

ICT 舗装工における出来形計測の検証と考察

(株)NIPPO 総合技術部 機械開発グループ ○其田 直樹
相田 尚
駒坂 翼

1. はじめに

i-Construction のトップランナー施策である ICT の全面的な活用において、更なる生産性向上を目指すことを目的に、2017 年度より ICT 舗装工の取り組みが開始された。ICT 舗装工とは、3 次元起工測量、3 次元設計データ作成、ICT 建設機械による施工、3 次元出来形管理等の施工管理、3 次元データの納品の全ての段階で ICT 施工技術を活用することである。ICT 舗装工の起工測量および表層工の出来形管理では、地上型レーザスキャナ（以下、TLS）を用いた 3 次元測量が必須となっている。TLS によって取得された 3 次元データを用いることで、従来の管理とは異なった面的な管理が可能となり、立体的な視点で評価できることから、今後の道路マネジメントにおける有効活用が期待される。そこで、本検討では TLS の機種毎による計測範囲や精度の検証を行ったので報告する。また、短時間で緻密な計測が可能である移動計測車両による測量システム（以下、MMS）を用いた場合の精度検証も同時に行った。これにより、TLS 計測と MMS 計測の ICT 舗装工における適用性について検討した結果を報告する。

2. TLS 計測の検証試験

これまで舗装分野における ICT の活用は、施工における ICT 建設機械を積極的に活用することで、主に生産性向上を図ることを目的に実施してきている。しかしながら、起工測量や出来形管理における ICT の活用は、トータルステーションを使用することなどに留まっていた。現在、ICT 舗装工における出来形管理の取り組みでは、TLS を用いた 3 次元測量が必須技術となっている。そこで本検討では、TLS の機種毎にこれらの計測範囲や精度などの検証を目的とした各種試験を実施した。

2.1 検証試験の概要

本検証試験では、新設道路の直線部において 3 機種（A、B、C）の TLS を用いて舗装面を計測し、計測点密度と高さ精度を比較検討した。写真-1 に TLS 計測状況、表-1 に計測面の概要を示す。



写真-1 TLS 計測状況

表-1 計測面の概要

	材料	計測 延長	縦断 勾配
表層	ポーラスアスファルト混合物	約 200m	2.00%
基層	密粒系アスファルト混合物		

2.2 計測点密度

実際の計測においては、路線長が長い場合、TLS を盛り替えながら計測を行う必要がある。したがって、TLS の最大計測距離を事前に確認する必要がある。「地上型レーザスキャナを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」では、「出来形計測を行う場合は、TLS と計測対象範囲の位置関係を事前に

確認し、計測範囲の最大距離の箇所で 100cm² (10cm×10cm のメッシュ) あたりに 1 点以上の計測結果が得られる設定を行う。」としている。そこで、本検証試験では各 TLS の計測距離毎の点密度を確認することで、TLS の最大計測距離を検討した。基層面と表層面における点密度の測定結果を表-2 に示す。表-2 より、基層面における機種 B の計測距離 40m の測定ケースでは、上述の出来形管理要領 (案) の規格を満足しないことがわかる。つまり、表-2 より TLS の最大計測距離は、機種 A で 50 m、機種 B で 30m、機種 C で 50m といえる。ただし機種 C は、機種の仕様により標定点の最大視認距離が 20m に制限されているため、盛り替え間隔は 20m とした。延長 200m の計測面の測定では、基層面の測定では、縦断勾配上側から下側に向かって計測を実施した。また表層面では、基層面での計測結果より、測定性能が高いと考えられる機種 A のみを用いて、縦断勾配下側から上側に向かって計測を実施した。機種 A の基層面と表層面の点密度の結果より、レーザ光の入射角度の違いによる計測点密度の違いを確認した。各縦断勾配における入射角度 (器械高さ：1.500m) を表-3 に示す。表-3 より計測対象は異なるが、縦断勾配±2.0%おける 50m 地点での入射角度は 7 秒程度のわずかな差となっている。しかし、表-2 の点密度をみると点密度に違いが出ていることがわかる。

