

(32) 鋼製橋梁における点群データ活用に向けた検討

大木 奎一¹・竹本 大地²・横山 徹³・横山 ゆい⁴・原 直人⁵

¹非会員 IHI インフラシステム LCB・DX 推進室 DX 推進部 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町 3)
E-mail: oki5963@ihi-g.com

²非会員 IHI インフラシステム 堺工場 製造部 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町 3)
E-mail: takemoto9651@ihi-g.com

³非会員 IHI インフラシステム LCB・DX 推進室 DX 推進部 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町 3)
E-mail: yokoyama0701@ihi-g.com

⁴非会員 IHI インフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部 (〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-1)
E-mail: yokoyama4831@ihi-g.com

⁵非会員 IHI インフラシステム LCB・DX 推進室 DX 推進部 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町 3)
E-mail: hara6333@ihi-g.com

近年、老朽化した高速道路において大規模更新・修繕事業が全国で展開されている。新たに橋梁を架設する新設工事と違い、既設の橋梁に対して補修補強を施す保全工事は、既設構造物の現状状態を把握することがまず最初の設計フェーズにおいて重要である。今後多くの保全工事を遂行するにあたり、既設構造物の状態把握を迅速かつ確実に行う必要がある。そのために ICT 技術の一つである点群データの活用が期待されるが、鋼製の大型構造物に点群データを活用された事例は少ない。そのため本論文では、DX および BIM/CIM 活用により保全工事における設計プロセスの効率化を図ることを目的として、点群データの有効性・汎用性を検証することにより、点群データの今後の適用拡張への一考察を行ったので、ここに報告する。

Key Words: building / construction information modeling , point cloud, design process

1. はじめに

多数の鋼製橋脚を保有する都市高速道路においては橋脚の耐震および耐疲労の補強工事が急務となっている。中でも既設橋脚の本体隅角部に補強板を取り付ける補強工事において、主に光波の活用と並行した手作業による従来の計測手法では、データ連携がされず人為的なミスによる手戻り、作業熟練度の格差による品質のばらつき、コスト・工期の懸念など、多くの不確定要素が想定される。既設隅角部の表面形状を正確に迅速に把握する技術として 3D スキャナにより取得する点群データなど ICT の活用による作業の平準化および効率化が期待されている。ただし地形の計測などと比べて、鋼製橋梁などの大型溶接構造物の要求精度は mm 単位であり、要求精度を担保するための計測機器を取り扱うノウハウや点群データの処理に課題が多く、点群データ活用事例は少ない。

上述のような背景のなか、今回対象の鋼製橋脚補強工事において設計フェーズにおける点群データを活用する際の有用性・汎用性を検討・検証する。さらに、DX や BIM/CIM を取り入れ設計プロセスの効率化を図った新たなプロセスを構築することを視野に入れ、点群データの汎用性向上の観点から、現場状況や各検討段階ごとの目的に応じたタイプの異なる 2 つの 3D スキャナを点群データの取得や効率的な点群データ処理が可能であるかを併せて検証を行った。

2. 点群データの取り扱いに関して

(1) 検証対象となる保全工事の概要

今回対象としたのは図-1 及び図-2 に示すような鋼製の橋脚である。隅角部を中心に多方向に折れた形状をした柱は橋軸方向に二股に分かれ梁幅も変化している。本

補強工事のイメージを図-3 に示す。三線交差部を中心に三角形形状の補強板を既設隅角部のウェブ面に隙間調整フィラーを設置したうえで密着させ補強する。補強板は HTB により設置する。

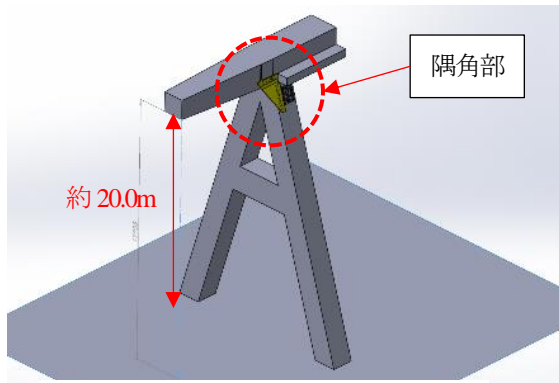


図-1 橋脚 3D モデル(工事対象部分抜粋)

