

16. 橋梁下部工事における 3D 点群データを用いた出来形管理

検査監督業務の効率化

国土交通省 関東地方整備局 ○ 木村 匡
篠崎 真弘
株木建設株式会社 茨城本店 池谷 孝之

1. はじめに

国土交通省では、ICT の全面的な活用の推進により、建設現場での情報化施工技術の導入が推し進められ、効率的な施工管理が行われている。その中でも、点群データで得られた 3D 情報をもとに出来形管理を行い、出来形寸法・写真管理の簡素化、生産性の向上、現地確認検査の効率化につながっている。土工事や舗装工事においては、地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(舗装工事編)(案)に従って管理を行っているが、構造物については出来形管理要領(案)が作成されていない。今回、実際の現場をモデルに、地上型レーザースキャナー(以下、TLS という。)による ICT 出来形管理が、橋梁下部工事でも可能か検証を行った。

2. 工事概要

当事業は、茨城県潮来市を起点に茨城県銚田市に至る延長 30.9km の道路を建設中の東関東自動車道水戸線(東関道)の工事である。本工事は、茨城県行方市中根地先及び小幡地先において、東関道本線を超えるための跨道橋(逆 T 式橋台 4 基)を施工するものである。

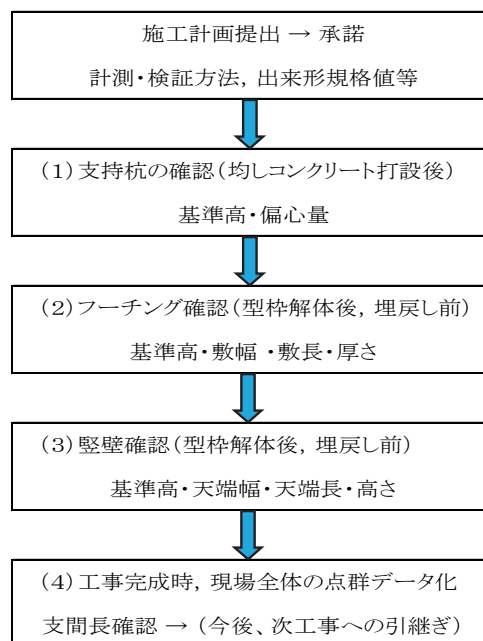
3. TLS による出来形管理(橋台)

TLS による計測方法は、構造物の出来形に使用することを目的として正確な位置情報を得るため、基準点座標を使用し精度の良い $\pm 2\text{mm}$ の TLS を使用している。この計測データは、専用ソフトを使用して点群化を行う。点群化されたデータは、極座標 XYZ の位置情報を持ち、パソコン上で表示できるようになる。

この正確な位置情報を持った実寸法の点群データを利用して、従来の出来形管理との精度を比較する。

TLS による構造物の出来形計測手順を、作業フロー図により行う。

作業フロー図



上記確認項目は、監督職員が確認できるよう計測データの整備を行い、検査時(中間検査・既済検査・完成検査)も、検査職員が確認できるものとする。

3.1 支持杭の出来形確認

従来支持杭の出来形管理は、杭 1 本 1 本に設計座標の位置出しを行い、それに対して実際に施工完了した杭の杭芯位置出しから設計と実測の差を測定していた(写真-1)。

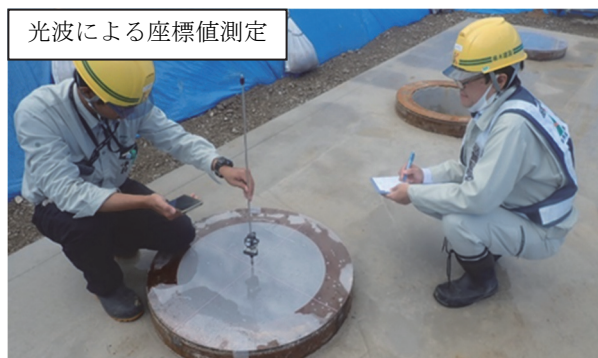


写真-1 従来の支持杭出来形計測

TLS での支持杭の測定は均しコンクリート完了後、杭天端に杭と同径の透明アクリル板を置きスキャナー認識用白黒ターゲットを杭天端中心に設置し、TLS にて杭中心の点群測定を行う(写真-2)。その点群データの座標値と設計 3D データを重ね合わせて、その点群座標値と設計 3D データとの差で、杭偏心量、基準高を測定する(図-1)。

