

多視点画像 3D 構築技術の橋梁調査への適用性について

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○小沼恵太郎
株式会社計測リサーチコンサルタント 正会員 西村 正三

1. 背景と目的

我が国では、橋梁やトンネル等の土木構造物の維持管理の一環として定期点検が行われている。ここでの定期点検は近接目視が基本となっており、構造物に近接するために橋梁点検車や高所作業車等の仮設足場を使用したり、それらに伴い交通規制を実施する場合も多く、点検コストの縮減が課題となっている。また、外業の厳しい条件下で行われる現地調査では、点検記録に不備が生じたり、再調査が行われることもある。

一方、計測技術の分野では、写真測量の発展型としての SfM (Structure from Motion) ¹⁾ が開発されている。これは、従来はレーザースキャナ等を用いて計測していた 3D 点群データを、デジタル画像を用いて取得する技術である。近年、土木構造物の形状寸法計測のためにレーザースキャナを使用した実績は増えつつあるものの、まだ高価であり、その操作には専門技術を要するのが現状である。これに対し、デジタルカメラは一般的な機器といえ、リーズナブルで取り扱いが容易である。

以上の背景から、筆者らは、土木技術者にとって身近なデジタルカメラを用いて構造物の形状寸法計測とテクスチャーの両方を効率よく取得でき、さらには点検の確実性を向上し得る 3D モデルを構築する「多視点画像 3D 構築技術」に着目し、橋梁調査へ適用性について検証した。ここでは、その結果を報告する。

2. 多視点画像 3D 構築技術

本技術は SfM をベースにしている。これは、従来の写真測量と異なり、被写体の表面上にある特徴点を異なる方向から撮影した画像の組み合わせから順々に、ステレオ法によりその点とカメラの位置、すなわち 3 次元座標 (X,Y,Z) を特定していく (図-1)。こうして得られる点群を基に、それらを節点とする三角形面要素である TIN (Triangulated Irregular network) を作成し、3D モデルを構築する。ここで、特徴点とは、画像上のある点で、周囲と比較して輝度、すなわち色や明るさが異なる点のことである。2 枚の画像上の領域 (i,j) 内にある特徴点 p と q について、それぞれの領域内での周囲との輝度 T の差の総和 J、すなわち周囲との色や明るさの違いの程度を算出し、その値がある判定値に収まる場合に同一点であると判断する (図-2)。

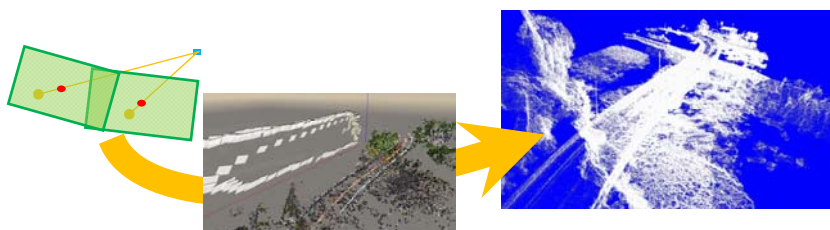
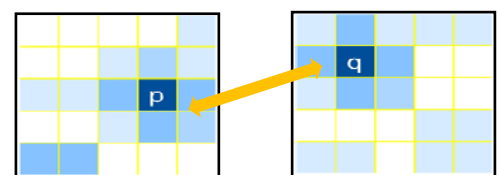


図-1 特徴点の 3D 座標の特定イメージ



$$J(p,q) = \sum_{ij} |T_p(i,j) - T_q(i,j)|^2$$

図-2 特徴点の判定

3. 適用事例

(1) 対象橋梁 (写真-1)

対象橋梁は、河川に架かる道路橋で、鋼単純箱桁及び鈑桁橋であり、橋長 141m、有効幅員 8.7m (2 車線+片側歩道) で、鋼道路橋設計示方書 (昭和 39 年) に基づいて設計され、昭和 46 年 4 月に供用開始された。また、平成 14 年に塗装の塗り替え (中上塗: 長油性フタル酸樹脂塗料) が行われている。なお、本検証と同年度の定期点検では大型の橋梁点検車を使用し、片側交互通行の規制を実施した。



写真-1 対象橋梁全景

キーワード 多視点画像 3D モデル 写真測量 維持管理 点検 調査

連絡先 〒163-6018 新宿区西新宿 6-8-1 パシフィックコンサルタンツ株式会社 TEL: 03-5989-8300

(2) 3D モデルの構築『効率化』

モデルの構築は図-3 に示す 4 段階で構成され、STEP-1 のみが現地作業であり、STEP-2 から 4 までは専用ソフトウェアで自動的に実行される。

【STEP-1】画像の撮影

- ・画像は、作成する 3D モデルに欠損が生じないように、構造物表面を漏れなく撮影する。今回は、橋梁下面及び下側面は三脚等を、上側面は UAV (ラジコンヘリコプター) を用いた。
- ・Nikon D700 (一眼レフ・三脚用), Sony NEX-5D (ミラーレス一眼レフ・UAV 搭載用)。
- ・撮影画像枚数: 約 300 枚, 撮影時間: 0.5 日, 交通規制無し。

