

橋脚設置工事におけるBIM/CIM 活用事例について

太田 奈津江¹

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 計画課 (〒520-0803 滋賀県大津市竜が丘4-5)

国道9号園部大橋にてRC橋脚を施工するにあたり、コンクリート構造物の3D点群の取得及び出来形管理においてBIM/CIMを活用した事例を紹介する。今回のRC橋脚の施工においては段階的にコンクリートを打設し打設毎に埋め戻しが必要であったことから、段階毎に3Dデータを取得する必要があった。また、仮設迂回路の桁下のTLS及びUAV計測が出来ない箇所においては、動画撮影型地上写真測量（以降、動画撮影型という）を行い、SfM解析による点群を取得してTLSの点群データと合成を行い、RC橋脚全体の3D点群データを作成し、2D設計図書から作成したRC橋脚3Dモデルとを比較する事で、出来形評価を行い、今後のBIM/CIM活用における有効性の確認と課題の検討を行った事例について紹介する。

キーワード 園部大橋, BIM/CIM, 動画撮影型地上写真測量, 3次元出来ばえ評価

1. はじめに

(1) 園部大橋架換事業の概要

国道9号園部大橋は、南丹市を流れる園部川に架かる橋梁で、1932年に架設され老朽化が進んでいる。また、園部大橋周辺は、南丹市役所や警察署、小学校があり南丹市の中心部であるが、歩道が狭く、通学児童の安全が確保されず危険な状況となっており、安全で安心な歩行空間を確保するため、歩道整備と併せて園部大橋の架け替え工事を行っている。



図-1 事業位置図

これまでに、下流側に迂回路橋の設置、既設側歩道橋の撤去、作業構台の施工を行っており、令和3年度に既設車道橋の撤去を含め新設橋脚の施工を行っている。



図-2 事業現況写真

(2) 国道9号園部大橋橋脚設置他工事の概要

今回施工した橋脚は、将来の河川整備計画による計画河床高を考慮した設計となっているため、施工後は現況河床高に戻すこととなっており、躯体の施工に関しては、段階的にコンクリートの打設を行い、打設毎に埋め戻しを行う工程となっている。また、橋脚の一部が、先行して下流側に設置した迂回路橋下での施工となっている。このような施工条件の中で今回の橋脚の出来形管理を行うにあたってBIM/CIMを利用し、それぞれ段階毎の3D点群データを取得し、また、迂回路下のTLSやUAVでの測定が困難な箇所は、動画撮影型を用いて3D点群データを合成することで埋め戻し前の躯体状況を再現し、

2D設計図書から作成したRC橋脚3Dモデルとの比較にて出来形評価を試みる事で、今後のBIM/CIM活用における有効性の確認及び課題の検討を行った。

2. TLSによる測定

測定対象物である新設P1橋脚の3次元測量は、TLSによる計測を実施した。TLSは、FARO Focus S 360を使用し、【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）令和2年3月 国土交通省】に準じて測定を行った。



図-3 使用TLS FARO Focus S360

(1) 測定実施計画

P1橋脚の施工工程としては、基礎部から柱②部までは打設完了後埋戻が行われるため、各箇所足場解体直後の埋戻し前のタイミングでTLS計測を実施する事とした。しかし、台座支承部及び橋脚天端部については、足場解体前に計測する必要があり、TLSで計測するには不安定な足場上での器械設置となるため、測定時は遠隔操作で測定を行い足場全体を立入禁止としたが、精度確保が難しく、また、下流側が迂回路の直下になり上方向からの測定が出来ないため、TLSでの測定は梁部の側面までとし、動画撮影型による写真測量を応用した3D点群取得を試みる事とした。

