

地上移動体搭載型レーザースキャナの 出来形測定適用へ向けた性能検証

澤城光二郎^{*1}・早川健太郎^{*1}・黒台昌弘^{*1}・田嶋誠司^{*2}

3次元レーザースキャナ(LS)による新しい測定方法の一つとして手押し式台車にLSを搭載した地上移動体搭載型LSがある。この装置を用いて技術研究所内の道路や廊下、屋外実験場をそれぞれ道路工やトンネル工(小断面)、土工で出現する作業エリアに見立てて測定を実施し、3次元点群データを取得した。取得データから精度検証を行い、地上移動体搭載型LSが先に挙げたような工種の出来形測定に適用可能かどうかを検討した。その結果、国土交通省の出来形管理基準を満足する項目が明らかになり、地上移動体搭載型LSの各工種への適用可能性を確認した。また、測定精度向上に向けた今後の課題も明らかになった。

キーワード：地上移動体搭載型レーザースキャナ、点群データ、出来形管理、i-Construction

1. はじめに

i-Constructionの柱の一つである「ICTの全面的な活用」の取組みが進む中、3次元レーザースキャナ(以下、LS)による現場測定は標準的な技術となっている。3次元LSによって取得される点群データは1点1点が3次元の座標データを持っているため、現場の地形や構造物を点群として再現し進捗管理や出来形管理に活用することができる。LSによる測定手法には地上設置型(TLS)や車両搭載型(MMS)、UAV搭載型(ULS)等複数の種類があり、測定対象や現場条件によって使い分けがなされている。

そのような3次元LSによる新しい測定方法の一つとして手押し台車による地上移動体搭載型LSがある。この方法は移動しながら測定を行うため、TLSでは必要な盛り換えの手間が不要となり、効率的な作業が可能である。また、MMSではサイズの面で進入が難しい狭い場所でも、地上移動体搭載型LSであれば中に入って測定を行えるといった機動面での利点も挙げられる。現在、この地上移動体搭載型LSは主に道路舗装の出来形管理等に利用されており利用件数が増えている。一方でその他の工種への採用事例は多くないため、どのような工種に適用可能であるかの精度検証や現場適用を進めていくための測定ノウハウの蓄積が必要である。

そこで、本研究では地上移動体搭載型LSの基本的な精度検証および測定作業における作業効率を確認することを目的とし、地上移動体搭載型LSによる3次元点群測定を実施した。以下に本論文の構成を示す。2章では地上移動体搭載型LSの基準類と本実験に使用した機器について説明する。3章では本実験の概要と結果、それに対する考察を示す。4章では本研究の成果をまと

めて結論とする。

2. 地上移動体搭載型LSについて

2.1 i-Constructionにおける実施要領と基準値

i-Constructionにおける地上移動体搭載型LSの基準として「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(案)」、「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領(案)」がそれぞれ舗装工事編¹⁾²⁾と土工編³⁾⁴⁾で存在する。その中では地上移動体搭載型LS本体に要求される測定精度が示されており、例えばアスファルト舗装の出来形管理では表層で鉛直精度 $4 \pm \text{mm}$ 、水平精度 $\pm 10\text{mm}$ 以内、土工の出来形管理では $\pm 50\text{mm}$ 以内と規定されている。

また、「レーザースキャナを用いた出来形管理の試行要領(案)(トンネル編)」⁷⁾には測定精度が測定範囲内で $\pm 5\text{mm}$ 以内と規定されている。本実験ではこれらの規格値を基に各工種への適用可能性を検証する。

2.2 使用機器と測定方法

地上移動体搭載型LSとしてライカジオシステム社の「Leica ProScan(以下、ProScan)」⁵⁾を用いて測定を実施した。ProScanの測定方法を図-1に示す。ProScanはレーザースキャナ、慣性測定装置(IMU)、追尾用プリズム、移動用台車等で構成されており、測定は人力で台車を押し移動しながら行う。座標既知点に設置した自動追尾トータルステーション(以下、追尾TS)でLS本体を常に追尾し、その走行軌跡をそのTSで記録しながらProScanでスキャニングを行う。また、IMUは時間経過とともに位置誤差が蓄積するため、その誤差を

