

3D レーザスキャナの 構造物調査への適用事例

加藤 淳

3D レーザスキャナは、調査対象の表面形状を遠隔から非接触で効率的に取得できることから各分野で急速に活用されつつある。三次元計測により得られた詳細形状データは、構造物の変形状況を把握できるほか、関連する調査結果を3次元情報として管理することで、技術者の専門的判断を補助し、3次元可視化による情報共有ツールとして機能する。ここでは、3D レーザスキャナの構造物調査事例として各種土木構造物調査への適用例と、文化財調査記録の事例を交えて、その応用可能性を述べる。

キーワード：光学的計測手法、3D レーザ、非接触計測、建築限界調査、損傷調査、3次元 GIS

1. はじめに

新たな社会資本の建設の伸びが抑えられる一方で、高度成長とともに整備されてきた社会資本は、建設後既に30～40年が経過して年々老朽化しており、これからは維持管理の時代と言われている。

その中で、計測技術においては施工時の計測はもとより、施工後のモニタリング、また、現状調査のための計測と、多種多様な計測手法が求められるようになった。最近では受注競争において「技術提案型総合評価方式」が取り入れられ、差別化を図るための新しい計測技術が求められている。その中で近年注目されている計測手法は、光を用いた光学的計測手法である。

光学的計測手法とは、光の性質を利用した計測手法のことである。現在、建設分野で使用されている主な光学的計測機器を表—1に示す。人間の目に見える光は、およそ400～800nmの狭い範囲であるが、光

学的計測機器では、電波のような長い波長のものから、赤外線、紫外線、X線、ガンマ線など幅広い光を使用している。

2. 3D レーザ計測について

(1) 3D スキャナの特徴

3D レーザスキャナ（以下3D レーザ）は測定対象物の情報を遠隔から非接触で3次的に測定するため、面的な評価が必要な場合に有効となる。また、遠隔からの測定が可能のため足場仮設などの作業が必要なく、安全性や経済性にも期待が大きい。特に土木分野では、既設構造物の図化、斜面監視、盛土工事における出来高算出など、近年急速に普及してきた計測技術である。当社では6年前より3D レーザを活用し、種々の土木構造物計測・文化財計測を行っている。本報文では、この光学的計測手法として3D レーザの調査事例について紹介する。

(2) 3D レーザの測定原理

地上型3D レーザは、測定形式の違いにより、タイムオブフライト方式とフェーズシフト方式の2種に分別される。当社も計測対象に応じて図—1に示す2機種を使用している。タイムオブフライト方式はレーザー光が対象物に当たり反射して戻るまでの時間と、レーザー光放射角から座標を認識するもので、原理としてはノンプリズムの光波測距儀に類似している。一方、フェーズシフト方式のFARO Photonでは3種の異なる波長を照射し、対象物から反射してシフトした位相

表—1 光学的計測法の分類

種類	波長分類	レーザー	スキャニング	非接触
3D スキャナ	可視・赤外	○	駆動装置	○
LDV (レーザドプラ速度計)	可視・赤外	○	駆動装置	○
光波測距機	赤外	○	駆動装置	○
サーモグラフィ(赤外線)	赤外	×	CCD	○
棒形スキャナ(ラインセンサ)	可視	×	駆動装置	○
CCD カメラ	可視	×	CCD	○
衛星画像	多種	×	CCD	○
電磁波探査	電磁波	×	アンテナ	○
モアレ	可視	○	CCD	○
スプレックル干渉	可視	○	CCD	○
X線撮影	X線	×	フィルム・カメラ	○

差を受光し距離を計測する。一般的に計測精度、計測速度は、フェーズシフト方式の方が優れるが、計測距離はタイムオブフライト方式の方が、より遠距離広範囲の計測が可能である。

	計測概念図	仕様
ILIRIS-3D		タイムオブフライト方式 計測距離:5~800m 計測範囲:縦 40° × 横 40° 計測速度:2,000 点/秒 計測精度:20mm@100m 特徴:長距離計測が可能であり1箇所から広範囲でのデータ取得が可能
FARO Photon		フェーズシフト方式 計測距離:0.6~160m 計測範囲:水平 360° × 垂直 320° 計測速度:122,000 点/秒 計測精度:2mm@25m 特徴:波長の異なる3波形の位相差から精度を向上。計測距離が短いが高速度、高密度に全周の壁面データの取得が可能(移動計測対応)

