

ダム・橋脚・トンネルの点検を大幅に効率化

次世代インフラロボット パシフィックコンサルタンツ



社会インフラの老朽化が深刻な問題となるなかで、ロボットを利用してダムや橋梁、トンネルなどの構造物の点検業務を効率化・高度化する取り組みが進んでいる。その最新の動向について、パシフィックコンサルタンツ株式会社事業統括本部品質・技術統括センター長の徳川和彦氏にお話を伺った。

ロボットによる巨大構造物の点検

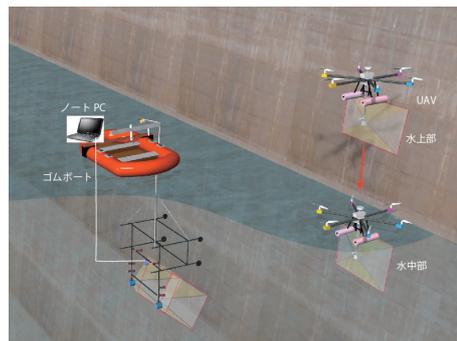
2014年12月、神奈川県宮ヶ瀬ダムにおいて、国土交通省の「次世代社会インフラロボット現場検証委員会」によるロボット技術の現場検証が行われた。パシフィックコンサルタンツはここで、「無人飛行体 (UAV) と多視点画像3D構築によるダム点検」の技術検証を実施した。

「このダム点検システムは、ダム堤体の水上部および水面から一部水中部まではUAVを、水深部については水中専用確認システムを用いることで、堤体全体の点検を効率的に行うものです。現場検証では、UAVによる空中撮影の精度と遠隔操作による水中心点検の安定性がポイントになりました」

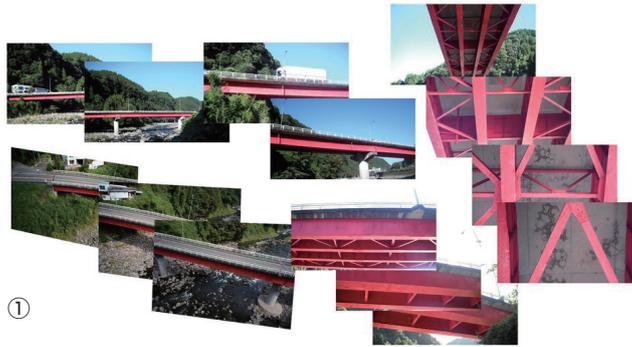


パシフィックコンサルタンツ株式会社
事業統括本部 品質・技術統括センター長
徳川和彦氏

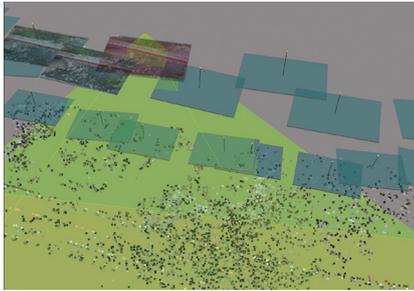
検証では、まず市販のデジタルカメラを搭載したUAVを堤体上から操縦して堤体の水上部分を撮影。空中でカメラの方向を上下左右に動かしながら、壁面をまんべんなく、多視点から撮っていく。UAVの連続飛行可能時間が10分程度であるため、バッテリーを補充しながら繰り返し飛ばすことが必要だ。次に、UAVをそのままフロートに乗せて水面に浮かべ、水面付近の水上・水中の壁面を撮影。さらに水深部の撮影は、



上から、UAVによるダム堤体水上部の撮影、フロートで浮いた状態からの水面・水中の撮影、3つの撮影方式の概略図



①



②



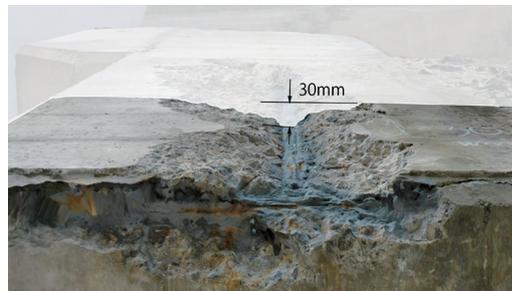
③



④



⑤



⑥

多視点画像からの3Dモデル構築の例（橋梁の場合）。

- ①多視点からの写真撮影、②撮影位置から写真をステレオマッチングして特徴点を抽出、③TINデータにテクスチャを貼る、④実写の橋と完成した3次元モデル、⑤3次元モデルの剥離部分、⑥実際の同部分