*1 先端・環境研究部 *2 株式会社小林コンサルタント

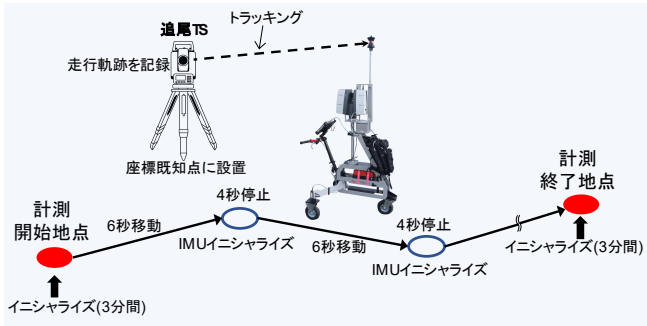


図-1 ProScan を用いた測定方法

補正するために6秒移動する毎に4秒間停止しIMUを初期化するという動作を繰り返す。現場測定の後、点群データと軌跡データ、IMUの姿勢データを合成することで、測定範囲の3次元データを構築する。本装置は、機器性能として水平精度10～20mm、鉛直精度5～10mmを有している。測定の際の留意点として、移動経路上(装置の真下部)は死角となり点群が取得できないことや測定の開始前と終了後の各3分間は装置を停止させイニシャライズを行う必要があること、測定中は追尾TSとの視通を常に確保しておく必要があること等が挙げられる。

3. 地上移動体搭載型LSの性能検証実験

本章では安藤ハザマ技術研究所内の外周道路、屋内廊下、屋外実験場をそれぞれ道路工、トンネル工(小断面)、造成工の現場に見立てて実施した3つの実験について、その内容と結果を示す。各実験ともに精度検証には白黒のボードを検証点として使用した(図-2)。測定経路上に設置した検証点のX,Y,Z座標をトータルステーションを用いて測定し、その値を真値として地上移動体搭載型LSで取得した点群上での座標との較差から精度検証を行った。

3.1 道路工事を想定した実験

(1) 実施目的

地上移動体搭載型LSは道路工の出来形管理に活用されていることは前に述べたが、道路工では舗装の他に縁石や側溝、白線等の付帯設備の出来形を測定する必要がある。今回の測定は、地上移動体搭載型LSがそれらの測定に活用できるかを検証することと、道路測定のノウハウを蓄積することを目的とし技術研究所の外周道路で実施した。

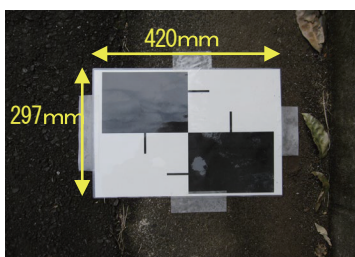


図-2 使用した検証点

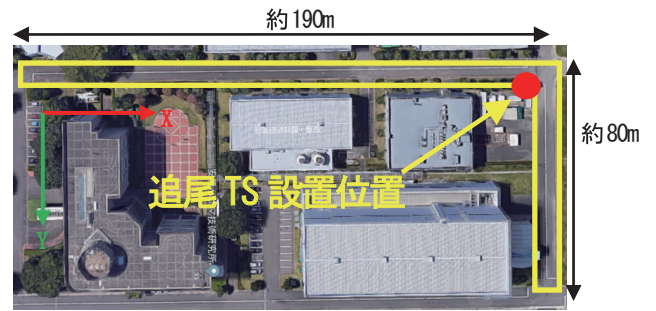


図-3 外周道路測定箇所

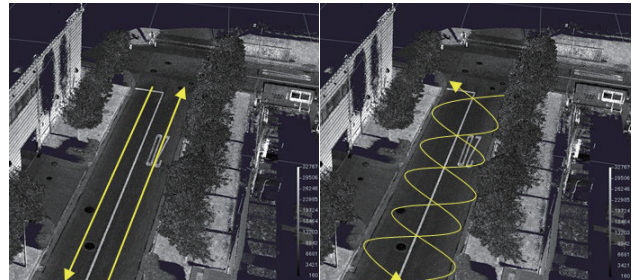


図-4 測定経路パターン(直線・波形)