杭頭鉄筋がある場合でも杭頭カットオフ施工後、同様の測定方法で点群測定を行ったが、杭中心の測定は可能であった。

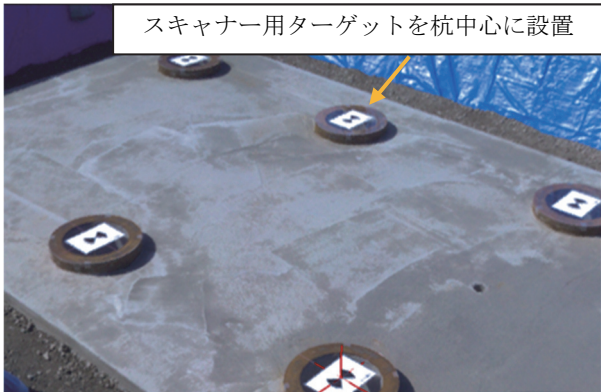


写真-2 TLSによる支持杭出来形計測

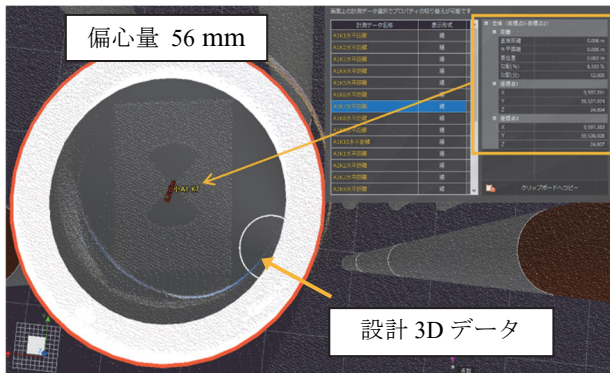


図-1 支持杭出来形計測結果

従来の測定方法は、杭中心の白黒ターゲットを光波測距器にて直接座標測定を行い比較した。

その結果は、従来の測定結果と比較して最大値 6 mm、平均値 1mm の差異であった(表-1)。また設計データを重ね合わせることで偏心量が可視化でき、大幅に偏心している杭の有無はほぼ判断が可能である。

従来では、杭偏心量の証明は、杭 1 本毎に計測し、写真を撮り証明していたため、従来は 6 時間ほどかかっていたものが、TLS では 2 時間程度で計測でき、人員も半数以下にする事ができた。また可視化による設計データとの比較・判別が可能になる他、実際の位置情報を電子化した属性情報として保存できる。

表-1 従来の光波測定値と TLS の偏心量比較

杭番号	設計値		実測値		光波測定結果			スキャナー測定結果	差
	X座標	Y座標	X座標	Y座標	X(mm)	Y(mm)	偏心量d(mm)		
No.1	9589.175	59538.725	9589.211	59538.726	36	1	36	30	-6
No.2	9589.485	59542.111	9589.484	59542.139	-1	28	28	29	+1
No.3	9591.914	59538.475	9591.891	59538.475	-23	1	23	22	-1
No.4	9592.224	59541.860	9592.204	59541.923	-20	63	66	66	0
No.5	9594.652	59538.224	9594.629	59538.230	-23	6	24	27	+3
No.6	9594.962	59541.610	9594.946	59541.602	-16	-7	18	18	0
No.7	9597.391	59537.974	9597.385	59538.015	-6	41	42	36	-6
No.8	9597.701	59541.359	9597.707	59541.416	6	57	58	56	-2
No.9	9600.130	59537.723	9600.181	59537.772	51	49	71	65	-6
No.10	9600.439	59541.108	9600.434	59541.106	-5	-2	5	9	+4

3.2 躯体コンクリートの出来形確認(フォーミング)

同様に、コンクリートの出来形管理も種別毎の打設完了後、埋戻し前 TLS による計測を行い、点群データをもとに計測を行った(図-2)。点群データによる測定値は、寸法管理の敷長、敷幅、厚さ、基準高において、実際の巻尺及びレベルでの測定した結果とほぼ同一の結果を得ることができた(表-2)。また点群データを基に隅角点の座標データと、光波測距での測定結果と同等の値を確認する事ができた。