カメラを設置した専用のワゴンを水面に浮かべたボートから水中に下ろし、壁面に沿って移動させながら行った。

撮影画像は、6000×4000pixのサイズのJPEG形式のデータ。テストボードのクラックを撮影するかたちで行った精度のベンチマークでは0.2mm幅のひび割れまで視認可能だった。また、光の屈折率が異なる水中での撮影画像も、補正をかけて水上の画像とつなげられることが確認された。

ところで、この現場検証の方式で撮影した多視点画像を解析処理し、独自の3次元化技術によって精密な3Dモデルを作成する手法もすでに開発されている。

「この3Dモデルから、ひび割れの幅や長さ、位置が捉えられるだけでなく、コンクリート表面の凹凸も1mmレベルで検出できるので、断面欠損部分の表面積や体積も正確に算出できます。これまではひび割れ箇所を示す図なども、現場を見てきた点検員が手でスケッチしていたんですから、大きな違いです」

たしかに「UAVと多視点画像3D構築」による大規模インフラのモニタリングが導入されれば、従来は足場やゴンドラの設置、ロッククライミングや潜水作業など、多くの人員、期間、費用が必要だった点検作業が大幅に効率化され、点検間隔を短縮することも可能になる。また、点検の精度や確実性も向上するため、的確な

補修や改築によって事故を未然に防ぐことにもつながるわけだ。

デジカメ画像から精緻な3Dモデルを生成

UAVなどのロボットを用いた多視点画像計測と3Dモデル構築の方法を整理しておこう。

①多視点からの写真撮影

ダムや橋梁など、近接目視による点検調査が困難な大規模構造物に対し、UAVなどの無人ロボットを利用してデジタルカメラで撮影を行う。撮影においては、対象構造物全体を網羅するように多視点からの画像を取得する。また、遠方からの高精度定点撮影も併用する。撮影点数の目安は、1つの橋梁で数百枚程度。カメラは市販のものを利用できる。現場検証で使われたUAVは機体重量が2.5kgで、2.5～3.5kgの積載が可能だが、そうした状態で機体の姿勢や位置を安定的に維持できるように操縦するにはある程度の訓練が必要だ。

②3次元点群データの作成

取得した画像の正確な撮影位置を解析し、それを基に画像をステレオマッチングする。さらにそこから特徴点を抽出し、構造物の表面形状を高密度な3次元点群モデルとして作成する。

③3次元TINデータの構築

点群を三角要素で結合し、3次元のTIN(Triangulated Irregular Network、不整三角網モデル)データを構築する。さらに、TINデータに撮影画像のテクスチャを貼り付けていく。

④オルソ画像への変換

3次元TINデータのモデルに補正をかけ、オルソ画像に変換する。

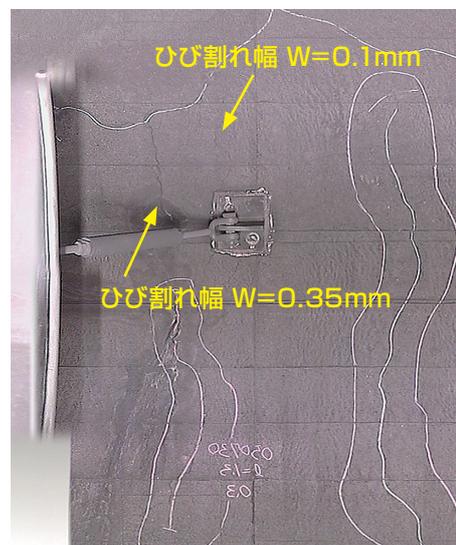
このうち、撮影画像から3次元モデルを構築する画像解析のプロセスは、専用ソフトで自動処理できる。つまり、精緻な3次元モデルを作るには、従来は手間をかけて測量するか、あるいは高価なレーザスキャナで計測してデータを取得する必要があったが、この方法ならデジカメ画像だけで簡易に作成できるのだ。こうした画像解析技術の進化が、点検業務へのロボット導入を可能にしているわけだ。