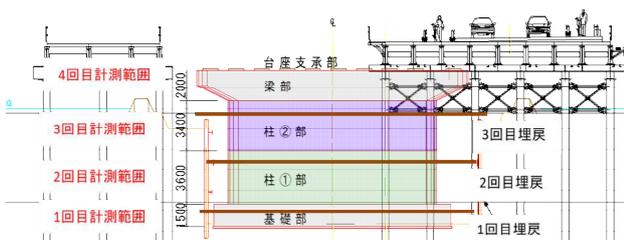


図-4 TLS測定範囲図

(2) 標定点設置

各測定に関しては、標定点を設置し解析の基準座標とした。標定点は、計測対象箇所の最外周部に3箇所以上設置し、その計測は現場監職員より指示を受けた基準点及び工事基準点より、TSを用いて行った。標定点としては、(スフィア)型(LS計測専用φ139mmの白色球体の中心座標)を使用した。

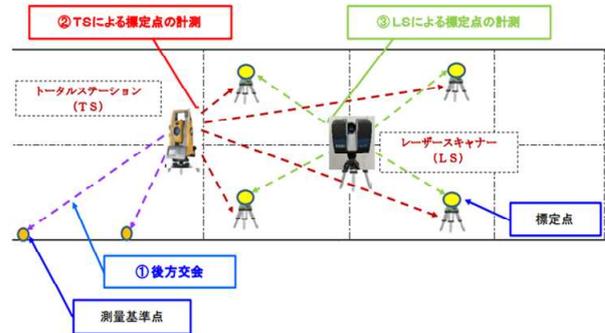


図-5 標定点設置要領図

(4) 点群解析

計測した点群データは、FARO専用点群処理ソフトSCENEN 2.0.20.2351にて解析を行い、標定点の公共座標にて点群に座標を与えた。各打設部位ごとに同じ工事基準点で計測した標定点を使用し観測しているため同一座標上での合成が可能となる。3次元座標に変換された点群は、点群処理ソフト内(福井コンピューターTrendPoint)に取込、結果をひとつの点群に合成した。

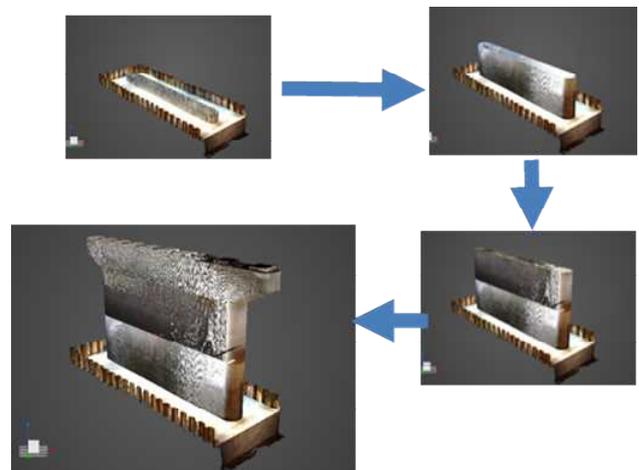


図-6 進捗合成橋脚点群データ

(5) 精度確認

精度確認は、TLSの精度確認試験実施手順書(案)に準じて実施した結果は、最大4mm最小1mmとなった。下記一覧表より、較差7mm以下で構造物出来形要求精度7mm以下が確保できている事が確認できた。

測定箇所	TLS計測結果による点間距離(L)	TSによる座標値計測距離(L)	計測値較差
基礎部	11.219	11.222	3
柱①部	10.576	10.572	4
柱②部	9.707	9.708	1
梁部	12.445	12.446	1

図-7 TLS精度確認結果一覧表

測定項目	規格値	要求精度	
基準高 ∇	± 20	7mm 以下	
厚さ t	-20		
天端幅 w 1	-20	16mm 以下	
敷幅 w 2	-50		
高さ h	-50		
天端長 $\phi 1$	-50		
敷長 $\phi 2$	-50		
支間長及び中心線の変位	± 50	10mm 以下	
橋脚中心間距離 ϕ	± 30		
支承部アンカーボルトの箱抜き規格値	計画高	+10~-20	+3~-7mm 以下
	平面位置	± 20 mm	7mm 以下