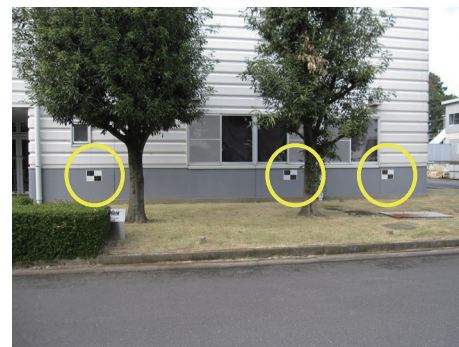


図-5 検証点設置状況

(2) 実施内容

実験は実際の現場運用を想定し、直角のカーブを含むL字型の舗装道路で実施した(図-3)。また、地上移動体搭載型LSの測定経路を図-4に示すように直線、波形の2パターン設定し、作業効率と測定精度の面でどちらかに優位性があるかの検証を行った。測定は直線、波形ともに測定対象のデータを欠損なく取得するために外周道路を往復して測定し、それを3往復実施した。実験では検証点を道路周辺の壁面、路面上それぞれ10点ずつ計20点を道路の両側に図-5のように設置し、精度検証を行った。また、測線測定精度を評価するため、測定経路上の横断歩道の白線を巻尺で測定し、点群上で測定した同じ箇所の寸法と比較検証した。

(3) 測定結果

2種類の測定経路における検証点精度の一例を図-6に示す。また全ての測定データについて較差の平均、標準偏差、較差の最大・最小値をまとめたものを表-1に示す。直線の水平精度については最大較差がX方向の-44mm、標準偏差はX方向の14mmが最大であった。鉛直精度については最大較差が-22mm、標準偏差は5mmとなった。一方波形の

水平精度については最大較差が X 方向の 43mm、標準偏差は X 方向の 15mm が最大となった。鉛直精度は最大較差が 19mm、標準偏差は 5mm となった。また、全体として X 方向の精度が Y,Z 方向と比べて劣る傾向を示した。

この結果から直線と波形で精度に明確な差は見受けられなかった。そのため、これ以降は直線のデータを使用して比較検証を行うこととした。

次に検証点を路面上と壁面上のものに分けて比較した。それぞれの較差の平均、標準偏差、較差の最大・最小値の結果を表-2に示す。路面上の水平精度については最大較差が X 方向の -26mm、標準偏差は X 方向の 12mm が最大であった。鉛直精度については最大較差が -15mm、標準偏差は 5mm となった。一方、壁面上の水平精度については最大較差が X 方向の -44mm、標準偏差は X 方向の 16mm が最大であった。鉛直精度については最大較差が -22mm、標準偏差は 5mm となった。路面上の検証点は壁面上と比較して Y 方向の標準偏差が大きな値を示した。

国土交通省の出来形管理要領¹⁾では、表層出来形の要求精度は水平精度±10mm、鉛直精度4mmとなっており、これを満たさない検証点が存在した。

測線測定精度の検証では外周道路上の横断歩道の白線を対象とした。図-7に示すように No.1 から No.7 の白線の4辺をそれぞれ a, b, c, d として巻尺での測定を行い、その値を真値として点群上で測定した値との較差を求めた。測線精度の度数分布を図-8に、測定結果の一覧を表-3に示す。今回測定した測線の8割以上が較差10mm以内であった。

