

(56) 舗装工事を対象とした地上型レーザー スキャナーの計測精度に関する研究

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: cst018012@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: smurayama@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

従来、出来形管理では巻尺、レベルを用いて、幅、長さ、高さの計測が行われてきた。2016年度から国土交通省では *i-Construction* に取り組んでおり、生産性の向上などを目標としている。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、利用が増加すると見込まれる。そこで本研究は、複数の性能の異なる地上型レーザースキャナーを用いて、出来形管理要領の精度確認試験方法に沿って実験を行い、計測精度について検証した。その結果、出来形管理要領の表層表面で規定されている要求精度（平面方向：±10mm以内、鉛直方向：±4mm以内、）の値に対して、機種ごとに差が出ること及び機種によって要求精度を満たすことが確認できた。

Key Words: TLS, pavement construction, point cloud data

1. はじめに

現在、日本の建設施工は、少子高齢化、低い労働生産性、施工現場の安全確保、社会資本の老朽化等の諸問題がある¹⁾。従来、出来形管理では、巻尺、レベルを用いて、幅、長さ、高さの計測が行われてきた。しかし、2016年から国土交通省では *i-Construction* に取り組んでおり、生産性の向上などが目標としている。その中で2016年3月に国土交通省の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。

TLSによる出来形計測は、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、計測対象点を指定した計測が出来ないことや計測間隔が均一で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、各現場の制約条件を考慮してTLSの測定精度を確認するために、平面方向と鉛直方向の精度確認試験を行う。

本研究は、出来形管理要領の精度確認試験方法（以下、試験方法）に沿って、複数の性能の異なるTLSで計測を行い、平面方向や鉛直方向の計測精度を求め、機種の性能が精度に及ぼす影響を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TLSを用いて実験を行った。

レーザーの照射間隔は、0.20°、0.10°、0.08°、0.06°（LMS-Z210は0.18°、0.108°、0.072°）（VZ-400iは0.01°も含む）に設定した。また、本研究では鉛直方向と水平方向のレーザーの照射間隔は同じ値とする。TLSの器械高を1.5mと設定した。出来形管理要領では1m×1mに100点以上照射されていることが計測可能距離とされており、各照射間隔における最大距離を式(1)により求めた。

$$\frac{\tan^{-1} \frac{L+0.5}{h}}{\alpha} \times \frac{1}{2L \tan \frac{\alpha}{2}} \geq 100 \quad (1)$$

α：照射間隔（°）

L：機器位置から照射点までの水平距離（m）

h：TLSの照射部の高さ（m）

式(1)の設定した照射間隔毎の結果を表-2に示す

平面方向の精度を検証するために、出来形管理要領の試験方法に記載されている図-1のイメージ図を参考に、図-2のように10m以上離れた2つの既知点としてターゲットシートを設置した。設置場所は表-2で求めた最大距離の外側で、トータルステーション（以下、TS）であらかじめ2つのターゲットの中心座標を計測した。

鉛直方向の精度を検証するために、出来形管理要領の試験方法に記載されている図-3のイメージ図を参考に、図-4のように1m×1mの検査面を設置し、レベルを用いて四隅の標高を求めた。

表-1の4機種を用いてターゲットと検査面を含む範囲を設定した照射間隔で計測する。

表-1 各機種の性能

機種名	(A) LMS-Z210	(B) LMS-Z360i	(C) LMS-Z420i	(D) VZ-400i
スキャナー画像				
測定精度	25mm	12mm	8mm	5mm
測定レート	10,000点/秒	12,000点/秒	11,000点/秒	500,000点/秒
ビームの広がり角	3mrad	2mrad	0.25mrad	0.35mrad
最長測定距離	340m	200m	1000m	800m
照射間隔(°)	計測時間(計測範囲45°の場合)			
0.20	0'23"	0'22"	0'22"	0'06"
0.10	1'06"	1'30"	1'30"	0'22"
0.08	2'30"	2'21"	2'21"	0'34"
0.06	—	4'10"	4'09"	1'00"
0.01	—	—	—	11'46"