図-10¹⁾ 構造物要求精度表

3. 動画撮影型地上写真測量による計測

(1) 動画撮影型による計測

前項では、BIM/CIM活用するにあたって橋脚の各施工段階でTLSによる3次元点群の取得を実施した。しかし橋脚天端は、不安定な足場からの計測となり、TLSでは少し距離を置いた仮設栈橋上若しくは、迂回路橋上からでないと測定できず、特に迂回路下の直下部の台座G8、G9、G10においては、迂回路桁下との離隔が30cm程度しかなかったため、動画撮影型での測定手法にて構造物3次元点群データの取得を実施した。

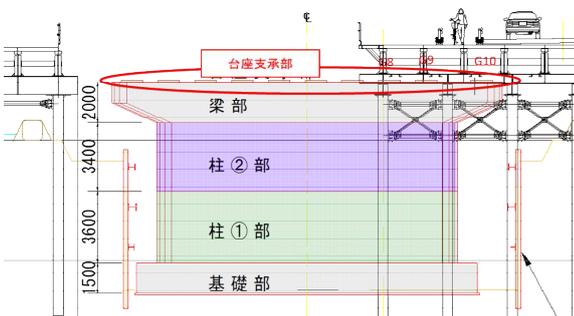


図-8 動画撮影型計測範囲図

(2) 測定実施計画

動画撮影に使用する機材としては、GoPro HERO9 Black CHDX-901-FWを使用した。

	画素数	3840×2160
	カメラセンサー	フルサイズ型
	焦点距離	16.0mm
	撮影範囲	1.38m×2.45m

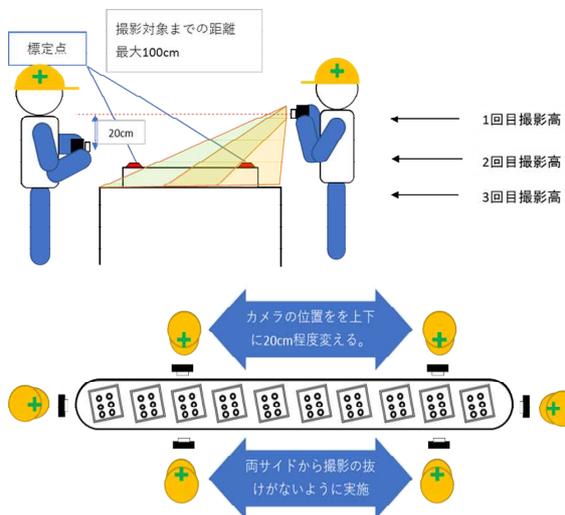
撮影対象までの距離を1mとした場合

図-9 動画撮影機材GoPro HERO9 Black CHDX-901-FW

撮影及びSEM解析に関しては、構造物（橋脚躯体工）の出来形評価データにおける要求精度7mm以下を満たすべく、UAVで計測する時と同じようにラップ率と画素寸法を考慮する必要がある。

また、動画撮影機材使用者が撮影対象物に沿うように対象物から1.0m程度の距離を保持しながら横移動して動画撮影を行い、その撮影をサイドラップ率の確保のために高さを20cm程度変えながら3段で撮影を行った。

図-11 動画撮影イメージ



また計測時での注意点としては、撮影画像での解析エラーの原因要素を無くす撮影をする事で、横移動撮影の最初と最後に必ず構造物の角が映るように撮影を行い、画像解析に必要な特徴点抽出ができるようにし、移動は低速度で行い、動画撮影時にオートフォーカス機能を常に有効にし、画像の品質を保ち、また、撮影対象への距離が1m以上の差がある場合、分割して撮影を行う事とした。

(3) 標定点設置

G1~G7範囲では養生テープによる標定点明示、G8からG10は少し薄暗かったため、撮影画像での認識がしやすいように測量用明示板を標定点の代わりに明示し、橋脚天端部に設置した。