表-1 直線-波形検証点精度まとめ

使用データ (mm)	直線		
	x	y	z
最大値	27	12	12
最小値	-44	-16	-22
平均	-5	-5	-1
標準偏差	14	6	5

使用データ (mm)	波形		
	x	y	z
最大値	28	28	19
最小値	-43	-25	-10
平均	-5	-2	-1
標準偏差	15	8	5

表-2 路面上-壁面上検証点精度まとめ

使用データ (mm)	路面上検証点		
	x	y	z
最大値	25	12	12
最小値	-26	-16	-15
平均	0	-4	-2
標準偏差	12	8	5

使用データ (mm)	壁面上検証点		
	x	y	z
最大値	27	2	9
最小値	-44	-10	-22
平均	-6	-3	-1
標準偏差	16	3	5

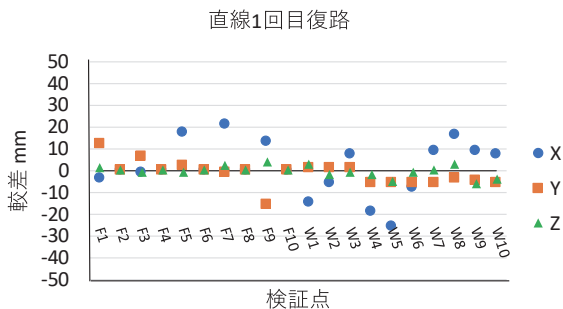


図-6 検証点精度の例（直線-波形）

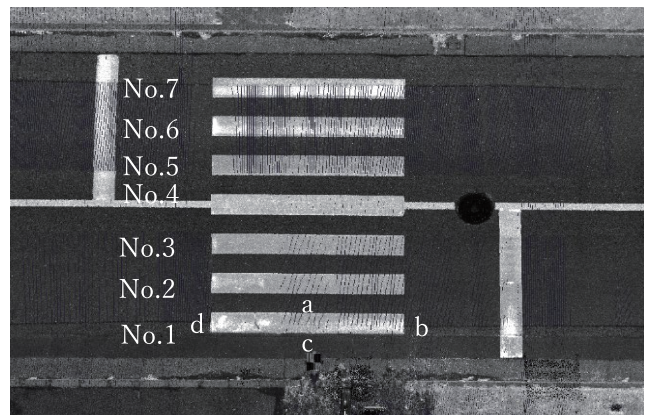


図-7 測線精度測定箇所

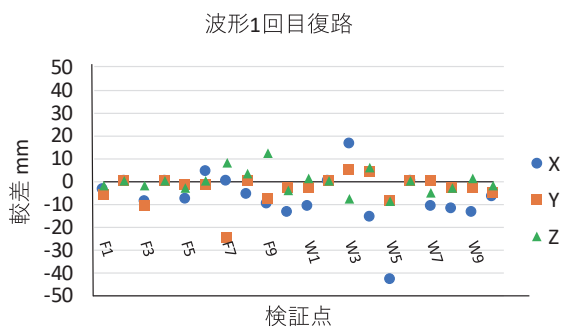


図-8 測線精度度数分布

(4) 考察

検証点精度を測定経路の直線、波形で比較すると較差、標準偏差ともに明確な差は見られなかった。一方、表-4に示すように波形での測定は直線に比べて1回当たり平均3分ほど長くかかることから作業効率の面で直線での測定が妥当であるとわかった。

また、X方向の精度が他と比較して劣る要因として、X方向が地上移動体搭載型LSの進行方向と一致しているデータが多かったことが挙げられる。手押し台車を人力で押して移動するため、進行方向の点群間隔は移動速度に影響を受けると考えられる。図-9から点群上の検証点でも進行方向における点群の粗密が確認できる。この点群間隔のむらが点群上で検証点の中心を抽出する際に悪影響を与え、精度に影響したのと考えられる。

次に、路面上と壁面上の検証点の精度を比較すると、路面上ではX方向だけでなくY方向の精度も劣っていた。この要因として壁面上に比べ路面上はレーザーの入射角が小さくなり、レーザーのスポット径が大きくなったことが挙げられる。LSはビームが対象に当たったスポットから1つの値をデータとして取得するため、スポット径が大きくなったことにより、その値のばらつきが大きくなり、精度を低下させたものと考えられる。

測線測定精度は概ね10mm以内となり、使用機器が持つ性能以上の精度という結果となった。これは測定した白線と

アスファルト路面の白黒のコントラストが際立っており境界を検出しやすかったこと、白線が測定路面上にあったため測定距離が数mと比較的小さかったことが挙げられる。

このような結果から、地上移動体搭載型LSは道路近傍の付帯設備の寸法測定に有効であるといえる。一方で検証点精度では一部要求精度以下の点が存在するため、今後誤差要因を検討し、改善していく必要がある。

表-4 直線-波形測定時間比較

測定時間(分)	直線	波形
1回目往路	17	15
1回目復路	16	16
2回目往路	12	18
2回目復路	12	17
3回目往路	14	19
3回目復路	15	19
平均	14	17

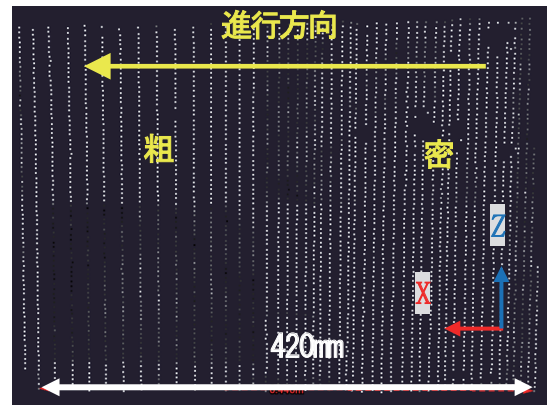


図-9 壁面検証点上での点群間隔のむら

表-3 測線精度検証結果(単位 mm)