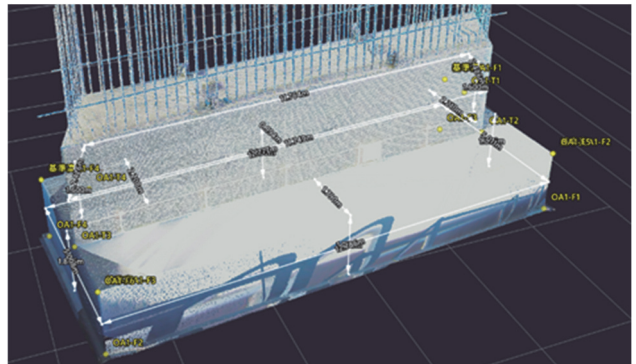


図-2 TLSによるフォーミング出来形計測データ

表-2 TLSによるフォーミング出来形計測データ

測定項目	敷長 L2(直角方向)			敷幅 w2(横軸方向)			厚さ t			基準高 H		
	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差
測定方法	巻尺	TLS		巻尺	TLS		巻尺	TLS		レベル	TLS	
A1-起点側	12778	12777	-1	-	-	-	1801	1800	-1	26.503	26.503	±0
A1-終点側	12789	12786	-3	-	-	-	1797	1796	-1	26.503	26.502	-1
A1-L側	-	-	-	5010	5011	+1	1806	1806	±0	26.503	26.504	+1
A1-R側	-	-	-	5010	5008	-2	1806	1806	±0	26.503	26.502	-1

隅角点座標	設計値		光波測定値		スキャナー測定値		光波とスキャナー値との差	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標	X座標	Y座標	X座標(mm)	Y座標(mm)
A1-終点-L	9601.397	59541.824	9601.399	59541.826	9601.401	59541.827	+2	+1
A1-終点-R	9588.673	59542.988	9588.674	59542.984	9588.678	59542.986	+4	+2
A1-起点-L	9600.941	59536.845	9600.940	59536.846	9600.938	59536.850	-2	+4
A1-起点-R	9588.218	59538.009	9588.218	59538.008	9588.220	59538.01	+2	+2

3.3 躯体コンクリートの出来形確認（堅壁部）

躯体堅壁部コンクリートの出来形確認では、事前に設計3Dデータを作成し、TLSで測定した点群データを重ね合わせることで、専用ソフトを使ってパソコンデータ上で可視化の判別ができるようにする（図-3）。寸法確認は同様に、従来の計測方法とTLSで測定した点群データと比較した。

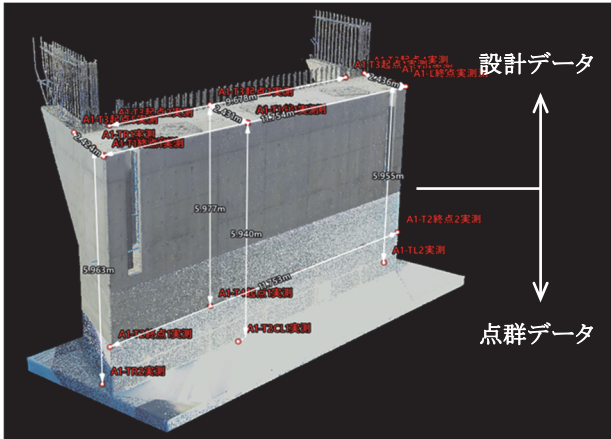


図-3 TLSによる堅壁出来形計測データ

表-3 TLSによる堅壁出来形計測データ

測定項目	天端長 h1 (直角方向)			天端幅 w1 (橋軸方向)			高さ h1			基準高 H		
	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差	実測値	実測値	差
測定方法	巻尺	TLS		巻尺	TLS		巻尺	TLS		レベル	TLS	
A1-起点側	9682	9678	-4	-	-	-	5982	5977	-5	-	-	-
A1-終点側	11752	11754	+2	-	-	-	5950	5940	-10	-	-	-
A1-L側	-	-	-	2430	2436	+6	5954	5955	+1	32.451	32.454	+3
A1-R側	-	-	-	2431	2424	-7	5959	5963	+4	32.450	32.450	±0
A1-CL	-	-	-	2433	2431	-2	-	-	-	32.450	32.448	-2