表-2 基層面と表層面における点密度(単位：点/0.01 m²)

計測距離		20m	30m	40m	50m
基層面	機種 A	15.2	5.8	2.6	1.5
	機種 B	5.8	1.9	0.7	-
	機種 C	20.3	7.6	3.3	1.5
表層面	機種 A	28.5	8.1	3.1	2.1

表-3 各縦断勾配における入射角度 (単位：度分秒)

		10m	20m	30m	40m	50m
縦断 勾配	-2.00%	8 d 30'08"	4 d 16'52"	2 d 51'30"	2 d 08'42"	1 d 43'00"
	2.00%	8 d 33'10"	4 d 17'38"	2 d 51'51"	2 d 08'54"	1 d 43'07"

次に、「地上型レーザスキャナを用いた出来形管理要領 (舗装工事編) (案)」に準拠し、点密度に加えて鉛直方向と水平方向の測定精度の確認を行った。機種 A の精度確認試験結果を表-4 に示す。基層面・表層面の鉛直方向の評価基準はレベル計測値との差が±4mm 以内、水平方向の評価基準は TS 計測値との差が±20mm 以内である。表-2、表-4 より、機種 A の最大計測距離は半径 40m 程度が妥当であると考えられる。

表-4 機種 A の精度確認試験結果

	対象	計測距離	レベルとの差分	判定		計測距離	TS との差分	判定
	鉛 直 方 向	基層面	30m	2 mm		合格	水 平 方 向	40m
40m			4 mm	合格				
表層面		30m	2 mm	合格				
		40m	3 mm	合格				
		50m	6 mm	不合格				

2.3 TLSによる出来形計測の精度検証

前述の結果より、TLSの計測範囲を機種Aで40m、機種Bで25m、機種Cで20mに設定し、基層面と表層面（表層面は機種Aのみ）で出来形計測を行った。TLS計測値と延長方向に50m間隔で設置した1m四方の検査面で4隅の高さを平均したレベル計測値との差を表-5に示す。

表-5 TLSとレベル計測値との差（単位：mm）

	基層面			表層面
	機種A	機種B	機種C	機種A
50m 地点	1	0	21	2
100m 地点	4	-2	23	1
150m 地点	4	4	-	4
200m 地点	3	3	-	1

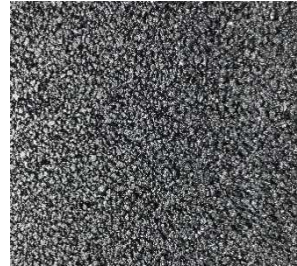


写真-2 表層面のキメ 写真-3 基層面のキメ

表-5より、基層面においてレベル計測値の差は、機種Aと機種Bで0～4mmの範囲であるものの、機種Cではレベル計測値との差が大きく離れる結果となった。つまり、出来形管理に使用することに適さないTLSがあることがわかった。また、路面の凹凸が精度に影響を及ぼす懸念があったポーラスアスファルト混合物を用いた表層面においても、機種Aはレベル計測値との差が1～4mmの範囲である。参考として、表層面のキメを写真-2に、基層面のキメを写真-3に示す。

3. MMS計測の検証

TLSはその性質上、器械から遠くなればなるほどレーザー光照射により得られる点が少なくなる。これに対してMMSは3次元レーザー計測器とデジタルカメラによって、道路および周辺の3次元座標データと連続映像を取得する車両搭載型計測装置であり、移動速度を一定に保てば車両進行方向の点密度を一定にできるシステムである。そこで舗装現場の表層面においてMMSを用いた出来形計測の適用性を検証したのでその結果を報告する。MMS計測状況を写真-4に示す。



写真-4 MMS (Leica Pegasus:Two)