測点		a	b	c	d
No.1	実測	4005	450	4010	450
	点群	3991	447	4015	454
	(点群-実測)	-14	-3	5	4
No.2	実測	4010	449	4010	453
	点群	4006	452	4004	463
	(点群-実測)	-4	3	-6	10
No.3	実測	4006	450	4010	450
	点群	4003	451	4006	458
	(点群-実測)	-3	1	-4	8
No.4	実測	4012	453	4015	455
	点群	4019	458	4019	454
	(点群-実測)	7	5	4	-1
No.5	実測	4008	450	4003	450
	点群	4010	453	4016	451
	(点群-実測)	2	3	13	1
No.6	実測	4005	449	4010	450
	点群	4000	450	4015	448
	(点群-実測)	-5	1	5	-2
No.7	実測	4015	451	4010	453
	点群	4016	452	4034	447
	(点群-実測)	1	1	24	-6

3.2 小断面トンネルを想定した実験

(1) 実施目的

小規模発電用水路トンネルや上下水道、農業用水路といった小断面トンネルは、重要な社会インフラであるが、建設後40～50年が経過したものも多い。一方、地上移動体搭載型LSは、MMSではサイズの面で進入が難しい狭隘な場所でも、中に入って測定できるといった利点があることから、地上移動体搭載型LSがこうした構造物内の出来形測定に活用できると考え、測定精度等を確認するための性能検証を行った⁶⁾。



図-10.1 測定状況

図-10.2 測定経路と検証点設置

(2) 実験内容

実験は小断面トンネルを想定し、高さ方向約 2.8m、幅方向約 2m、測定距離約 17m の技術研究所内の廊下において実施した(図-10.1)。測定を行う上での懸念事項として、①装置の下側向脇 1m 程度がレーザーの当たらない死角となるため、幅員の狭い通路を不足なく測定できるか、②レーザーの照射距離や方向が測定精度にどのような影響を与えるのかの 2 点があった。そこで、廊下の長手方向に向かって左右側を往路・復路に分けて移動し、廊下全体が測定範囲に入るような測定を行った。壁面の検証点はレーザー照射距離・方向の精度検証のために 2 枚縦に並べて設置した。加えて自立式の検証点 (TG5, TG6) を 2 箇所設置した(図-10.2)。さらに、測線測定精度を評価するため、廊下の幅員 2 箇所、壁面ブロックの縦横の幅 4 箇所を鋼製巻尺により測定し、点群上で測定した測線の長さと比較検証した。

(3) 測定結果

実験により得られた点群を図-11 に示す。廊下を左右に分けて往復測定したことで廊下の床面・天井面の端部についても確実に測定できている。また、測定の際、壁面と LS との離隔が最も近い箇所で約 40cm と近距離であったが、これについても支障なく点群を取得することができた。次に図-12 に往路・復路それぞれの検証点精度結果の一例を示す。往路・復路ともに TG1 (照射方向: 斜め上), TG2 (照射方向: 真横) の較差は、数 mm 程度であることから、照射方向による有意な差は認められないことがわかる。検証点の較差を整理したものを表-5 に示す。図-11 に示す X, Y 方向に比べ Z 方向の較差の平均・標準偏差が小さい傾向にあることがわかった。

次に、測線の鋼製巻尺による実測値と点群上での測定値の較差の結果は表-6, 7 のようになった(測定箇所: 図-13, 14)。ここで、国土交通省の出来形管理要領⁷⁾では、出来形測定の精度が測定範囲内で ± 5mm 以内となっており、今回の測線測定(幅員)は全てこの精度を満たしている。壁面については測定した 8 箇所のうち 6 箇所がこの基準を満たす結果となった。

(4) 考察

本実験で使用した地上移動体搭載型 LS は測定経路直下の幅約 2m の範囲が死角となるため、幅 2m 程度の小断面を測定する際は、できるだけ壁面側に寄って往復で測定することで床面端部についても十分にデータを取得できることがわかった。

水平方向のばらつきが鉛直方向よりも大きくなる結果となったが、これは今回使用した地上移動体搭載型 LS の機器性能と一致している。また、水平方向の点群間隔は前述の外周道路での実験で述べたように、台車を押す移動速度に影響されるため、移動速度が一定でなかったことによ

