準偏差、出来形管理要領の要求精度の $\pm 4\text{mm}$ 以内となった合格数を比較する。



図-1 実験フィールド

(Google Earth Pro の画像より筆者が作成)

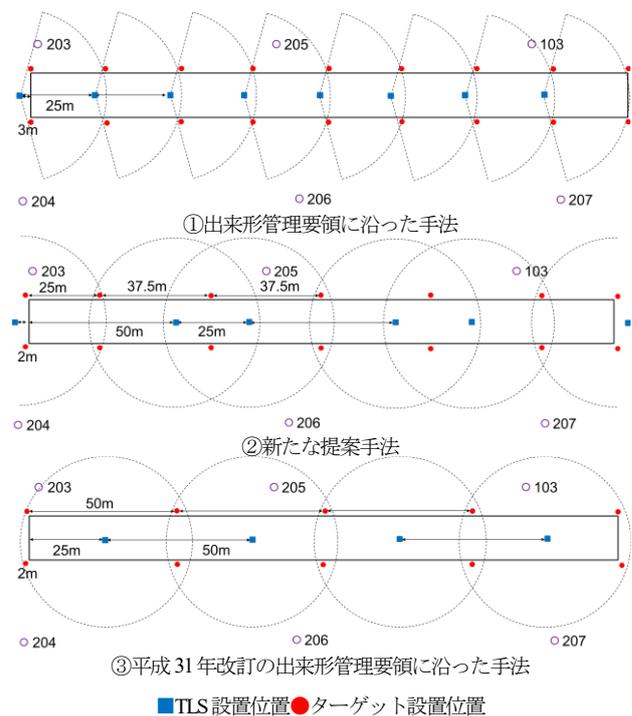


図-2 計測手法ごとの TLS, ターゲット設置位置

表-1 計測で使用した機器

TLS		TS	
VZ-400i		Trimble S6	
測定精度	5mm		
測定レート	500,000点/秒		
ビームの広がり角	0.35mrad		
最長測定距離	800m		



図-3 TLS 移動用台車

表-2 各手法の計測，データ処理時間

計測手法	①	②	③	TS
I 計測	30' 40"	20' 41"	18' 36"	22' 32"
II 座標変換	8' 28"	7' 30"	3' 39"	-
III データ抽出	4' 50"	7' 09"	5' 44"	-
IV ヘルマート変換	2' 30"	2' 26"	2' 25"	-
V グリットデータ化	6' 41"	6' 10"	7' 00"	-
合計時間	53' 09"	43' 56"	37' 24"	-

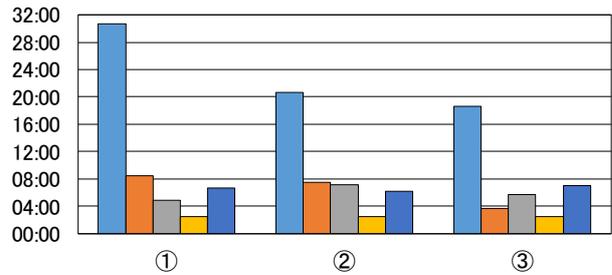
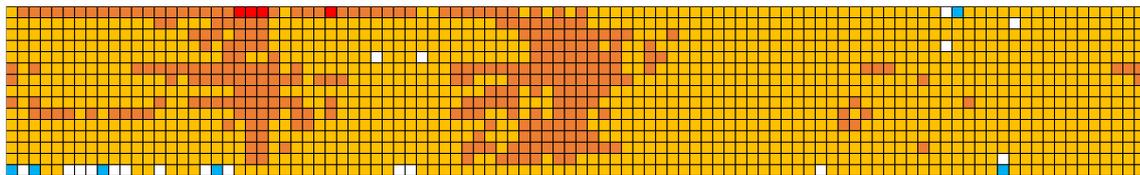


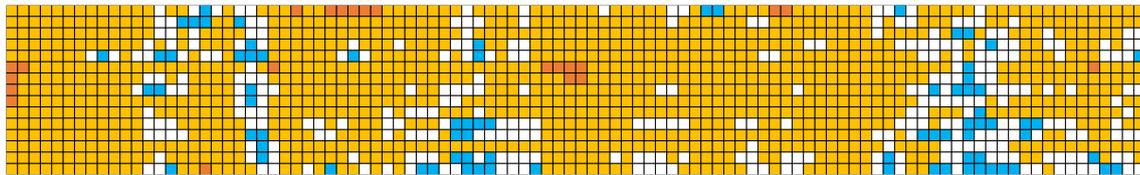
表-3 各手法の水準測量値との平均較差，標準偏差，合格数

計測手法	①	②	③
平均較差 (m)	+0.0024	+0.0028	+0.0043
標準偏差 (m)	0.0017	0.0022	0.0019
合格数 (個)	2693	2417	1593