表-2 照射間隔と最大距離

照射間隔(°)	0.20	0.10	0.08	0.06	0.01
最大距離L(m)	10	16	19	23	70

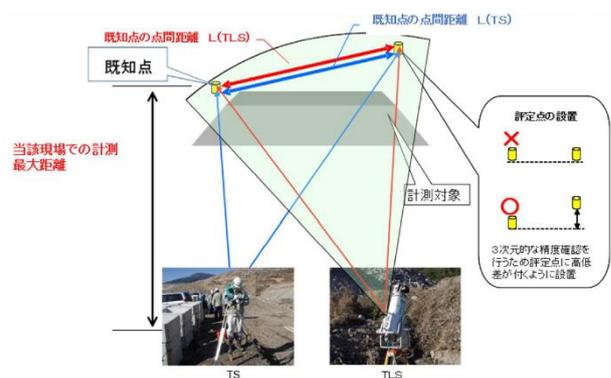


図-1 平面方向試験方法イメージ図²⁾



図-2 ターゲット設置方法

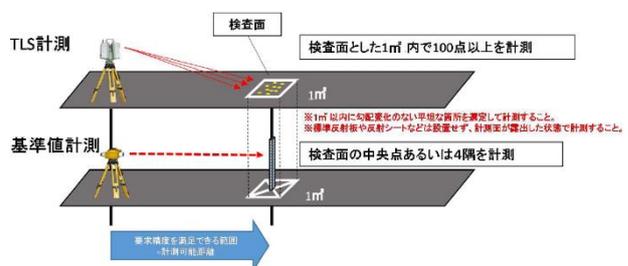


図-3 鉛直方向の試験方法イメージ図²⁾

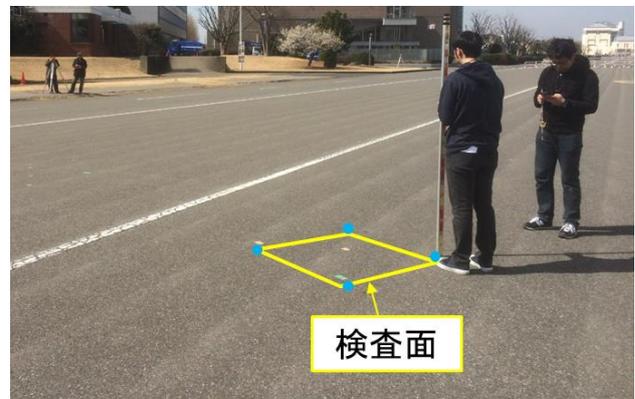


図-4 検査面設置方法

(2) 解析方法

計測で得た点群データを解析して、平面方向、鉛直方向の精度を検証する。平面方向の精度は、既知点（ターゲット）間距離を TS で観測した点間距離と TLS で計測した点間距離の差によって求める。鉛直方向の精度は、1m×1m に照射された点群の鉛直方向の座標の平均値とレベルの四隅の平均値との差、標準偏差、最大値と最小値の差を比較する。

3. 実験結果と考察

(1) 平面方向の精度

最大距離における TLS の TS とターゲット間距離の結果を、表-3及び図-5に示す。また、19m地点のターゲットの点群照射画像を図-6に示す。

出来形管理要領の平面方向の要求精度は、表層表面で±10mm以内である。表-3よりLMS-Z420iは一部を除き要求精度を満たすことができなかった。LMS-Z360iよりも機種別の性能は良いが、図-6の左ターゲットのノイズが生じていることが原因と考えられる。

図-6より、TLSから同距離に設置してある同じターゲットの点群照射画像であるが、機種によってターゲットの形状が異なるデータを取得している。VZ-400iのようにターゲットの形状を正確に計測できるとTSとの差も小さくなると考えられる。