隅角点座標	設計値		光波測定値		スキャナー測定値		光波とスキャナー値との差	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標	X座標	Y座標	X座標(mm)	Y座標(mm)
A1-終点-L	9600.212	59540.125	9600.209	59540.123	9600.207	59540.125	-2	+2
A1-終点-R	9588.510	59541.196	9588.502	59541.193	9588.496	59541.195	-6	+2

3.4 工事完成時、現場全体の点群データ化

完成した構造物全体をTLSで測定し、各構造物を点群化する事によって、足場が無い状態でも支間長を確認することができる（図-4）（表-4）。

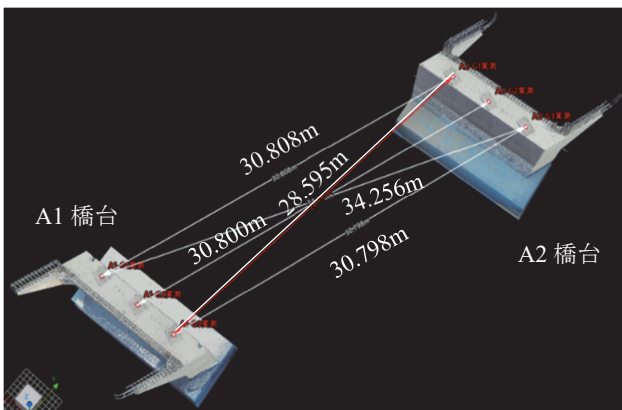


図-4 TLSによる支間長確認データ

表-4 TLSによる支間長出来形計測結果

測定項目	支間長			
	設計値	実測値	実測値	光波との差
測定方法		光波	TLS	
A1-G1~A2-G1	30.800	30.807	30.808	+1
A1-G2~A2-G2	30.800	30.792	30.800	+8
A1-G3~A2-G3	30.800	30.795	30.798	+3
A1-G1~A2-G3	34.257	34.254	34.256	+2
A1-G3~A2-G1	28.589	28.593	28.595	+2

また現場全体をデータ化することにより、次工事に引き継ぐ事が可能となるため、現地測量等の調査をパソコン上で行うことができ、事業全体の生産性向上に繋がることになる（図-5）。



図-5 TLSによる完成時現場全体点群データ

4. 検証結果（橋台1基）

4.1 出来形管理の精度比較

従来管理とTLSの比較結果は、最大値-10mm、平均値+3mmとなり、多少のバラツキはあるものの、従来管理とほぼ同等の値を確認する事ができ、測量誤差程度であった（表-5）。

表-5 測定比較結果一覧表（小幡地区A1橋台）

測定種別	測定数	差(TLS - 従来)		
		最大値(mm)	平均値(mm)	
支持杭	偏心量	8本	-6	-1
	基準高	8本	+3	-1
フーチング	敷長・敷幅・厚さ	8箇所	-3	-1
	基準高	4箇所	+1	+1
	座標位置(隅角点)	4箇所	+4	+2
堅壁	天端長・天端幅・高さ	9箇所	-10	-2
	基準高	3箇所	+3	+1
	座標位置(隅角点)	2箇所	-6	-1
支間長	長さ	5径間	+8	+3
	座標位置(客座・中心線)	4箇所	-5	-1

4.2 労働時間の比較

従来管理とTLSの比較結果は、段階毎において人員・時間が、約倍以上の削減に繋がった。またパソコン上にて確認できるため、発注者の現地確認を簡素化することにより、今後オンライン検査が有効となる（表-6）。

表-6 現地作業時間比較一覧表

種 別			測定数	従来方式		TLS		差(TLS—従来)	
				人数	時間	人数	時間	人数	時間
支持杭	出来形測定	基準高・偏心量	8本	2	4	1	2	-1	-2
	出来形写真	基準高・偏心量	4本	3	1	0	0	-3	-1
	出来形確認検査	現地確認検査	8本	2	1	0	0	-2	-1
フーチング	出来形測定	敷長・敷幅・厚さ・基準高	12箇所	2	4	1	2	-1	-2
	出来形写真	敷長・敷幅・厚さ・基準高	6箇所	3	1	0	0	-3	-1
	出来形確認検査	現地確認検査	12箇所	2	1	0	0	-2	-1
堅壁	出来形測定	天端長・天端幅・高さ・基準高	12箇所	2	4	1	2	-1	-2
	出来形写真	天端長・天端幅・高さ・基準高	5箇所	3	1	0	0	-3	-1
	出来形確認検査	現地確認検査	12箇所	2	1	0	0	-2	-1
支間長	出来形測定	長さ	5径間	2	2	1	2	-1	0
	出来形写真	長さ	3径間	3	1	0	0	-3	-1
	出来形確認検査	現地確認検査	5径間	2	1	0	0	-2	-1
合計			—	28	22	4	8	-24	-14