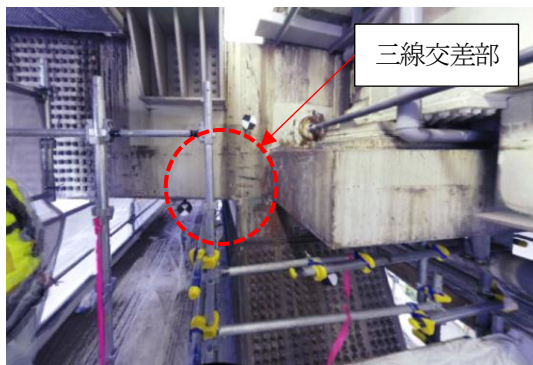


図-2 現地写真(隅角部)

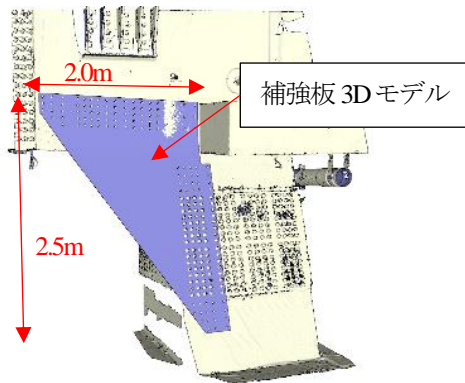


図-3 補強板の設置イメージ

(2) 3D スキャナの選定に関して

すでに地形などの 3 次元計測において実績がある中距離型の 3D スキャナはその性能から判断して、鋼製橋梁の厳しい要求精度に対しても一定の水準を満たしていると考えられる。ただ、機器の重量が重くサイズも大きく、橋梁の補修補強現場における重要なファクタである機動性に劣る。そこで、より軽量で機動性に富む小型の 3D スキャナを加えて、現地条件への適応性および機動性に

関して、利用目的が異なるタイプ a)、b) 種類の 3D スキャナの検証を行うこととした。2 種類の 3D スキャナの各スペックに関しては表-1 の通りである。

表-1 3D スキャナの各スペック (Leica 社製)

| 機種 | a)RTC360 | b)BLK360 |
|------|---------------------------------|----------------------------------|
| 種類 | 中距離型 | 近距離・小型 |
| サイズ | 120×240×230mm | 165×100mm(直径) |
| 重量 | 5.35kg | 1.00kg |
| 点密度 | 3mm@10m 6mm@10m※ 12mm@10m | 5mm@10m 10mm@10m※ 20mm@10m |
| 距離精度 | 1.9mm@10m | 4mm@10m |

※今回利用した点密度設定(ミドル設定)

(3) 鋼橋における点群データの取得

スキャナ撮影時の状況に関して、橋梁分野においては以下 a)-d)の項目に着目する必要がある。

- 高所における足場の設置
- 撮影ポイント(被写体との距離)(図-4)
- マーカの配置位置
- 足場及び被写体の揺れ(主に車道の揺れ)

他にも、点群の密度設定やマーカをささげらない人の配置にも気を遣う必要がある。今回、点群の密度設定は、被写体との距離が 1.0m 前後と接近したため、中密度設定とした。以上の着目点で特に問題になるのが d)の揺れに関してである。揺れは点群データ化されるとノイズとなり、データを著しく悪化させてしまうことが懸念される。被写体や足場の微細な揺れは点群データに含まれている可能性も視野に入れて検証にあたる必要がある。



図-4 点群の撮影点

(4) サーフェス化による汎用性の向上

運用部門において、既設橋脚に取り付ける補強板の形状検討などの設計を行う際には、従来の CAD を用いて検討することが望ましい。だが、点の集合体である点群データは、容量が大きく扱いづらく、専用のソフトウェアが必要となる。点群データをサーフェスモデル化し軽

量化することで、運用部門での従来の CAD を用いた扱いが可能となる（図-5）。ただし、鋼橋は立体的に緩やかな曲がりやねじれ、自由曲面箇所が多いため、平均値をもとに生成される単純なサーフェスモデルでなく、近い点同士を閾値を設けて繋ぎ合わせる三角サーフェスの集まりであるポリゴンメッシュ化を実施する必要がある。そのため、点群データに本来排除すべき外れ値が含まれることを留意すべきであり、その外れ値が含まれた状態でポリゴンメッシュ化すると、単純なサーフェスモデルに比べ、外れ値により大きく影響を受ける。よって、今回作成された点群データにおいてポリゴンメッシュの適用性に関して次章にて検証する。