図-12 標定点設置状況

標定点同士の距離は50cm程の離隔で設置しTSを用いて測量を行った。その中で検証点を設け点群の精度確認に使用する点とした。

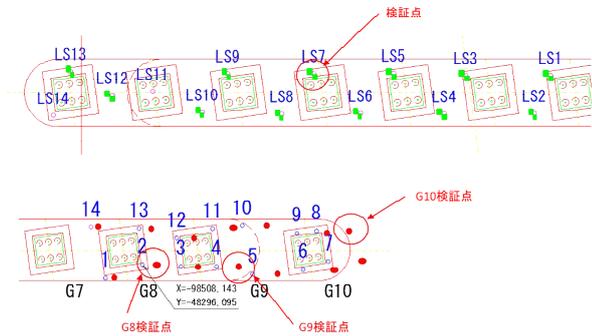


図-13 標定点及び検証点配置図

(4) 点群解析

動画抽出画像でオーバーラップ率の確保として、使用したGoPro9は30FPS(1秒間に30枚撮影)なので、15FPSに1枚づつ(1秒間に2枚)の画像を抽出し、抽出した画像にピントずれ等の不明瞭画像がないか確認した。SfM解析はAgisoft Metashapeで行い、公共座標を付与し点群処理ソフト内(福井コンピューターTrendPoint)に取込んで合成を行った。

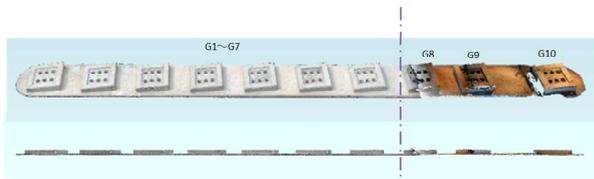


図-14 動画撮影による合成計測点群

解析結果として、地上解像度が最大で0.038cm/pixとなり、この結果から実質撮影距離は60cmである事が確認できた。よって今回の撮影での動画撮影時における撮影範囲は、0.830m×1.470mであることが算出でき、ラップ率の確認を行ったところ、オーバーラップ率90%、サイドラップ率75%という結果が出た。撮影時に明るさが十分なG1からG8に関してはノイズがないが、明るさが足りないG8, G9, G10の点群データはノイズが多く発生していた。

(5) 精度確認

精度確認は、座標較差で行った、結果は最大4mm最小2mmとなり出来形評価に使用できる点群要求精度7mmを確保出来た。今回は、精度も満足出来る結果となったが、計測時間が施工工程上少なかったため、今後対象物との距離及び動画からの抽出法など条件を変えてエビデンスをとる必要があると感じた。

測定箇所	検証点点群座標値	TS座標値	較差ΔXYZ(mm)
G1-G7	X	-98512.873	-98512.873
	Y	-48302.601	-48302.601
	Z	129.215	129.218
G8	X	-98507.545	-98507.545
	Y	-48295.355	-48295.354
	Z	129.229	129.232
G9	X	-98506.956	-98506.957
	Y	-48294.689	-48294.689
	Z	129.231	129.233
G10	X	-98505.588	-98505.588
	Y	-48293.029	-48293.029
	Z	129.231	129.227

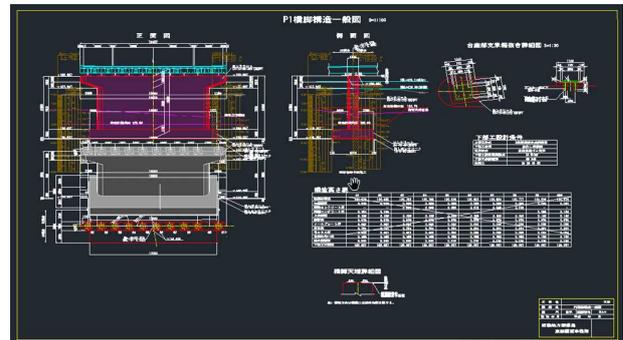
図-15 動画撮影点群精度結果

4. 設計3Dモデルの作成

(1) 2D設計図より3Dモデルの作成

設計図面は従来通りの2次元図面であり、取得した橋脚点群と設計モデルを比較することで出来形評価の試行を行うために設計3Dモデルの作成を行った。まず2次元図面と3Dモデルを共存させた図面を作成し、そのモデルから出来形評価用である3次元設計データの要素データ(設計LXML)の作成を行う。

