

## 構造物の出来形自動検測システムの開発および実橋での適用について

三井住友建設(株)	正会員	○高岡 怜
三井住友建設(株)	正会員	藤岡 泰輔
三井住友建設(株)	正会員	内堀 裕之

キーワード：出来形計測，自動検測システム，生産性向上，3Dレーザースキャナ

### 1. はじめに

近年、コンピュータの高性能化や3Dレーザースキャナなどの計測技術の高度化が目覚ましく、これらを活用することで業務の効率化や品質の向上への期待が高まっている。

本稿で述べる出来形自動検測システムは、3Dレーザースキャナで計測した3次元点群データを用いて橋梁の断面形状を自動抽出し、断面の出来形寸法を自動で検測する目的で開発を行ったものである。

従来、構造物の出来形計測は施工管理者が手作業で行う管理手法であったが、本システムを用いることで出来形管理業務における施工管理者の負担が減り、生産性の向上が期待できる。

本稿では、計測機器の選定や計測対象物の材質の違いがおよぼす3次元点群データの精度への影響の検証、および張出架設工法によって建設する橋梁上部工を対象構造物としたシステムの適用性と計測精度の検証、そして実橋における試行業務について報告する。

### 2. 3次元点群データの取得方法の検討

出来形計測に適した3次元点群データの取得方法を選定するために、以下の3つの手法について比較検討した。

- ① 一眼レフカメラを用いたステレオ撮影による取得方法
- ② ハンディスキャナによる取得方法 (図-1)
- ③ 地上型3Dレーザースキャナによる取得方法 (図-2)

①は対象物を異なる場所から撮影した複数の画像から、画像間の関係を解析することで対象物の点群を取得する方法である。3次元点群データを生成する解析時間を短縮するために、計測対象物近傍に解析専用のマーカーを30cm程度間隔に配置する必要がある。構造物の特徴点を利用することでマーカーレスでの計測も可能であるが、その場合の解析時間は膨大となる。また、計測したいポイントには別途マーカーの設置が必要となり、効率化に繋がらないと判断した。

②は計測箇所に沿ってハンディスキャナを動かし、特徴点を使って点群取得と合成を随時行い、全体の点群を作成する方法である。3次元点群データの処理精度を向上させるには合成用のマーカーを



図-1 ハンディスキャナ計測状況



図-2 3Dレーザースキャナ計測状況

構造物近傍に多数置く必要がある。また、ハンディスキャナは計測対象物が比較的小さいものに適しているため、大きな構造物では誤差が累積し、目標となる精度を確保するには課題が残る。中には求める精度を確保できるものもあるが、赤外線を照射し計測する機械であるため、屋外での日中の計測が困難であった。

③はレーザースキャナを複数個所に設置し、各箇所得られた点群を最後に合成して全体の点群を作成する方法である。レーザー光を照射して面的に一度に大量の3次元点群データを取得し、精度の高い3次元形状を把握できる。分割して取得した点群データの合成に必要なマーカーは最低3点と少なく、合成精度も高い。

これらの特徴から、効率化への寄与と将来性から、地上型3Dレーザースキャナを選定した。

なお、本計測では大量の点群データを短時間で取得できる特徴をもつ、連続放射した数種類のレーザーの出射光と反射光との間に生じた波長の位相差で計測距離を算出する「フェーズシフト方式」の3Dレーザースキャナを採用した。

### 3. システム開発に向けた基礎的研究

#### 3.1 材質検証

建設現場ではさまざまな材質にレーザーを照射して構造物の3次元点群データを取得するため、計測対象物の材質が精度におよぼす影響を事前に検証した。検証方法は、図-3に示す支持台に異なる材質の計測対象物を固定し、10mおよび20m離れた位置から3Dレーザースキャナとトータルステーションを用いて各計測対象物の中心点までの水平距離を計測し比較をした。各計測対象物と機械は正対させることで、レーザーの入射角による精度のばらつきに対する影響を排除した。

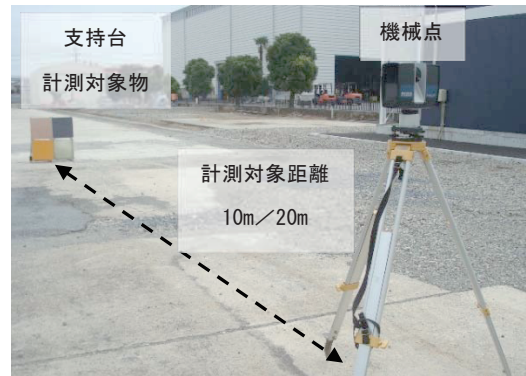


図-3 材質検証状況

表-1 材質検証結果

計測対象の材質と検証結果を表-1に示す。計測対象の材質がコンクリートや木製、鋼製である場合は両機械での計測差はほとんど無く、材質による点群データの精度に影響が小さいことが把握できた。

計測対象物	トータルステーションでの計測を基準とする差(mm)	
	計測対象距離 10m	計測対象距離 20m
コンクリート	-1	0
木製型枠	-1	-1
鋼製型枠	-1	-3
樹脂型枠	3	2
プラスチック製型枠	8	11
ステンレス型枠	-	-