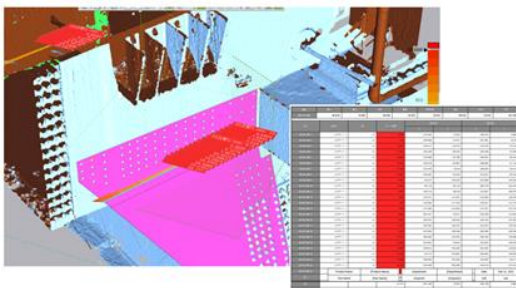


図-5 補強板の形状検討(隙間計測)

3. ポリゴンメッシュモデルの適用性の検証

(1) 点群の振れ幅について

点群データには振れ幅があり、サーフェス化することにより、点群の振れ幅が解消され単一な面に集約され安定した利用が可能となる。ここでいう点群の振れ幅とは、複数機械点の点群の位置合わせ結合や 3D スキャナの持つ誤差などより、被写体の単一な面に対して点の外れ値が発生することで厚みのある点群データが生成されてしまう。この点群の厚みのことを本論文では点群の振れ幅と呼ぶこととする。

(2) サーフェス化による点群データの劣化

上述の通り、点群データを単一なサーフェスデータに変換するという行為は、点群データの振れ幅をなくし、点群データの取り扱いを容易にする。その反面、点群データの真値を曖昧にし、点群データの確からしさを損なう行為になりかねない。そこで、誤差を含む沢山の点群の中からより真値に近い点を抽出し、より有効なサーフェスが作成されているかの検証を行った。検証方法について、点群データと点群データをポリゴンメッシュ化したモデルを重ね合わせ、点群の振れ幅の調査を行った。

(3) 点群データとポリゴンメッシュモデルの照合

中距離型の 3D スキャナの点群データとその点群データから生成されたポリゴンメッシュを照合した位置関係は図-6 の通りである。図-6 にある拡大図の中央付近の単一な断面線がポリゴンメッシュの断面であり、振り分け 3mm の距離に点群データの断面線が配置されていることが確認できる。ポリゴンメッシュの断面が単一であることと、点群の振れ幅に収まった状態であることが確認できる。

また、近距離・小型の 3D スキャナの点群データと上述の中距離型の 3D スキャナの点群から生成されたポリゴンメッシュの照合結果の断面図は図-7 である。中距離型の点群データ同様、点群の振れ幅に収まってはいるが、中距離型の点群データに比べ、断面図より構造物の外側のノイズが大きいことが確認できる。

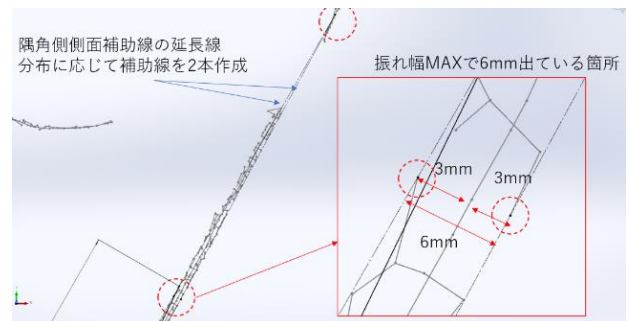


図-6 断面図での点の振れ幅の確認

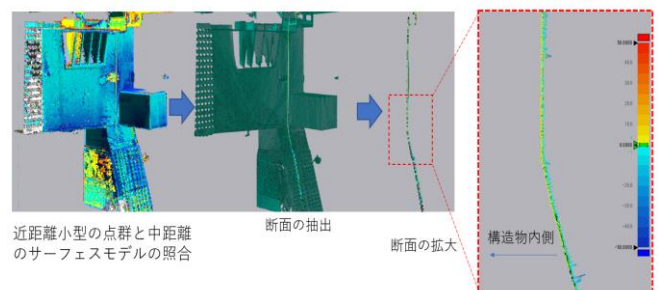


図-7 小型 3D スキャナの点群照合の断面図

4. 検証による結果

(1) 結果の判断方法

今回は、ポリゴンメッシュ化による点群の劣化状況を点群とサーフェスの振れ幅を距離で表し、検証結果とする。サーフェスと点群の距離が近ければ近いほどサーフェス化の結果が良いと判断できる。

(2) 中距離型 3D スキャナの検証結果

中距離型の 3D スキャナの点群データの振れ幅は、サ

一フェスに対して±1mm 以内にある点は点群全体の約32%であった(図-8)。グラフ中央がサーフェス位置(±0mm)となる。±5mm以内は94%という結果となった。図-8 が示す通り、点群の密度が最も高い範囲にサーフェスが生成されていることが分かる。これにより、既設隅角部の表面形状としてサーフェスモデルがおおむね再現されていることが明らかになった。構造物の立体的な確からしさは、従来の計測手法よりも信頼度は向上すると考えられる。