図-16 P1橋脚構造一般図を用いた3D図面



(2) 要素データ(設計LXML)の作成

出来形評価用LXMLデータを、先に作成した設計3Dモデルに座標を付与し作成した。構造物を構成する端点の座標値をもとに、ワイヤフレームで作成した。ワイヤフレームは直線のみになるので、曲線部の設計データは22.5度の直線で表現する事とし、R750の中央縦距が14mmで規格値20mmの80%以内になるようにした。

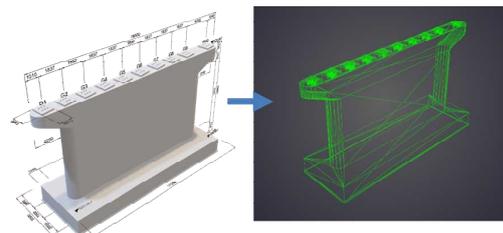


図-17 出来形評価用LXML

5. 出来形管理への活用

(1) 3Dモデルによる出来形管理

作成した3D点群モデルを活用して【3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省】に準じてRC橋脚躯体出来形を評価する事とした。ただし、動画撮影型3D点群データに関しては、出来形計測性能確認として試行検証とした。これまでの流れをイメージ図に記す。

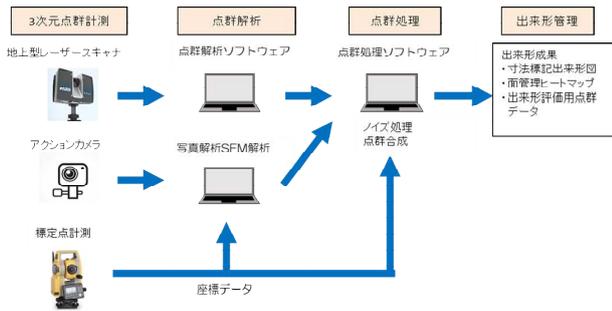


図-18 作業工程イメージ図

(2) 3D点群による出来形図

まず最初の管理手法としては、従来出来形図のように3Dモデルアノテーションに設計値、実測値、点群間接計測値を表記する。点群による間接計測は、外側にアノテーション表記し易いように、構造物ライン相当する点群に補助線を用い計測する手法で実施した。

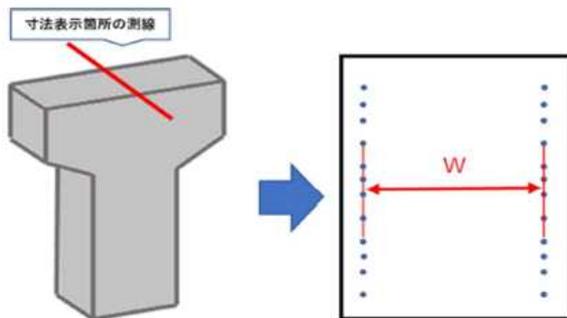


図-19 点群寸法計測手法イメージ図

上記手法にて3次元データを現行2次元出来形図表記で作成した出来形図を記す。

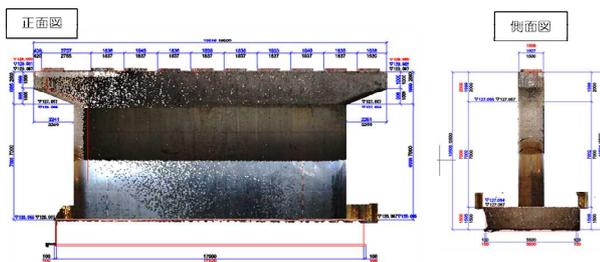


図-20 3次元出来形図 正面図 側面図(現行2次元表記)