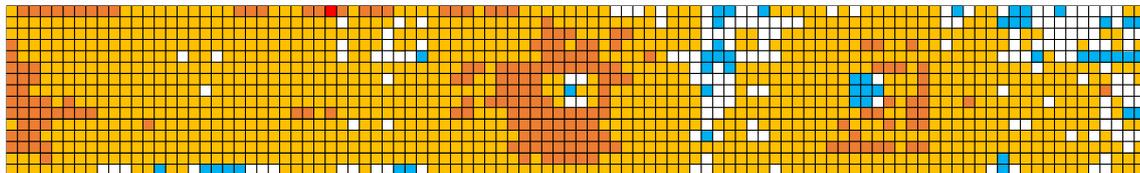
図-4 各手法の計測，処理時間比較図 (分：秒)



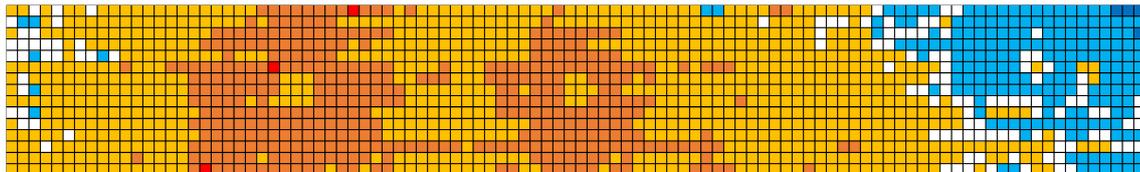
(A) 計測手法①の水準測量値との標高差のヒートマップ (1m~100m)



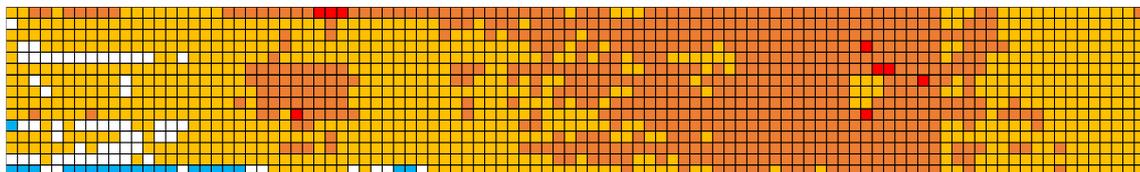
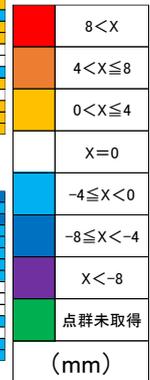
(B) 計測手法①の水準測量値との標高差のヒートマップ (101m~200m)



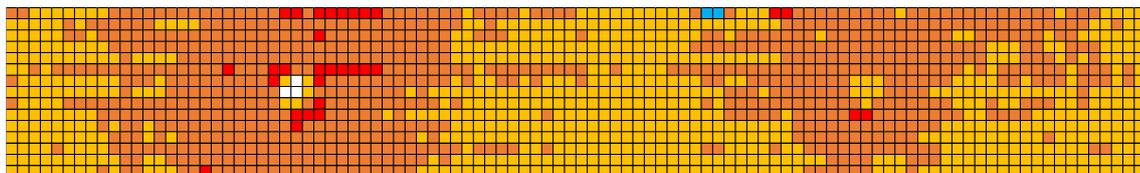
(C) 計測手法②の水準測量値との標高差のヒートマップ (1m~100m)



(D) 計測手法②の水準測量値との標高差のヒートマップ (101m~200m)



(E) 計測手法③の水準測量値との標高差のヒートマップ (1m~100m)



(F) 計測手法③の水準測量値との標高差のヒートマップ (101m~200m)