+ ) 計測対象物より奥行側となる計測結果  
 - ) 計測対象物より機械側となる計測結果

一方、透明性のあるプラスチック製型枠や樹脂型枠については、レーザーが透過する傾向があるために本来対象物が存在する位置に点群データが取得できず、計測差が大きく生じた。

また、研磨したステンレス材のように鏡のような光沢がある素材はレーザーが乱反射してしまうため、点群データ自体が取得できない結果を示した。

以上より、現場計測時には、計測対象物の材質が点群データの精度に影響を与える可能性があり、留意が必要であることが分かった。

#### 3.2 実橋での点群データの精度検証および計測方法の検討

システム開発にあたり、現場環境下での計測方法を検討するため、張出架設工法を用いた箱桁断面を有する橋梁上部工の現場において計測を試み、3次元点群データの精度検証を行った。目標とする3次元座標の精度は、3Dレーザースキャナの計測精度1~2mmと合成精度2mm、および常時微動などの1

mmを含め、対象物の長さ15m程度で5mm以内とした。

3Dレーザースキャナの設置方法を図-4に示す。3Dレーザースキャナを移動作業車内の型枠と前方足場の間に設置し、①～④の位置に移動させて4つの点群データを取得した。4箇所取得した3次元点群データの合成には、基準球を用いた。3次元点群データの合成に必要な基準球の配置方法や3Dレーザースキャナの設置位置、および機械の設置姿勢について精度検証をするとともに、求める精度を確保するための分解能や3次元点群データの取得時間とを組み合わせた最適な計測設定の検討を行った(図-5)。

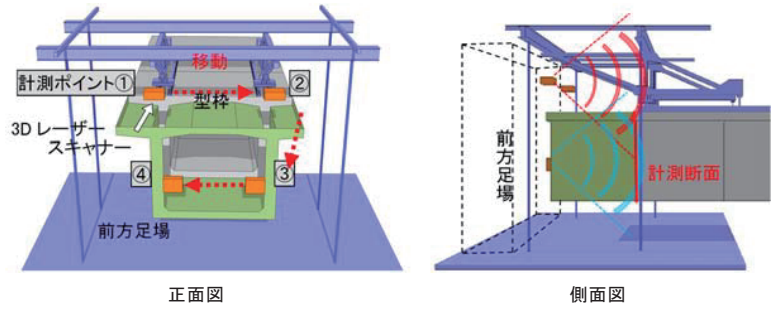


図-4 3Dレーザースキャナ計測ポイント

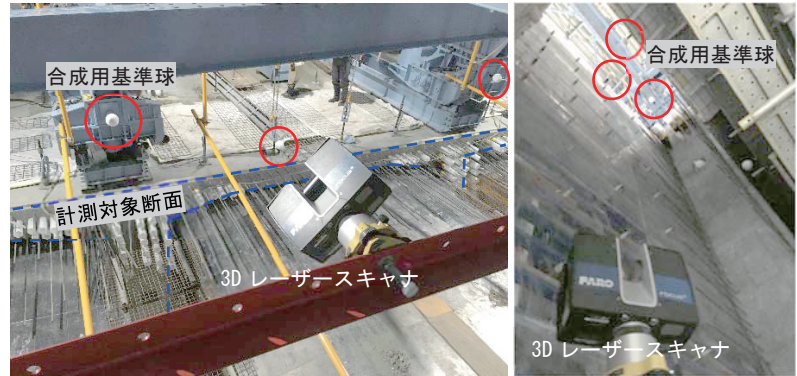


図-5 基準球配置および計測機器設置状況

本検証は複数の実施工現場で行い、各現場によって異なる計測環境

に適応可能となる計測方法と精度の検証を行った。その結果、取得した3次元点群データの精度は目標値以内に収まる結果を得られることが確認できた。

#### 4. 構造物の出来形自動検測システムについて

実橋において取得した精度の良い3次元点群データをもとに、取得したデータの合成や寸法計測の自動化を図るため、本システムの開発を行った。

本システムの具体的な自動処理工程は以下のとおりである。

- ① 3Dスキャナで計測した複数の点群データを点群処理ソフトに取り込む
- ② 基準球を認識して点群データ同士を合成する
- ③ 計測時に予め配置するチェッカーボードターゲットを点群データ内で認識し、検測したい位置・方向を特定する
- ④ 点群データから検測したい断面の輪郭を抽出する
- ⑤ 抽出した輪郭から部材の寸法値を算出する
- ⑥ 寸法値を帳票に出力する

これら一連の処理工程はすべて自動化されており、ソフトにデータを取り込み、実行ボタンを押すだけで結果を得ることができる(図-6)