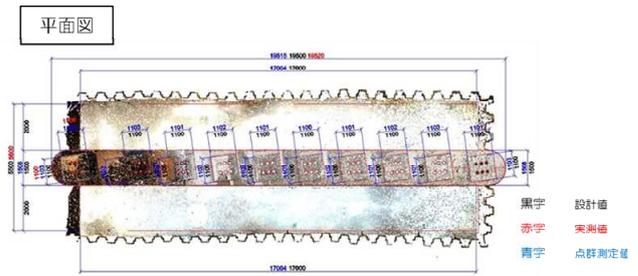


図-21 3次元出来形図 平面図(現行2次元表記)

次に3次元データを立体的に表記する。

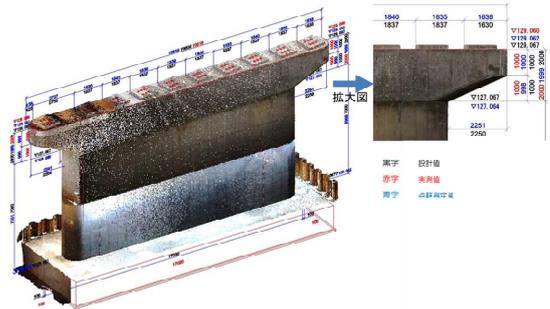


図-22 3次元出来形図(3次元表記)

測定結果としては、最大で6mm程度の較差があった。これは実測誤差及び点群の推定エッジラインの抽出による測定誤差を考慮すると、実用可能であると考えられる。また今回は、施工前段階において設計3Dモデルの作成を実施していたので、全体像を可視化することができ、構造物の全体のボリューム感等を確認しながら、各施工段階での説明や検討等にも活用できた。

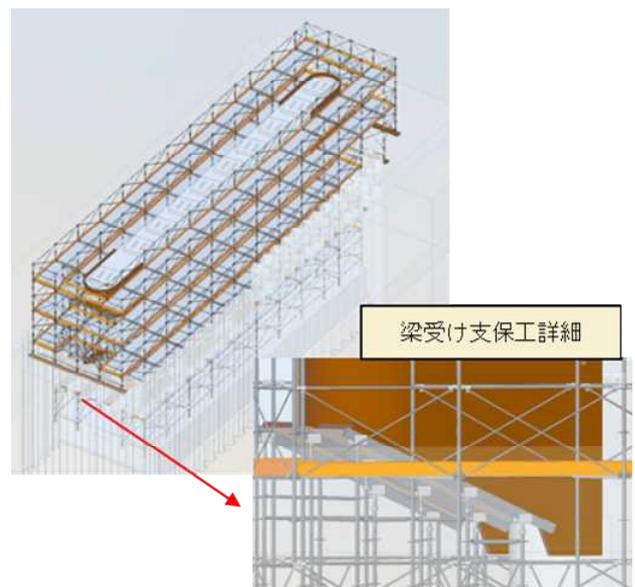


図-23 足場型枠施工における設計3Dデータ活用事例

(3) 面管理による出来形管理手法

【3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省】第2章5-2出来ばえ評価に準じて3次元設計データの各面に垂直な方向で出来形評価用点群データと各面の離れの差を算出するヒートマップ評価を、ICT土工で使用しているソフトである「TrendPoint」の新機能で構造物の出来形評価を試行した。