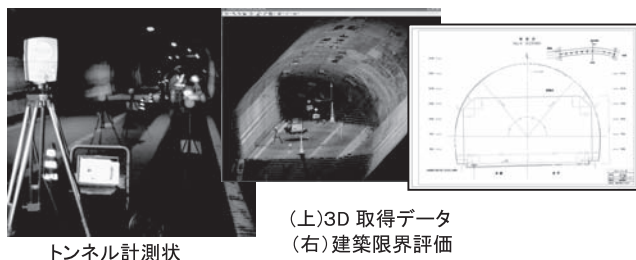
図-1 3D スキャナの種類

3. 構造物調査での適用事例

(1) 道路トンネル

道路トンネルでの建築限界調査に3Dレーザを活用した事例である。現地計測は夜間片側車線規制時に実施しトンネル延長500m間を25カットのスキヤニング(夜間作業1日)を実施。内業にて10断面での建築限界調査断面図を作成した。

処理内容は、現地計測時に配置した基準点データによる座標変換作業、断面形状の切り出し作業、及び図化編纂の流れである。横断方向に約10mm間隔以内で座標をサンプリングできることから詳細な建築限界の検討が可能となる。



(上)3D取得データ
(右)建築限界評価

図-2 トンネル計測の事例

上記計測は、複数箇所での静止状態で計測を行っているが、最近では移動車にスキャナを搭載し、走行しながら壁面形状データを取得する技術が可能となっている。また、施工中のトンネル形状を3Dレーザで計測しておけば、覆工巻厚量を連続的に記録できる。従来までの定位置断面による記録と異なり、維持管理段階

でのクラック箇所について施工時の覆工厚情報を呼び出し、周辺岩盤データと合わせて、損傷原因の究明等に寄与できる。

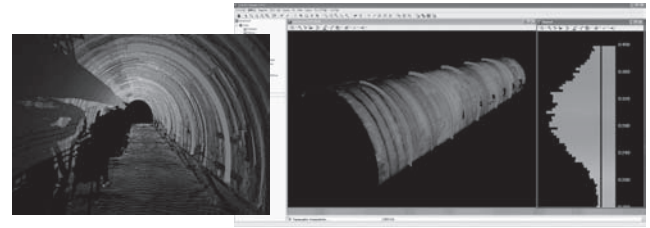


図-3 覆工巻厚管理の出力例

(2) 損傷調査への適用事例

構造物の経年劣化による損傷調査を行った事例である。図-4は巨大タンク壁面を遠距離3Dレーザにより複数方向から計測し、合成した結果である。タンク内に座標管理用のターゲットを設けることにより合成精度、及び水準精度の確保を行うが、遠距離レーザでは自身の計測精度から20mm内外のバラツキを持っている。但し3Dレーザでは1点の距離精度は、従来の光波と比較すると劣るが高密度計測が行えることから、後処理次第で所定の損傷程度を確認することが出来る。近傍の多点データから移動平均処理により壁面のゆがみ傾向を把握するなど、連続的かつ定量的に検討できる事において有効である。

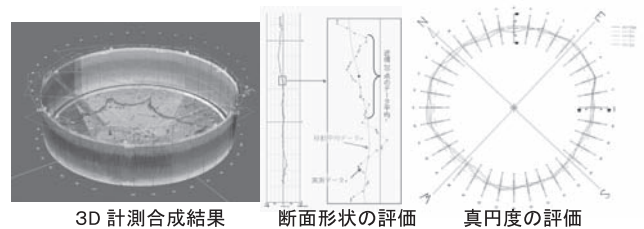


図-4 タンク壁面変形の出力例

(3) 石橋地震時の動的挙動解析

現存する石造アーチ橋を3Dレーザで計測し、計測された形状を用いて3次元動的FEM解析を行った事例である。石造アーチ橋の強度は、石材の圧縮強度と石材同士の摩擦力により決定され、輪石のせん断方向の力が限界摩擦力以上になると輪石が滑り落ち、崩落に至る。従って、解析では各石材を独立な要素により離散化し、接触摩擦モデルとして石材間の力の伝達を表現する解析モデル『離散型有限要素モデル』を構築し地震時の検討を行ったものである。