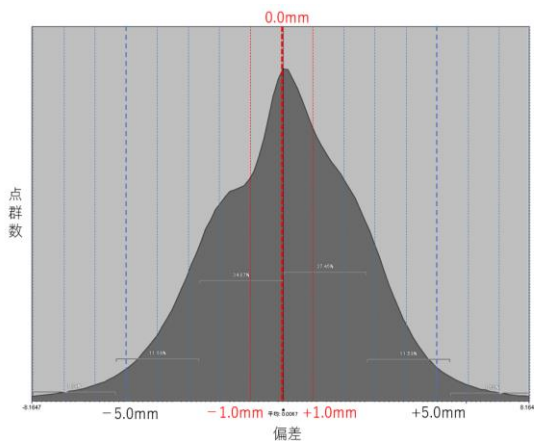


図-8 点群とサーフェスの偏差と点群数

(3) 近距離・小型 3D スキャナの検証結果

近距離・小型 3D スキャナの点群は上述の中距離型 3D スキャナのサーフェスと照合を実施した。結果は、点群全体の±1mm 以内にある点群数は18%であった。±5mm 以内は 69%という結果となった(図-9)。グラフから構造物の表面(グラフの偏差プラス側)の点群数が多い結果も見てとれる。

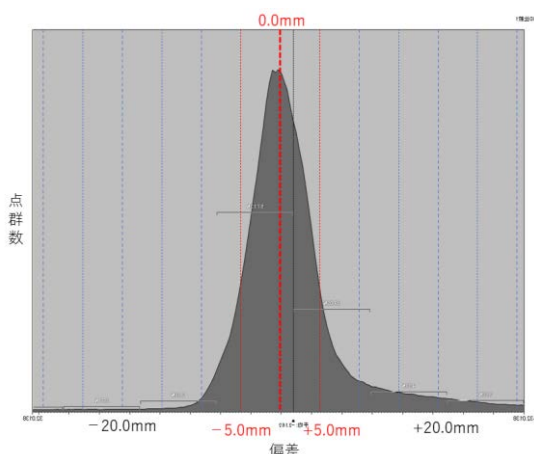


図-9 近距離・小型 3D スキャナの偏差結果

(4) まとめ

設計時の点群データの運用や活用の場面においてサー

フェス化することで、取り扱い易さだけでなく確からしさも確認できたため、点群データの適用性・汎用性が示された。また、運用上、点群データ利用の位置付けや活用範囲に応じて、サーフェス化の詳細度や閾値を定義することで、目的に応じた機材の選定や点群データの取得及び処理方法を決定でき、設計プロセスの効率化が図れる。

(5) 課題

近距離・小型の 3D スキャナは上述の結果、精度に関して少し課題が残るが、橋梁に置いて機動性の面で活用が不可欠である。現在、データ処理の観点で、近距離・小型の点群データのノイズ除去やサンプリング、また、点群撮影での工夫など、継続して検証を進めており、ある程度の利用の目途が付いている。以降も検証を重ね、3D スキャナのスペックを最大限に生かせる運用を模索したいと考える。

また、ポリゴンメッシュに関しては点群データの精度を保つにはデータ容量が大きくなり、CAD データとしての利用は現実的ではなくなる。対処としては、設計検討に必要な最低限の範囲を絞り込み CAD データとして利用可能なサイズのポリゴンメッシュを作成する方法が考えられる。

5. 最後に

鋼橋は設計・製作・施工などの用途によって、点群データに対する要求精度は異なる。設計初期検討の段階であっても、必要以上に高い精度で計測を行ない、大きなコストをかけてしまうケースや、逆に精度不足によりデータが無駄になってしまうケースがある。本検証が示すように、対象構造物の特性、目的・用途に合わせて許容できる誤差を把握することで、適切なツールを選定し汎用性と適用性を両立した運用が可能である。目的・手法・考え方を正しく理解することで、ICT 技術は最大限、効率的に活用されると考える。我々が目指すべき目標の1つは生産性向上であり、点群データの活用はそのための手段の1つである。全体的な生産性向上に向けて、引き続き検証を行い、実業務への適用を進めていきたい。

参考文献

- 1) 宮崎 椋子, 横山 徹, 竹本 大地, 原 直人, 服部 浩太郎: 点群データのサーフェス変換における有効性の検証, 令和3年度土木学会全国大会 第76回年次学術講演会, 2022