

構造物の出来形検測システムの開発と実橋での適用

Development of Automatic Measurement System for Structures and Its Application to Bridges Under Construction

構造技術部 高岡 怜 REI TAKAOKA

構造技術部 藤岡 泰輔 TAISUKE FUJIOKA

構造技術部 内堀 裕之 HIROYUKI UCHIBORI

現在、構造物の出来形検測は施工管理者が手作業で行っているが、我が国の少子高齢化に伴い建設業界においても担い手不足が顕著になりつつあり、現場管理においても更なる生産性向上が期待されている。そこで、著者らは 3D レーザースキャナーによって構造物の出来形形状を計測し、取得した三次元点群データから構造物の断面形状を自動抽出、指定した位置での出来形寸法の検測と調書作成を自動で行うシステムを開発した。本稿では、システム開発のための精度検証から実橋における試行業務までを報告する。

キーワード：出来形，自動検測システム，生産性向上，3D レーザースキャナー

Currently, the finished shape of structures is measured by construction engineers. With the declining birthrate and the aging population in Japan, the shortage of engineers and skilled workers in the construction industry is becoming remarkable, and further productivity improvement is desired in the site management. Therefore, the authors developed the automatic measurement system for the structures. A 3D laser scanner is used in the system to measure the finished shape of the structure and the target cross-sectional shape of the structure is extracted from the measured 3D point-cloud data. The system also automatically measures the finished shape dimensions at specified positions, and prepares documents. In this paper, it is reported from accuracy verification for system development to trial work in the actual bridge.

Key Words: Automatic measurement system, Productivity improvement, 3D laser scanner

1. はじめに

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、建設業界の少子高齢化に伴う担い手不足により、生産性向上を図る新しい管理手法の確立が今後期待される場所である。また、近年コンピュータの高性能化や 3D レーザースキャナー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。

そこで、著者らは 3D レーザースキャナーによって取得した三次元点群データから橋梁の断面形状を自動抽出し、指定した位置での出来形寸法を自動検測するシステムを開発した。

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三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. 三次元点群データの取得方法の検討

出来形計測に適した三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 ハンディスキャナーによる取得方法 (図-1)
- ③ 地上型3Dレーザースキャナーによる取得方法 (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

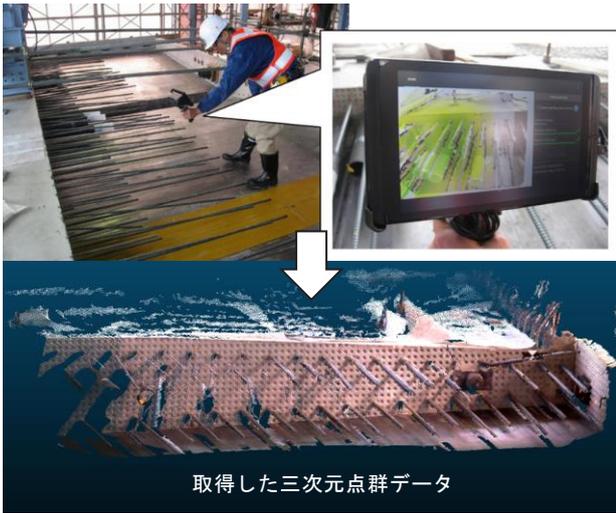


図-1 ハンディスキャナーによる取得



図-2 レーザースキャナーによる取得

方法である。この方法では、三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 30 cm 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ため、本システムへの適用には課題が残ると判断した。

②は計測対象物に沿ってハンディスキャナーを動かし、特徴点を使って点群取得と合成を随時行うことで、全体の点群を作成する方法である。この方法の場合では、三次元点群データの処理精度を向上させるためには、合成用のマーカーを構造物近傍に多数置く必要がある。また、ハンディスキャナー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ーを複数箇所に設置し、各箇所から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。3Dレーザースキャナーはレーザー光を照射し、反射した光との差分を計測することで対象物との距離を求める機材であり、一度に面的な三次元点群データを大量に取得でき、精度の高い三次元形状を把握できる。分割して取得した点群データ同士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を考慮して、地上型3Dレーザースキャナーを選定した。