3.1 MMS計測の点密度結果

MMS計測時の車両走行速度を4段階に設定し、各速度における0.01㎡あたりの点密度を測定した。その実測値と理論値を表-6に示す。表-6より点密度の実測値と理論値に差があるが、走行速度28.8km/hでも路面測定するために十分な点密度を取得することができる。ことがわかる。

表-6 各速度における点密度(単位：点/0.01㎡)

走行速度	実測値	理論値
7.2km/h	159.6	95.0
14.4km/h	78.0	43.4
21.6km/h	54.2	38.7
28.8km/h	39.1	36.4

3.2 MMSによる出来形計測の精度検証

MMSは車両搭載型であり、走行移動しながら計測を連続的に行うことから、一般的な使用では標定点を用いずに計測を行っている。しかし、TLSと同様に標定点を用い補正処理を行えば、高精度な計測結果を得られる可能性がある。そこで舗装面の出来形取得のため、延長方向40m毎の道路両端に標

定点を設置し計測を行い、全ての標定点を用い点群データの補正処理を行った。また、MMS 計測範囲すべてに標定点を設置することは現実的に困難であることから、計測範囲の 4 隅の検証点のみを使用することで補正処理を行い、これにより得られる精度も検証した。点群データの処理別における車両走行速度毎の MMS 計測値とレベル計測値の差を表-7 に示す。

表-7 車両走行速度毎の MMS 計測値とレベル計測値の差 (単位: mm)

	全ての検証点で補正処理				4 隅の検証点で補正処理			
	7.2km/h	14.4km/h	21.6km/h	28.8km/h	7.2km/h	14.4km/h	21.6km/h	28.8km/h
50m 地点	-4	-5	-4	0	-12	6	-29	-2
100m 地点	-7	-7	-12	-2	-27	13	-31	-4
150m 地点	-12	-6	-16	-15	-16	8	-20	-2
200m 地点	-17	-11	-1	-9	-5	4	-8	0
	補正処理無し							
	7.2km/h	14.4km/h	21.6km/h	28.8km/h				
50m 地点	-82	-63	-89	-65				
100m 地点	-92	-50	-88	-64				
150m 地点	-79	-52	-77	-62				
200m 地点	-63	-50	-60	-56				

表-7 より、全ての検証点で補正処理を行った点群データはレベル計測値との差で-17~0 mm、4 隅の検証点のみの補正処理を行った点群データはレベル計測値との差で-31~13 mm となった。つまり補正処理無しの場合と比較して、標定点での補正処理を行うことで精度改善につながることを期待できる。

4. おわりに

本検討では、TLS と MMS の計測精度などの検証を目的とした各種試験を実施した。その結果、TLS は機種毎における最大計測距離の設定において、点密度の確保が重要であることが確認できた。また点密度を確保していても、舗装の出来形計測には不適な機種があることがわかった。したがって計測機種の選定は、事前に検証試験を実施した上で、十分に考慮する必要があるといえる。但し、精度確認試験は平坦な箇所での実施が望ましいが、その条件を満足する試験路面の確保は限定される。そのため、舗装の出来形計測における TLS 計測技術を普及させるためには、使用者による精度確認ではなく、機器メーカー等による精度確認が必要になると思われる。実際の計測では、現場条件などの制約があり、また解析に長時間が必要である。このことは舗装工の次工程への進捗に影響するなど、改善すべき課題はあるといえる。MMS 計測の検証では、現時点での舗装の出来形計測への適用は精度面で困難と思われる。ただし、器機の改良による精度向上と標定点での補正処理の活用などによる計測方法の工夫次第では、短時間で広範囲に計測が可能である MMS は効率的な出来形取得装置となる可能性もある。今後 TLS と MMS の更なるデータの収集を図り、検討していきたい。最後に、本検討の計測にあたり、西尾レントオール株式会社および株式会社パスコの協力を得たことを付記したい。

参考文献

- 1) 国土交通省：地上型レーザスキャナを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）平成 29 年 3 月