スーパー計測車によるトンネルの走行点検

ところで、パシフィックコンサルタンツでは、道路トンネルの点検調査を効率化する新たな技術も発表している。2014年2月に開発された走行型トンネル点検車「MIMM-R (ミーム・アール)」がそれだ。

道路トンネルの定期点検では、高所作業車を使用するために交通規制が生じることや、狭くて暗い場所での目視点検であるため見落としやばらつきが起こることなどが問題となっている。MIMM-Rは人による点検作業のスクリーニングとして走行しながらトンネル内を高精度に計測し、点検の効率化と高精度化を実現するスーパー車両だ。

MIMM-Rには3つの計測機能が搭載されている。1つは、道路地形やトンネル覆工の3次元形状を点群データとして取得するために、2台の標準レーザスキャナと高精度(100万点/秒)レーザスキャナ1台を設置。これによって、擁壁コンクリートの浮き、舗装のクラック



上から、MIMM-Rの車体、60km/hで0.1mm程度のひび割れを検出した例



INTERGEO 2014の会場



やトンネル断面の変形が把握できる。2つめは、トンネル覆工コンクリート表面のひび割れなどの変状を連続的に撮影するために、車両全周方向に20台のビデオカメラとLEDライトを配置している。3つめは、覆工コンクリートおよび背面の状態を探索するために、車両天板に非接触型レーダを搭載している。これによって、覆工コンクリートの厚さや空洞の大きさなどがわかる。

これらの計測は50～70km/h程度の速度による走行中であれば問題なく行える。ビデオカメラによる画像計測では、70km/hでの走行中に0.2mm程度のひび割れを把握できたという。また、取得した3次元の点群データや画像データは、車両に搭載されているGPSおよびIMU（慣性計測装置）と同期しており、トンネル内でも世界測地系座標系での座標管理が可能だ。

MIMM-Rの導入効果としては、従来の近接目視、打音検査のみによる点検にかかっていたコストを3割程度圧縮できるという。また、計測データから補修・補強の必要を判断し、将来にわたる健全度評価を行うことで維持管理費を抑制することも可能だ。

さらに、建設業界におけるCIM（Construction Information Modeling）導入の流れのなかで、トンネルを含めた道路および周辺施設の高精度な地形測量に対するニーズが高まっている。MIMM-Rはそうした面でも強力な武器になりそうだ。

技術革新を促すルールを

高度成長期に急スピードで整備された道路、ダム、橋梁など日本のインフラ構造物は、建設から半世紀を迎えて一気に老朽化が目立つようになり、対策は待たなしの状況だ。2012年末の笹子トンネル天井板落下事故は、そのことを改めて衝撃的なかたちで示した。だが、求められているのは、老朽化した既存の構造物への対

処だけではない。将来に向けて、これまでの維持管理のあり方自体を転換していくが必要になっている。

もともと、インフラ管理の分野における技術革新が重要なテーマになっているのは、日本だけではないようだ。

「ロボットや3D技術など、次世代のインフラ管理が進んでいるのはドイツ、ロシア、フランスなどですね。昨年、ベルリンで国際的な測量技術博覧会であるINTERGEO 2014を見てきたんですが、この分野の取り組みはとても活発でした。技術的には、やはり、レーザスキャナ、写真、UAVなどに関心が集まっていたね」

もちろん、日本の建設業界においてもインフラ管理を効率化・高度化するための技術開発などが活発化してきている。ロボットと最新の計測技術、画像解析技術などを組み合わせた、本稿のパシフィックコンサルタンツの取り組みも、効果的で重要なものの一つだ。それらが現場に導入されていくには、まだ時間がかかるのだろうか。

「国土交通省は昨年7月、道路橋やトンネルについて、5年に1回の近接目視による点検を義務付ける省令・告示を施行しましたが、ロボットなどの技術を応用した点検業務の効率化をどこまで認めるか、ですね。“5年ごとに点検しなさい”と号令だけかけても、従来のやり方では、多くの自治体が財政的、人材的にやりきれないでしょう。ルール自体を柔軟にして、新技術の導入を促進していく方向が必要だと思います」

関連リンク

パシフィックコンサルタンツ株式会社
<http://www.pacific.co.jp/>

[取材・執筆・撮影/岩見一太]