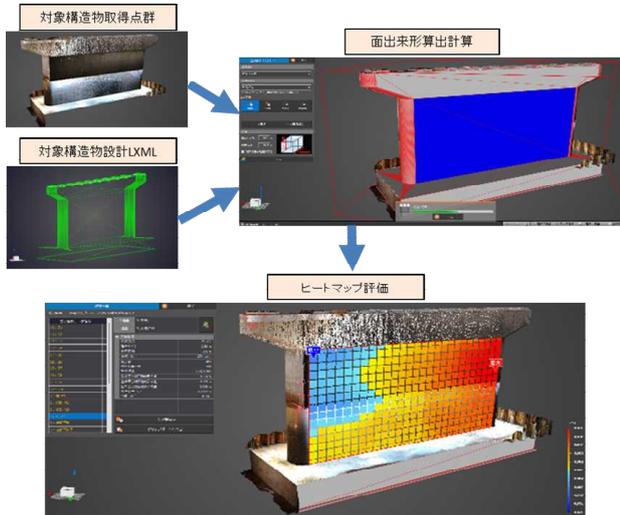


図-24 出来形評価までの流れ

今回動画撮影型で取得した点群が構造物評価にあたる要求精度を満たしているのが確認ができたので、TSL取得点群との合成を行った。以下に動画撮影型で計測した部分における評価結果を下記に記す。

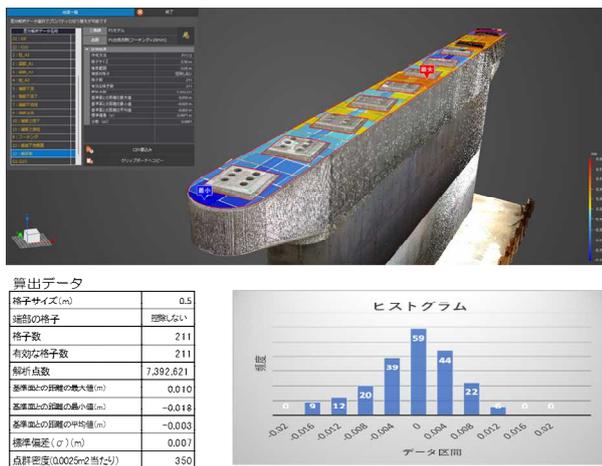


図-25 動画撮影型点群面による出来形評価(梁天端部)



算出データ	
格子サイズ (m)	0.1
端部の格子	強制しない
格子数	1378
有効な格子数	1378
解析点数	2,827,386
基準面との距離の最大値 (m)	0.010
基準面との距離の最小値 (m)	-0.001
基準面との距離の平均値 (m)	-0.001
標準偏差 (σ) (m)	0.004
点群密度 (0.0025m ² 当たり)	512

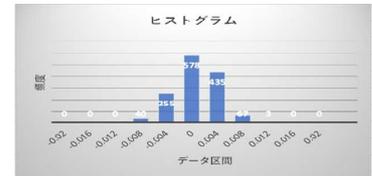


図-26 動画撮影型点群面による出来形評価(台座部)

6. まとめ

今回の検証では、動画撮影型で計測した3D点群データで出来形評価における要求精度を満たす事が認められた。しかしこれは、撮影方法等の工夫を加えた結果であり、今後構造物の出来形で評価するには確実に要求精度を満たす撮影手法を確立する必要がある。また同じ計測方法または、違う計測方法による点群の合成においても、それぞれの精度が満たしていれば座標による合成で一つの構造物として評価できる事が確認できた。今後このような計測で3D点群データを取得する事で出来形管理に使用できれば計測の効率化が図れる。今回は、従来管理とBIM/CIM活用での管理との比較では約30%の効率化が認められ、また、危険箇所での計測が省略される事で、事故のリスクが大幅に下がると考えられる。構造物の管理も現行の出来形管理のように個別測定を必要としない面管理方法 (ICT土工面的評価と同じ) で評価できる事も評価作業の効率化につながり、利用した3Dデータが施工中の現場のみならず、後施工にあたる維持管理業務にも利用できる仕組みを確立して、さらなる効率化を目指す試みが必要と感じた。

謝辞：

本論文作成にあたり、本工事を施工し、本資料を取りまとめて頂きました、株式会社第一土木の皆様及び関係者の皆様に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省