り、点群間隔がばらついたことが精度に影響したと考えられる。

測線測定精度については、今回のように小断面内空の測定では、LS から測定対象までの距離が非常に近距離となるため点群密度も大きくなり、対象の形状を細密に再現できたことで多くの測線で数 mm という精度を実現できたものと考えられる。このことから、地上移動体搭載型 LS は小断面トンネルの測定に有効な方法だと考えられる。

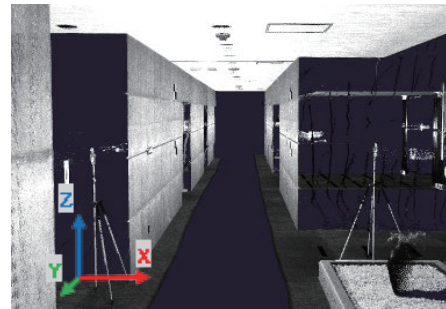


図-11 取得点群データ

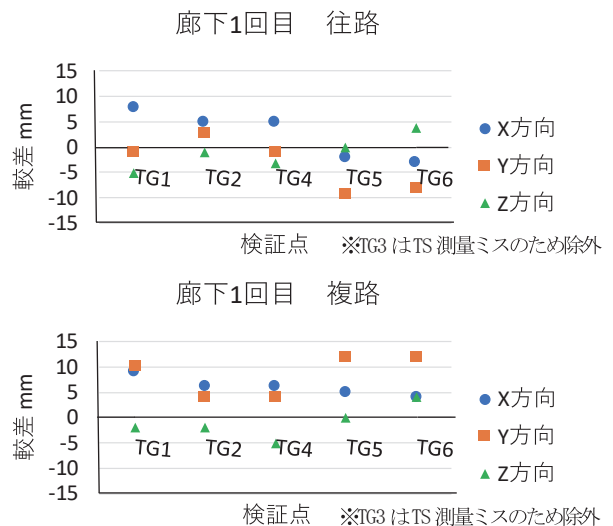


図-12 検証点座標精度(往路-復路)

表-5 検証点較差結果まとめ

使用データ (mm)	屋内廊下往復		
	X方向	Y方向	Z方向
最大値	9	12	4
最小値	-3	-9	-1
平均	4	3	-1
標準偏差	4	8	3



図-13 測線測定箇所(幅員)

表-6 測線測定の精度検証結果(床)

測線1	幅員(mm)	測線2	幅員(mm)
実測	2070	実測	2072
点群	2067	点群	2071
(点群-実測)	-3	(点群-実測)	-1

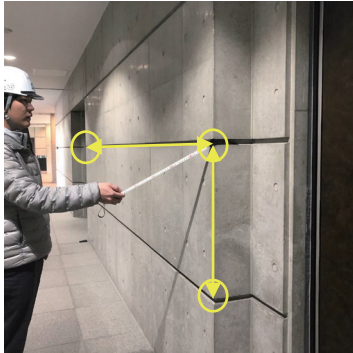


図-14 測線測定箇所(壁1)

表-7 測線測定の精度検証結果(壁)(単位mm)

廊下壁		横	縦
No.1	実測	4320	685
	点群	4315	686
	(点群-実測)	-5	1
No.2	実測	2684	687
	点群	2663	684
	(点群-実測)	-21	-3
No.3	実測	5075	686
	点群	5074	686
	(点群-実測)	-1	0
No.4	実測	4325	685
	点群	4317	684
	(点群-実測)	-8	-1

3.3 造成工事を想定した実験

(1) 実施目的

点群データによる土量測定の手法としてMMSやUAV写真測量、UAVレーザー測量があり、これらは当社において既に実現場に導入されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。これに対して、地上移動体搭載型LSの造成工事への適用事例が少ないことから、その精度や適用可能な工種を確認することを目的として実験を行った。

(2) 実験内容

範囲が約30m×40mの未舗装(碎石)の屋外実験場を円を描くように走行し、測定を実施した(図-15)。検証点は測定経路の円外に4点設置した。また、追尾TSの設置位置が測定精度に与える影響を検証するため、図-16のように追尾用TSを測定経路の円内、円外に設置してそれぞれ反時計周りに3周ずつ測定を実施した。