なお、3Dレーザースキャナーには、レーザーが計測対象物に反射して返ってくるまでの時間から距離を、レーザーの移動方向角度から角度を算出し、この距離・角



図-3 検証状況

度情報から3次元位置情報を求める「Time of flight方式」と、数種類のレーザーを連続放射し、出射光と対象物で反射した戻り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」のものがある。本計測では、大量な点群データをより短時間で取得できる特徴を持つ、フェーズシフト方式の3Dレーザースキャナーを採用した。

3. システム開発に向けた基礎的研究

(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三次元点群データを取得する。そのため、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 に示す支持台に計測対象物となる異なる材質を固定し、10m および 20m 離れた位置から3Dレーザースキャナーとトータルステーション (TS) を用いて各材質の中心点までの水平距離を計測し比較をした。各材質と機械は正対させることで、レーザーの入射角による点群のばらつきが計測精度へ影響することを排除した。

表-1 材質検証結果

計測対象物	対象距離	TS計測との差(mm)	
		10m	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

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。

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を確認した。

(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、三次元点群データの精度検証を行った。目標とする三次元座標の精度は、3D レーザースキャナーの計測精度 1~2mm と合成精度 2mm, および常時微動などの 1mm を含め、対象物の長さ 15m 程度で 5mm 以内とした。

3D レーザースキャナーの設置方法を図-4に示す。3D レーザースキャナーを移動作業車内の型枠と前方足場の間に設置し、計測ポイント①~④に移動させて4つの点群データを取得した。4箇所取得した三次元点群データの合成には、基準球を用いた。三次元点群データの合成に必要な基準球の配置方法や3D レーザースキャナーの設置位置、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三次元点群データの取得時間とを組み合わせた最適な

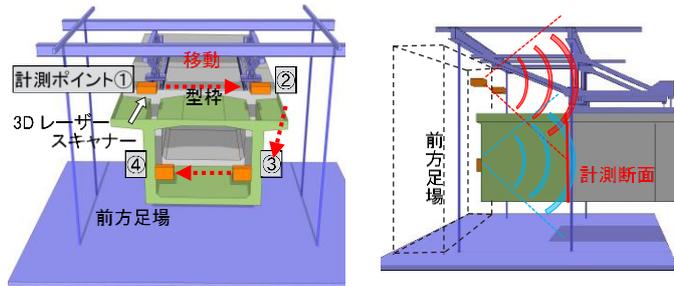


図-4 レーザースキャナー配置図

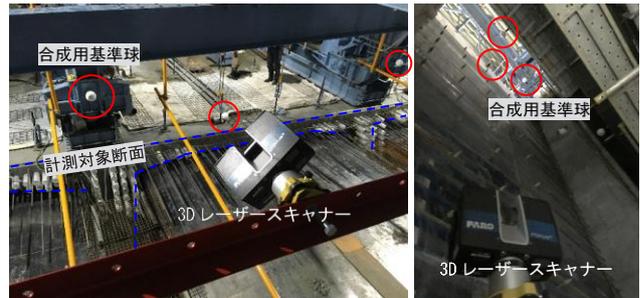


図-5 基準球設置状況および機械の設置姿勢

計測設定の検討を行った(図-5)。本検証は複数の実施現場で行い、各現場によって異なる計測環境に適用可能となる計測方法と精度の検証を行った。その結果、取得した三次元点群データの精度は目標値以内に収まる結果を得ることを確認した。

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三次元点群データをもとに、データの解析作業が技術者のスキルに依存することなく効率的かつ精度よく結果を得るため、合成から寸法計測まで自動化された、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スキャナー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、検出したい位置・方向を特定する
- ④ 点群データから検出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んだ後、実行ボタンを押すだけで結果を得ることができる(図-6)。

