

(46) 土木分野における既存構造物の簡易な 3 次元モデル作成方法に関する研究

川野 浩平¹・青山 憲明¹・寺口 敏生²・関谷 浩孝¹

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nil-jyouhou@mlit.go.jp

²非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nil-jyouhou@mlit.go.jp

国土交通省では、建設生産性の向上を図るために BIM/CIM の導入と普及に取り組んでいる。国総研では、上流工程で作成した 3 次元モデルを用いて各工程の資料を管理（登録・参照）し、建設生産プロセス全体での生産性向上を実現するための研究に取り組んでいる。しかし、今後 BIM/CIM を用いて維持管理する構造物の多くは今後新たに施工される構造物ではなく、既存構造物が占めている。そこで、本研究では、膨大な既存構造物の 3 次元モデルを簡易かつ経済的に作成するための方法を調査・整理した。そして、実際に既存構造物の簡易な 3 次元モデルを作成し、各方法を活用する上での特徴と現場導入における課題を明らかにした。

Key Words: *CIM, 3D-model, construction production process, maintenance*

1. 研究の背景

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、インフラの安全安心と建設生産性の向上を図るために 3 次元モデルを活用した建設生産システムを構築し、公共調達の商品向上、コスト縮減、維持管理の高度化を達成することを目標として、BIM (Building Information Modeling) /CIM (Construction Information Modeling/ Management) の導入普及¹⁾に取り組んでいる。具体的には、BIM/CIM の導入普及のため、建設生産プロセス全体で 3 次元モデルを円滑に流通、利活用するための技術や方法について研究している。

こうした背景の中、社会資本情報基盤研究室では、維持管理における BIM/CIM の活用に向けた研究を行っており、維持管理で必要となる 3 次元モデル（以下、「CIM モデル」という。）の詳細度や、CIM モデルを基盤として属性情報を一元管理する統合管理システムの要件²⁾を整理した「CIM モデル作成仕様【検討案】」（以下「CIM モデル作成仕様」という。）を作成し、その活用について検討してきた。これらは、フロントローディングの概念に基づき、設計段階の時点から維持管理段階での活用を見越した 3 次元モデルの作成方法を

示したものである。

しかし、管理すべき土木構造物の内、圧倒的多数を占める既存構造物に対しても CIM の効果を得るためには、既存構造物を簡易かつ経済的に 3 次元モデル化する手法が必要である。

そこで、本研究では、既存構造物の簡易な 3 次元モデル作成手法の検討に資する既往の技術やサービスを調査する。そして、実際に既存構造物の簡易な 3 次元モデルを作成し、既往の技術やサービスを活用する上でのそれぞれの特徴と現場導入における課題を明らかにした。

2. 3 次元モデルの作成方針

本研究で対象とする簡易な 3 次元モデルの利用場面は、維持管理段階において、3 次元モデルを用いた点検結果の管理（登録、参照）を想定する。

過年度の研究では、橋梁の 3 次元モデルを用いて点検結果を管理する場合には、部材単位または点検項目に則った最小単位（橋梁では横桁単位）で 3 次元モデルを分割し、点検結果と紐付ける方法を検討した。そのため、本研究では、以下の要件を満たす 3 次元モデルを作成す

る既往の技術やサービスについて調査するものとする。

- 構造物全体を俯瞰できること
- 位置座標を用いて点検位置を記録できること
- 点検写真や損傷図をテクスチャとして添付できること

3. 既存技術の調査

3次元モデルを作成する一般的な方法として、3次元CADソフトウェア等を用いて3次元モデルを手作業で作成する方法と、カメラまたはレーザスキャナ等を用いた測量成果から3次元モデルを自動作成する方法がある。後者の方法では、近年、情報処理技術の発達により、GPS電波の届かない屋内や橋梁の桁下でもセンサ情報から自己位置を推定し、3次元モデルの作成が可能な技術が注目されている。これらの作成方法について代表的な既往の技術やサービスを調査した結果を以下に示す。

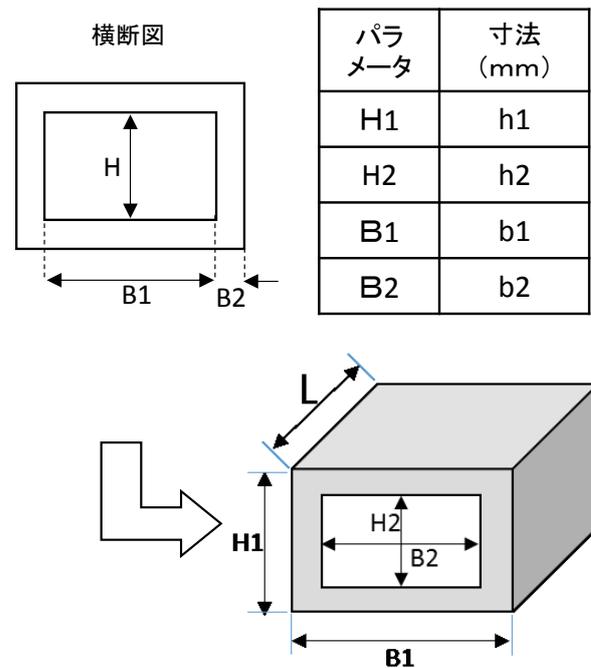


図-1 パラメトリックモデリングのイメージ

(1) パラメトリックモデリング

パラメトリックモデリング⁴⁾とは、図-1に示すようにボックスカルバートなどのテンプレート選択したうえで必要な寸法（パラメータ）を入力することで自動的に3次元モデルを作成する技術である。作成できる3次元モデルは、事前に用意された適用構造の種類に限定される。