図-15 屋外実験場における測定状況

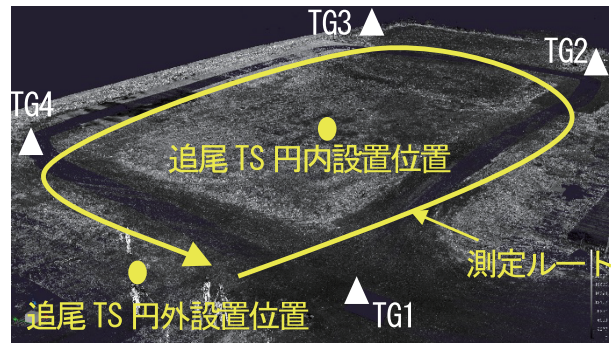


図-16 測定経路と追尾用TS設置位置

(3) 測定結果

検証点座標精度の結果の一例を図-17に示す。また、較差の平均、標準偏差、較差の最大・最小値をまとめたものを表-8に示す。追尾用TSの円外設置の場合、水平精度については最大較差がX方向の25mm、標準偏差はX方向の12mmが最大となった。鉛直精度では最大較差は14mm、標準偏差は5mmという結果となった。

円内設置の場合、水平精度については最大格差がY方向の32mm、標準偏差はY方向の16mmが最大となった。鉛直精度では較差は最大で10mm、標準偏差は3mmという結果となった。これらの結果は国土交通省の定める造成工事の出来形管理³⁾における必要精度(±50mm)を満足している。

(4) 考察

前述のように、追尾TSを測定経路の円内、円外に置いたときの測定精度に明確な差は見受けられなかった。このことから今回の実験のような30m~40mの範囲を測定するような造成工事等においては、追尾用TSから地上移動体搭載型LSまでの距離と設置位置は精度に大きな影響を与えないことがわかった。また、これまでの章でも触れたように、水平精度は鉛直精度に比べ劣る結果となった。移動体の走行性については碎石上であれば実用上問題なく走行できたが、さらに条件の悪い地面の場合は移動による振動を抑えるために台車や車輪等について工夫が必要である。

4. 結論

本研究では安藤ハザマ技術研究所内の外周道路、屋内廊下、屋外実験場をそれぞれ道路工、トンネル工(小断面)、造成工の現場に見立てて実施した。以下にそのま

とめを示す。

(1) 外周道路

- 1) 測定経路のパターンを直線、波形とした場合、両者の測定精度に明確な差は見受けられなかった。
- 2) 手押し台車を押して移動するため、進行方向の点群間隔が移動体の移動速度に影響を受け、点群の粗密が発生して点群密度がばらつくことで、検証点精度を低下させているものと考えられる。
- 3) 路面上の検証点は壁面上に比べレーザーの入射角が小さくなり、レーザーのスポット径が大きくなったことが影響して検証点精度が低くなったと考えられる。
- 4) 測線測定精度は概ね10mm以内となったため地上移動体搭載型LSは道路近傍の付帯設備の出来形測定に有効であるといえる。

(2) 小断面トンネル

- 1) 幅 2m 程度の矩形小断面構造物において床面端部のデータも十分に取得できることがわかった。
- 2) 水平方向のばらつきが鉛直方向よりも大きくなる要因として追尾用 TS と地上移動体搭載型 LS の位置関係、移動速度のばらつきが影響していると考えられる。
- 3) 測線測定精度は、国土交通省の出来形測定基準を、測定範囲の大部分で満たしており、小断面トンネルへの適用可能性を確認することができた。

(3) 造成工事

- 1) 国土交通省の出来形管理基準（± 50mm 以内）を満たしており造成工事に適用可能な精度を有することを確認した。
- 2) 今回の実験範囲では、追尾用 TS の設置位置や追尾用 TS から地上移動体搭載型 LS までの距離は精度に影響しないことがわかった。
- 3) 凹凸の大きい測定場所を円滑に移動するためには現状の車輪では難しいことが予想され、耐久性や振動抑制方法を検討する必要があるものと考えられる。

本研究の成果から地上移動体搭載型 LS が道路工、小断面トンネル等の内空測定、造成工事の出来形等の点群測定に適用可能性を有することがわかった。この測定手法が現場に導入されれば、効率的な現場出来形測定により生産性向上が期待できる。今後はその他の 3 次元 LS による測定手法との比較の中で、要求される精度、測定環境等を考慮して最も効率的かつ経済的に活用できる適用先を考えていきたい。