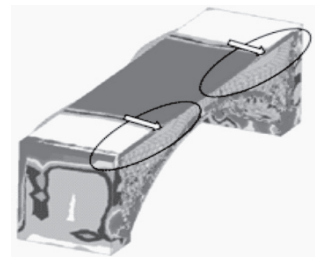
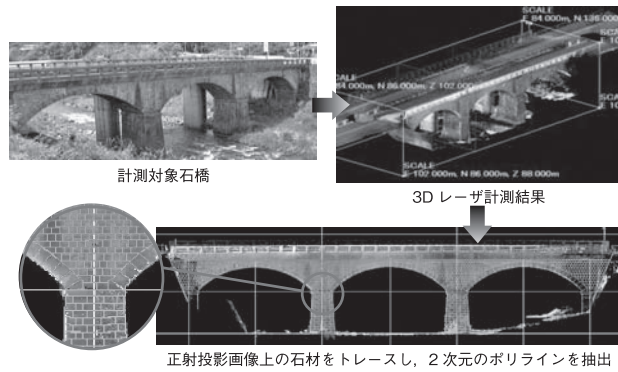


図-5 地震動入力3S後



図一六 石造アーチ橋のFEM解析

4. 文化財調査記録の事例

3D レーザは、現物の詳細形状をありのままにデジタル情報として記録することから、後世に伝達すべき文化財-近代化遺産などの構造物の記録において極めて有効である。また、画像と共に3次元データをビジュアル化して把握することは、構造物の安全・信頼性を向上させることに有効である。これまで実施されてきた写真測量は、構造物の大きさや迅速性においてやや制限的であり、システムティックに調査結果を収集できるようにする「3次元形状、および損傷情報を、収集、管理できるシステム」を用意することが、構造物の維持管理には重要となる。

ここでは、具体的な適用例として、世界遺産・原爆ドームの保存管理に向けた試行例を紹介する。

膨大な数値形状を多様な図面情報と連携して、効率良く一元的に管理するためには、構造物を3次元空間の中に配置した3次元GISモデルを構築し、各種のデータを、デジタル情報として連携させ、必要な時にいつでも取り出せる3次元情報管理システムを開発し、活用を図ることが必要となる。

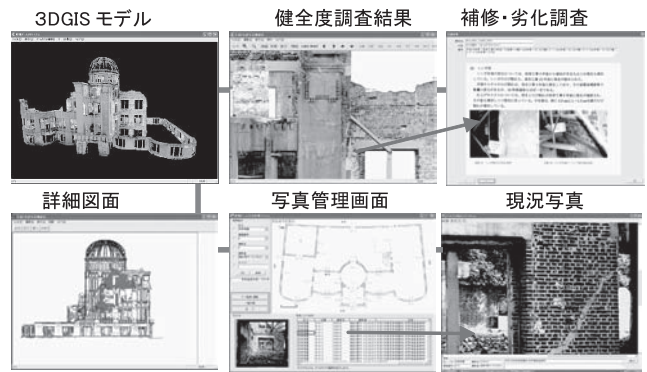
3次元GISのベースモデルとして3Dスキャナによる現地計測結果から、構造物全体の3Dモデルを作成した。技術者は構造物全体を任意の方向から閲覧することができ各部位の座標や寸法を画面から確認できる。実際には画面動作速度を考慮して、細部形状については部位毎の詳細モデルを呼び出せる格好とした。

ベースモデルの部位座標に、正射投影画像、詳細図面、写真などの各種関連データをリンクすることにより、技術者は迅速に目的の情報を検索できる。

3次元可視化は技術者の判断を補助し、作業を迅速に処理できる他、プレゼンテーションなどの説明補助システムとして利用できる。



図一七 原爆ドーム3Dモデル



図一八 情報管理システム

5. おわりに

本報文では、3Dレーザの活用事例を紹介した。

3Dレーザは、

- ①遠隔・非接触な計測が可能
- ②多点の情報を短時間で取得可能
- ③計測結果を可視化情報で表示し、2次元、3次元的に把握する事が可能

などの長が挙げられる。つまり、安全で安価に高精度の情報が得られ、計測対象物の状態を可視化できることから、異常個所の位置をいち早く特定できたりすることが期待できる。

また、今回は計測部分に注目したが、取得データを処理する演算部分の技術革新も日々進歩しており、その他データの通信処理部分の進歩も著しい。これらの周辺機器も合わせた総合システムとして、これからもより便利で早く高精度な評価を手助けする技術を提供して行きたい。

JCMMA

[筆者紹介]

加藤 淳 (かとう じゅん)
 (株)計測リサーチコンサルタント
 クリエイティブ事業部
 課長