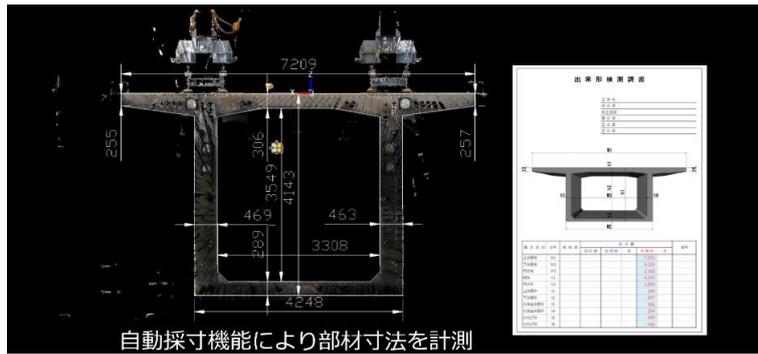


図-6 検測処理イメージ

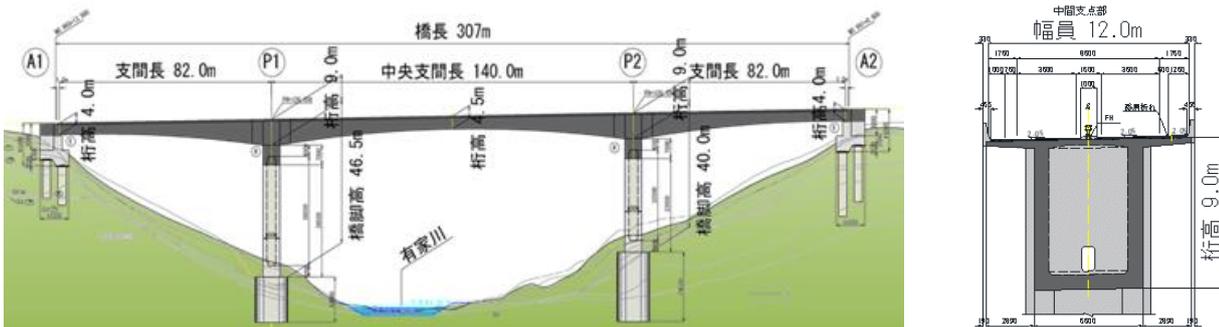


図-7 構造一般図

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お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点と、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り、3Dレーザースキャナーによる計測方法の工夫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付ける対策をして計測を行うことで、三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

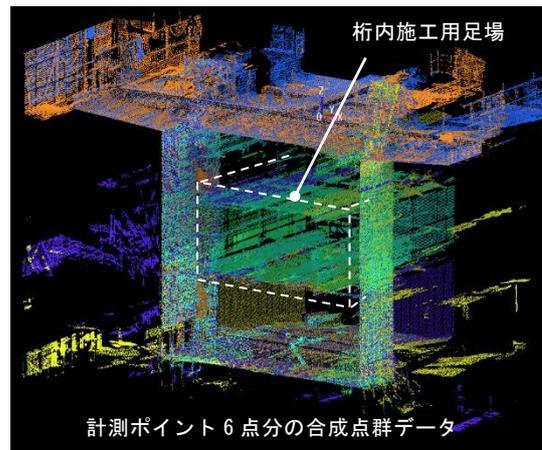


図-8 取得した点群データ

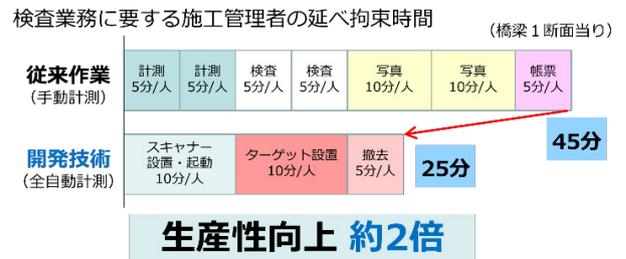


図-9 期待される効果

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。

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）。

また、本システムは張出し施工時の橋梁構造物を中心に開発を行ったが、それに限定することなく、コンクリート工場製品等の出来形計測や既存構造物の3D図面化へ

も適用可能であると考えられる。

さらに、本システムにより取得したデータは3次元As Builtデータとして事業者を引き継ぐことにより、維持管理の基礎資料としての展開も可能になると考えられる。

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します。