【STEP-2】点群データの作成

- ・上記の原理に基づいて 3D 点群データを作成。入力データは撮影した JPEG データ。

【STEP-3】TIN 要素の作成

- ・3D 点群を節点とし、それらを結ぶ TIN を作成。

【STEP-4】色情報の付与

- ・TIN に色情報を与えて、3D モデルが完成。

(3) 3D モデルによる調査『現実性の向上』(図-4)

【検証-1】主要構造寸法の計測: 3D モデルを橋脚上で切断し、正面を向けることで、標準断面図が得られる。この状態で橋脚の幅と横梁の高さ、主桁の幅と高さを計測した結果、管理図面とほぼ同じ値となった。これより、管理図面の復元に役立つと期待できる。

【検証-2】床版下面のひび割れ調査: 比較的顕著にひび割れが観られた一区画を対象に、3D モデルに近接した画像を用いたところ、幅 0.2mm のひび割れを確認することができた。これらを CAD 上でトレースし、デジタルデータとして保存すれば、他の時期の定期点検結果と比較することで、変状の進行を把握することが可能となる。また、3D モデルを作成することで、現地で記録しない区画についても、後日の調査が可能となる。

【検証-3】剥離・鉄筋露出部の寸法計測: 鉄筋コンクリート製の橋脚の横梁側面に観られた剥離・鉄筋露出部を対象として、その最大深さを計測した結果、30mm となった。この値は、実際に金尺を用いて計測した値と一致した。損傷規模を定量的に算出することができ、補修設計等に役立つと期待できる。

4. まとめ

- (1) 本技術を橋梁の調査点検に適用することで、現地作業の大幅な効率化が図れる。また、橋梁の主要構造寸法の計測、コンクリート表面のひび割れ調査、損傷範囲の定量化の現実性が向上できる。
- (2) 撮影時の天候や被写体表面の状態等によって、日影の強弱や色の濃淡が影響し、特徴点の認識に差が生じる場合がある。また、塗装など特徴点が無かったり、水面の反射の影響で解析ができない場合がある。
- (3) 橋梁の調査点検の他にも、トンネルや河川構造物の調査点検や、土工や建築物等の進捗管理等、幅広く適用性が期待できる。

参考文献

- 1) Noah Snavely, Steven M. Seitz, Richard Szeliski. Photo Tourism: Exploring image collections in 3D. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2006), 2006.

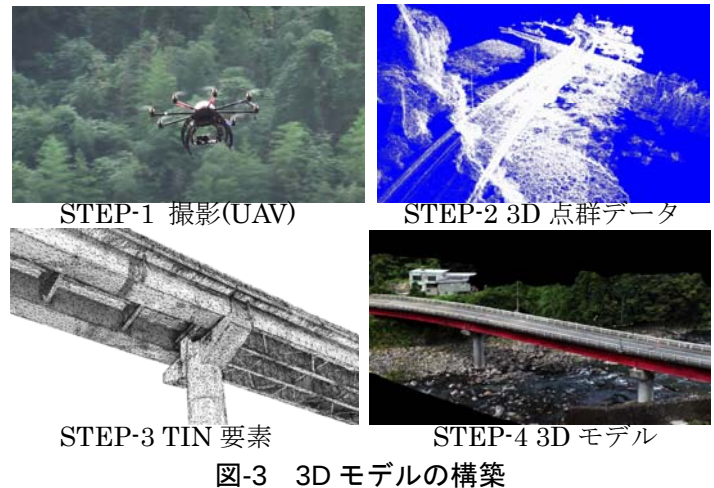


図-3 3D モデルの構築

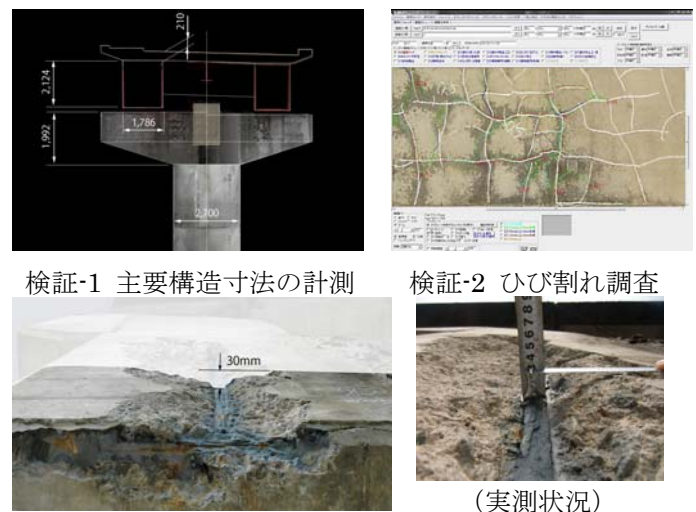


図-4 3D モデルを用いた調査の検証