表-3 TLSとTSのターゲット間距離の比較

機器からの距離 (照射間隔)	(A) LMS-Z210		
	TS実測値(m)	TLS実測値(m)	TSとの差(m)
10m(0.20°)	12.425	12.406	-0.019
16m(0.10°)	12.187	12.180	-0.007
19m(0.08°)	12.500	12.507	0.008
23m(0.06°)	-	-	-
70m(0.01°)	-	-	-
機器からの距離 (照射間隔)	(B) LMS-Z360i		
	TS実測値(m)	TLS実測値(m)	TSとの差(m)
10m(0.20°)	12.425	12.433	0.007
16m(0.10°)	12.221	12.220	-0.001
19m(0.08°)	12.515	12.514	-0.002
23m(0.06°)	12.319	12.317	-0.002
70m(0.01°)	-	-	-
機器からの距離 (照射間隔)	(C) LMS-Z420i		
	TS実測値(m)	TLS実測値(m)	TSとの差(m)
10m(0.20°)	12.412	12.395	-0.017
16m(0.10°)	12.197	12.194	-0.003
19m(0.08°)	12.536	12.526	-0.010
23m(0.06°)	12.363	12.360	-0.004
70m(0.01°)	-	-	-
機器からの距離 (照射間隔)	(D) VZ-400i		
	TS実測値(m)	TLS実測値(m)	TSとの差(m)
10m(0.20°)	12.397	12.388	-0.009
16m(0.10°)	12.214	12.213	-0.001
19m(0.08°)	12.526	12.525	-0.001
23m(0.06°)	12.302	12.302	0.000
70m(0.01°)	12.419	12.423	0.004

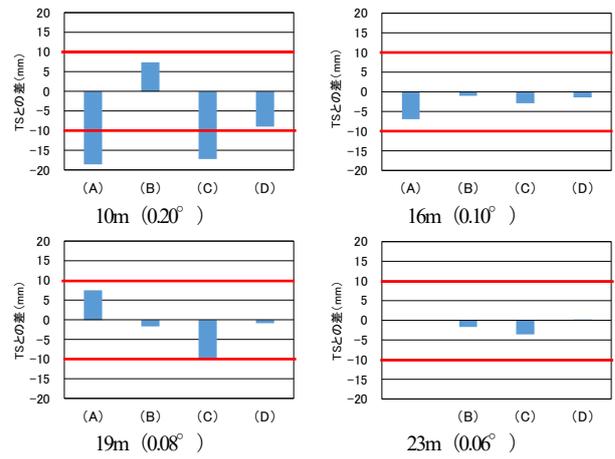


図-5 機種毎のターゲット間距離のTSとの差

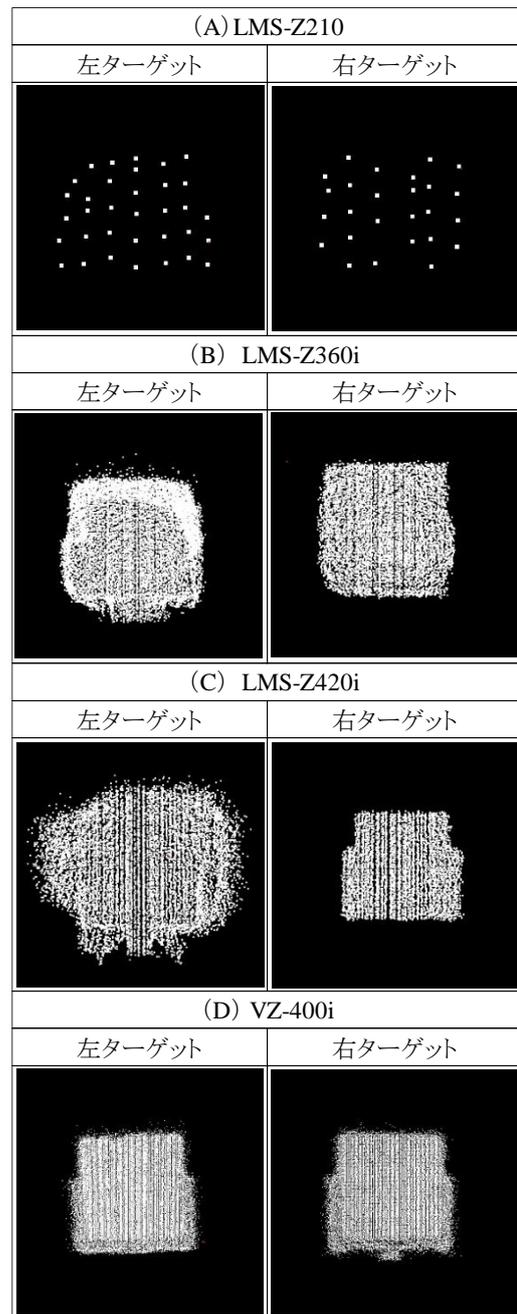


図-6 19m地点の点間距離で用いたターゲットの照射画像

(2) 鉛直方向の精度

照射間隔 0.08° ，機器設置位置から 19m 地点にある検査面の TLS とレベルの平均値の差，標準偏差，RMS 誤差，最大値と最小値の差を表-4，図-7，標高の点群の分布を図-8 に示す。また，検査面の点群照射画像を図-9 に示す。