また、本研究で見つかった課題として、手押し台車の移動速度による点群間隔のむら等、作業上の外的要因が結果に影響する点が挙げられる。こうした課題については、実現場での測定を通じて測定ノウハウを蓄積していくことで対策を検討していきたい。

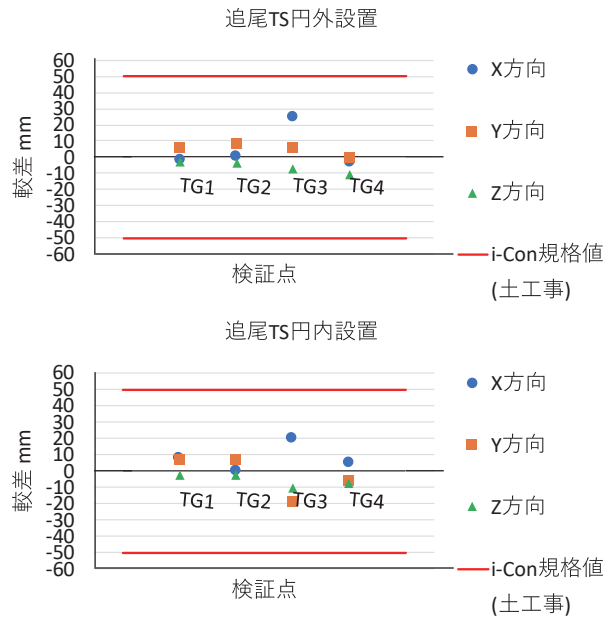


図-17 検証点座標精度（円外-円内）

表-8 検証点較差結果まとめ

使用データ (mm)	追尾用TS円外設置		
	x	y	z
最大値	25	21	-1
最小値	-3	-3	-14
平均	9	7	-7
標準偏差	12	7	5

使用データ (mm)	追尾用TS円内設置		
	x	y	z
最大値	20	23	-1
最小値	-7	-32	-10
平均	8	-3	-5
標準偏差	8	16	3

参考文献

- 1) 「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」H31.4
- 2) 「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領（舗装工事編）（案）」H31.4
- 3) 「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領（土工編）（案）」H31.4
- 4) 「地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）」H31.4
- 5) ライカジオシステム社：Leica ProScan モバイル・リアリティキャプチャ・システム、
<<https://leica-geosystems.com/ja-jp>>,
(2019.3.25 入手)
- 6) 澤城光二郎, 早川健太路, 黒台昌弘, 田嶋誠司：小断面トンネルでの活用を目的とした地上移動体

搭載型レーザーキャナ性能実験 土木学会第74
回年次学術講演会講演概要集,

- 7) 国土交通省：レーザーキャナを用いた出来形管理の試行要領（案）（トンネル編），H29.3
- 8) 大伴真吾，中野一也，垣内力，白石宗一郎：MMS を利用した土工出来形計測実証，先端測量技術，108号，pp.22-29，2016
- 9) 木付拓磨，早川健太郎，黒台昌弘，足立有史，白石宗一郎，大伴真吾：i-Construction を視野に入れたMMSによる起工測量での精度検証，土木学会 第72回年次学術講演会講演論文集，pp.1463-1464，2017
- 10) 武石学，澤正樹，黒台昌弘，早川健太郎，中野一也，鈴木秀夫：土工出来形計測を対象としたUAVレーザーキャナの基礎的な性能評価実験，pp.1465-1466，2017

Performance Verification of Land Mobile Laser Scanner
for Pre-Construction Surveys

Kojiro SAWAKI, Kentaro HAYAKAWA, Masahiro KURODAI and Seiji TAJIMA

One of the new measurement methods uses a land mobile laser scanner equipped with a 3D laser on a hand cart. Using this device, we measured the roads, corridors, and outdoor test sites in the Technical Research Institute as work areas that appeared in road works, tunnel works (small sections), and earthworks, and acquired 3D point cloud data. The accuracy was verified from the acquired data, and it was examined whether the ground mobile-mounted LS can be applied to the measurement of the finished type. As a result, it was possible to clarify items that satisfy the management standards of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, and applicability of the ground mobile unit LS to each type of work could be confirmed. In addition, we could obtain future issues for improving measurement accuracy.