図-5 各手法の差のヒートマップ

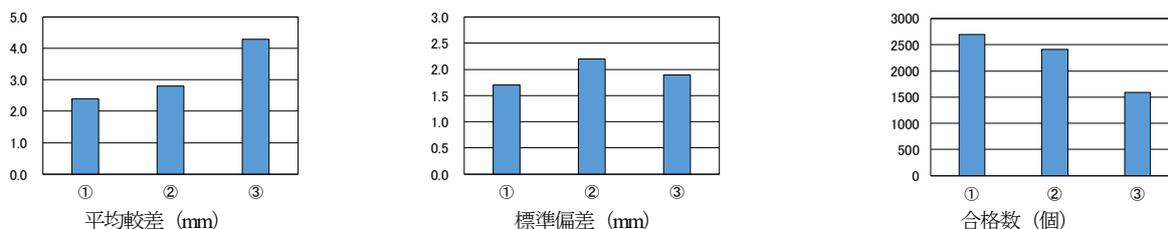


図-6 各手法の水準測量値との平均較差，標準偏差，合格数

3. 実験結果と考察

(1) 計測，データ処理時間

各手法の計測，データ処理時間を表-2 及び図-6 に示す。

a) 計測時間

図-6 から，計測手法①が最も I 計測の時間がかかった。図-2 より，他の手法よりも計測範囲が狭いが，計測回数が多いことが考えられる。また，計測手法②は約 10 分短縮することができたのは，移動距離は長くなるが，計測回数が少ないことが挙げられる。

表-2 より，計測手法②は TS よりも I 計測に要する時間が短かった。計測手法②は全体を TLS で計測しているのかかわらず，一断面しか計測ができない TS よりも早く計測が可能であった。

b) データ処理時間

表-2 より，II 座標変換の時間は，計測手法③が最も短時間で処理ができた。図-2 より計測回数，標定点の個数が多いほど時間がかかる。

III データ抽出では，計測手法①が最も短時間で処理ができた。1 回の計測範囲が狭いため，ノイズが少なく容易に処理をすることが可能であった。

IV ヘルマート変換は，各手法で処理時間は変わらず，また，V グリッドデータ化は，処理時間に差があるが，操作の慣れによるものである。

(2) 水準測量値との差

各手法の 15m×200m の 1m の格子点に囲まれた平均値と格子点の水準測量値の四隅の平均値の差をヒートマップにしたものを図-5 に示し，各手法の平均較差，標準偏差，出来形管理要領の要求精度の表層表面±4mm 以内となったの合格数を表-3，図-6 に示す。

a) ヒートマップ

図-2，図-5 より，各計測手法で機器設置位置に近いほど水準測量値との差が大きくなっていて，機器設置位置直下は，差が小さくなっている。機器設置位置から近いほど，レーザーのノイズの影響が生じたと考えられる。

b) 平均較差，標準偏差

図-6 より，計測手法①，②，③の順で平均較差が小さかった。図-2 より，標定点の間隔が短いほど較差が小

さくなると考えられる。一方，標準偏差は計測手法①，③，②の順となった。図-5 の (D) より，計測手法②は，180m から 200m 付近で水準測量値よりも低い値を示しているため，ばらつきが大きくなったと考えられる。

c) 合格数

図-6 より，計測手法①，②，③の順で出来形管理要領の要求精度の±4mm 以内となった合格数が多かった。図-2 より，標定点の間隔が短い計測手法であるほど，座標変換の誤差を小さくすることができると考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた結果を次にまとめる。

計測時間は計測回数，標定点の個数が多い計測手法では長くなった。データ処理時間は計測回数，標定点の個数が多い手法ほど座標変換に時間がかかった。また，1 回の計測範囲が狭い手法ほどノイズが少なく，データ抽出をする時間が短くなった。

水準測量値との差は標定点の間隔が短いほど小さくなり，出来形管理要領の要求精度の±4mm 以内となった合格数も多くなった。また，どの手法においても機器設置位置付近のデータは大きくなる傾向があった。このような現象が一般的に発生するものであるかを確認するとともに，TLS で計測したデータの有効範囲についても詳細に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：建設施工を巡る諸課題に関するニーズ調査結果について，
<<http://www.mlit.go.jp/common/000987453.pdf>>，
(入手2019.6.1)。
- 2) 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），pp.1-61，2019。
- 3) 近藤弘嗣，森川博邦，舛田裕司，山口敦久，竹本憲充，熊本康明：i-ConstructionにおけるICT舗装工に関する基準類の策定について，土木学会論文集F3（土木情報学），Vol73，No.2，I 83-I 91，2017。
- 4) 国土交通省国土地理院：地上レーザースキャナーを用いた公共測量マニュアル（案），pp.1-55，2018。