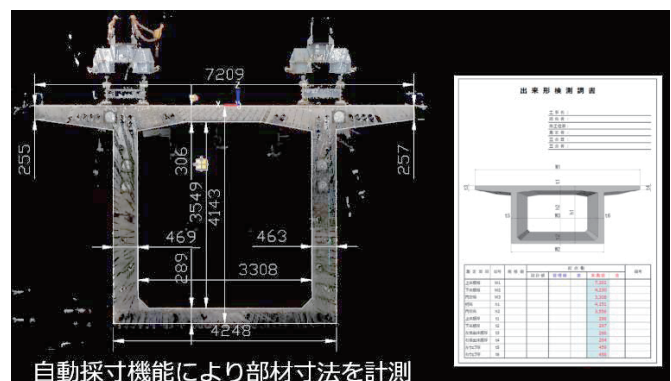


図-6 帳票出力イメージ

#### 5. 国土交通省直轄工事における試行業務

実橋における計測を通して精度検証および開発が行われた本システムは、国土交通省が公募した「建



設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」に採用され、一般国道45号三陸沿岸道路の有家川橋上部工工事に於いて試行業務として導入された（図-7）。

この現場での計測条件における課題は、使用していた型枠が透明型枠であったことと、桁高が9mと高く、箱桁内に設置された施工用の足場が計測の障害物となっていたため、3Dレーザースキャナによる計測方法の検討が必要であった点である。

透明型枠に対しては、レーザーの反射性が高い白地の壁紙を透明型枠に貼り付けて計測を行うことで、3次元点群データを取得することができた。

計測方法については、桁高の中央付近での計測を左右1回ずつ増やすことで、必要な桁内の点群データを取得した（図-8）。今回計測回数を増やしたことで合成精度が落ちることは無く、求める精度を満足することができた。また、距離の離れた基準球を精度良く認識するためには、分解能を上げて点群の密度を高める必要があることが分かった。

一方で、計測中の風雨による水たまりには照射したレーザーが反射されず、点群データが欠落する現象が確認された。そのため、今後の計測では雨による計測対象物の変化には留意すべきであることが分かった。

今回の計測では、部材寸法が15m程度のもので計測誤差が概ね3mm、最大5mmであり、本システムは従来計測手法と同等以上の精度を有することが確認された。

今回の計測では、部材寸法が15m程度のもので計測誤差が概ね3mm、最大5mmであり、本システムは従来計測手法と同等以上の精度を有することが確認された。

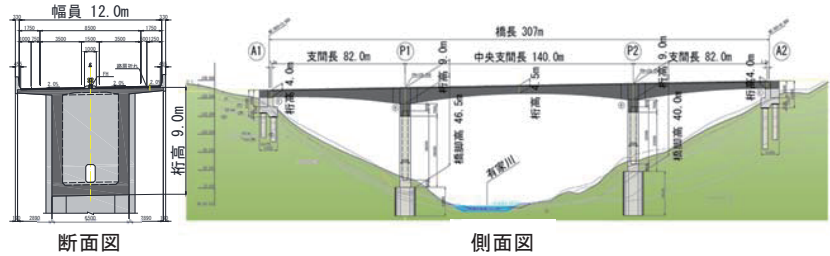


図-7 有家川橋構造一般図

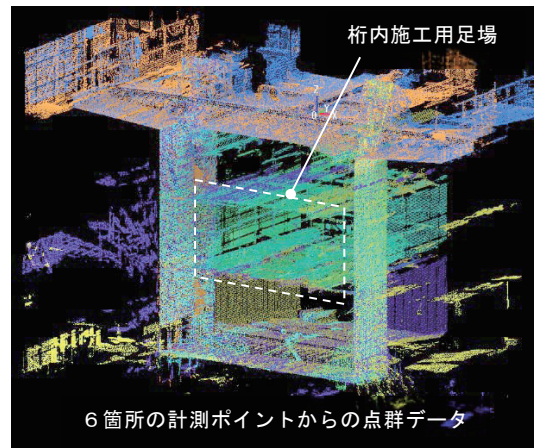


図-8 合成点群データ

## 6. 本システムの期待される効果と今後の展望

本検測システムは建設中の橋梁構造物を対象に開発を行っているが、それに限定することなく、コンクリート工場製品などの出来形計測および3D図面へも適用可能であると考えられる。さらに、本システムが一般化されることで、施工中のデータを将来の維持管理に役立てることも可能になると考えられる。

将来的には計測機の自動搬送装置を開発することで計測を全自動化し、生産性の飛躍的な向上を目指している（図-9）。

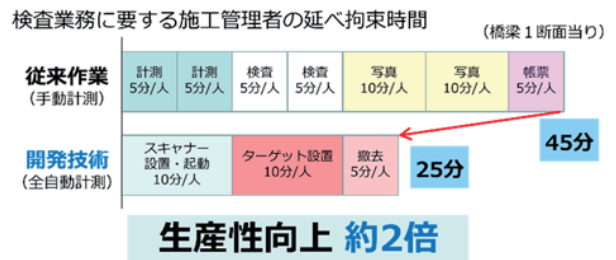


図-9 期待される効果

## 7. 謝辞

本研究は国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の助成を受けたものである。

本システムの開発には施工中の現場における実験的検証が不可欠であり、発注者をはじめとした皆様、そのほか関係者各位の多大なご理解とご協力を賜り開発に至ることができた。本システムの開発にあたり、ご指導・ご支援を頂いたすべての皆様に感謝の意を表す。