出来形管理要領の鉛直方向の要求精度は，表層表面で $\pm 4\text{mm}$ 以内である。図-7 より，LMS-Z210 を除いた 3 機種は，要求精度を満たしている。LMS-Z210 は，機器の測定精度やビームの広がり角が大きいため，図-9 より，点群数は他機種よりも多いが，検査面の形状を正確に計測できず，各項目の結果が大き値となった。また，VZ-400i は検査面を満遍なく計測することができているため，図-7 より一番良い結果となった。図-8 より点群の分布もレベルの最大値と最小値の範囲内に収まっており，検査面の形状を正確に計測できていると考えられる。

表-4 TLS とレベルの標高計測値比較

機種名	レベル	(A) LMS-Z210	(B) LMS-Z360i	(C) LMS-Z420i	(D) VZ-400i
平均値 (m)	28.077	28.069	28.078	28.073	28.076
レベルとの差 (m)	-	-0.008	0.001	-0.004	-0.001
標準偏差 (m)	-	0.007	0.006	0.005	0.004
RMS 誤差 (m)	-	0.010	0.006	0.006	0.004
最大値 (m)	28.085	28.084	28.089	28.082	28.084
最小値 (m)	28.069	28.047	28.064	28.065	28.068
最大値-最小値 (m)	0.016	0.037	0.025	0.017	0.016

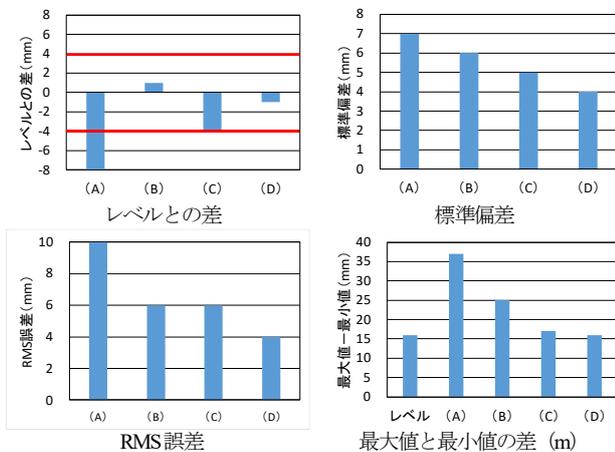


図-7 機種毎の鉛直方向の比較図

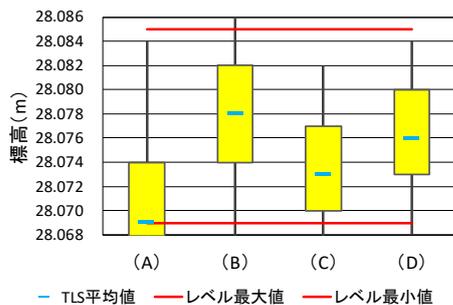


図-8 点群の分布

機種名	(A) LMS-Z210	(B) LMS-Z360i	(C) LMS-Z420i	(D) VZ-400i
0.20 10m地点				
点群数(個)	156	123	115	257
0.10 16m地点				
点群数(個)	100	112	122	124
0.08 19m地点				
点群数(個)	140	115	111	112
0.06 23m地点				
点群数(個)	-	113	105	111
0.01 70m地点				
点群数(個)	-	-	-	151

図-9 1m×1m 検査面の照射画像と点群数

4. おわりに

本研究では，出来形管理要領に沿って複数の異なる性能の TLS の精度を検証した。平面方向の精度は，一部を除き，要求精度を満たしていた。ターゲットに照射された点群にノイズが生じると精度が劣化してしまうと考えられる。また，鉛直方向の精度では，LMS-Z210 を除く 3 機種は要求精度を満たすことができた。VZ-400i は最も測定精度が高く，他機種と異なり点群が満遍なく照射される特徴により，検査面の再現性が高く，他機種より良い結果が得られたと考えられる。

今後は，その他の機種や他メーカーの機種を用いて，出来形管理要領の要求精度や要求条件の評価についても検討をしていきたい。

参考文献

- 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：2018.6.1)。
- 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. 1-58, 2018.