5. 出来形管理の監督・検査

出来形検査は、計測結果の確認を専用ソフトによりパソコン上にて確認し、躯体堅壁部や支間長等の可視部分はもちろんのこと、杭偏心やフーチングなどの不可視部分も点群データを基に確認することができる（写真-3）。

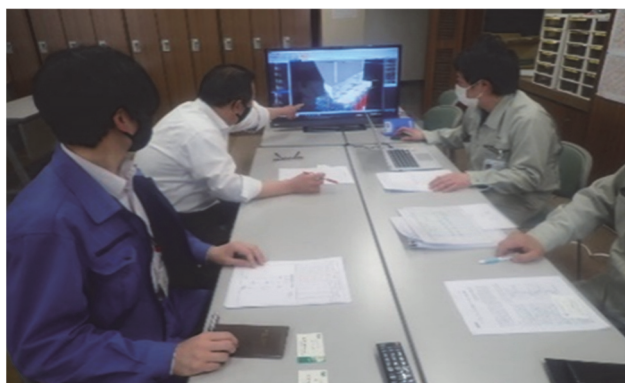


写真-3 出来形確認状況

完成検査時では、足場を設置している状態でしか計測できない出来形計測箇所も点群データを基に、パソコン上にて確認することができ、効率的な出来形確認検査が行えた（写真-4）。

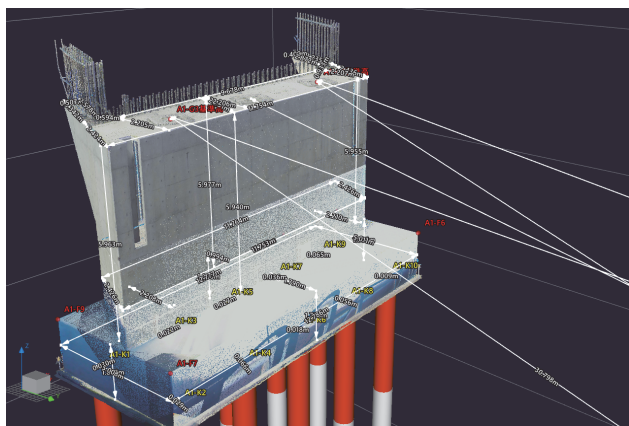


写真-4 完成検査時ビューアによる出来形確認画像

6. 今後の課題・問題点

今回、段階毎に TLS による出来形管理を橋台 4 基により行ったが、TLS および 3 次元専用ソフトが常時必要になる。

現場で計測した点群データは容量も大きく、ハイスペックパソコン、互換性のある専用ソフトも必要になるため、使用する機器の整備などが、受発注者共に課題となる。

7. おわりに

TLS の構造物による現場への活用は、現場管理全体に波及し、その使い方が監督、検査までに及ぶことが確認できた。今後は、協議、出来形・写真管理などの簡素化や効率化に必ず繋がるものと考えている。

国土交通省では 2021 年度から ICT 構造物（橋脚・橋台）の試行を行っている。しかしながら現在の試行方法では、段階的な出来形管理においては従来手法にて実施しているため、パソコン上にて不可視部分の確認が行えるわけではない。今回の検証方法では、構造物を管理する際に必要な不可視部分の情報をパソコン上で容易に確認することが可能であり将来に渡り確実な構造物管理が出来るものと考えられる。また、建設業界が直面している、担い手確保の問題や、安全な施工、検査に役立つ物と考えている。今回の取り組みが、様々な現場での TLS による出来形管理を行うきっかけになればと思う。

参考文献

- 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（土工編）（案），平成 28 年 3 月
- 2) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン（案）第 1 編，CIM 導入推進委員会，平成 29 年 3 月
- 3) 株式会社トプコン：3D Laser Scanner GLS-2000，製品カタログ