(2) SfM (Structure from Motion)

SfM⁵⁾とは、異なる方向から撮影した複数のデジタル写真から、三角測量の原理を用いて自動的に3次元モデルを作成する技術である。SfMは、デジタル写真の特徴点からなる点群データ、TINサーフェスモデルおよびデジタル写真を基にしたテクスチャマップを作成する。

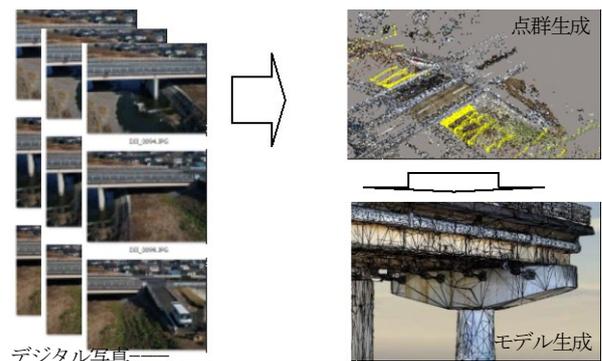


図-2 SfMのイメージ

(3) レーザ測量

既存土木構造物を対象としたレーザ測量には、地上設置型のレーザ測量と、UAV搭載型レーザ測量等の移動体測量の2種類がある。

地上設置型のレーザ測量では、設置点を複数箇所設けて対象をスキャンし、後処理で複数のスキャンを合成し高密度な点群データを生成する。

UAV搭載型のレーザ測量では、UAVに搭載したレーザスキャナで飛行しながら連続的にスキャンする。GPS、IMUを内蔵しており連続スキャンを自動的に合成して広範な環境点群モデルを迅速に生成できる。



図-3 SLAMのイメージ

(4) SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)

SLAM⁶⁾とは、レーザスキャナとIMUを内蔵し、移動しながら自己位置と周辺の3次元点群マップをリアルタ

イムに自動生成する技術である。上記2.3のレーザ測量と比較して機材が小型であり、手持ちでの対象物周辺の歩行計測に適する。

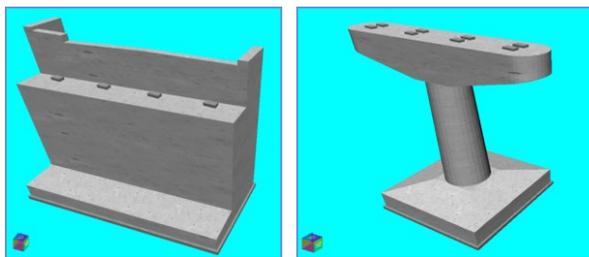


図-4 パラメトリックモデリングの結果



図-5 SfMの結果

4. 簡易な3次元モデルの作成

(1) モデル化の対象

橋梁上部工・下部工の既存構造物は、関東地整管内の橋梁 50 橋から「2 径間以上である」「桁下の大部分を歩行可能である」「ハイピアでない」等の条件で絞り込んだ 7 橋梁に対して現地踏査を実施し、現地状況から計測しやすいと考えられる「観音橋」を対象とした。

(2) 橋梁の簡易な3次元モデルの作成

a) パラメトリックモデリング

本技術に対応した市販のソフトウェアを用いて、橋梁下部工の3次元モデルを作成した。具体的には、橋台または橋脚の構造形式を選択し、対象構造物の設計図面から読み取った各部の寸法を入力することで、ソフトウェア上で図4に示す3次元モデルを自動的に作成した。

本技術は、事前に適用構造のテンプレートが用意されており、設計図等の2次元図面が管理されていれば、容易に3次元モデルを作成できる事が明らかになった。

b) SfM

本技術に対応した市販のソフトウェアと、対象橋梁全体を異なる方向から撮影した複数のデジタルカメラ画像を用いて3次元モデルを作成した。本技術を用いて作成した3次元モデルの可視化結果を図3に示す。図3左に示すとおり、コンクリート構造物の再現性は良好であり、面と面の交差するエッジ部分を正しく作成できる事が明らかになった。一方、図5右に示すとおり、鋼橋上部工の主桁腹板など、複雑な形状では撮影死角が生じるため、欠損が生じる場合が多いことが明らかになった。



図-6 レーザ測定の結果

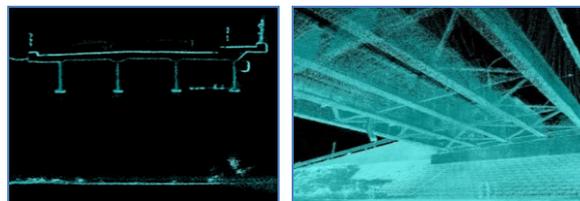


図-7 SLAMの結果

c) レーザ測量

UAV 搭載型と地上設置型のレーザスキャナの組み合わせを用いて、相互に補完して対象橋梁全体を計測した。また UAV は飛行制限上、上下流に分けて計測したが、計測前にターゲットを設置し、その測地座標を GPS 測位することで、地上設置型による複数個所の計測結果も含めて誤差なく合成できた。また、今回の計測では、デジタルカメラによる並行撮影を行うことで点群に色情報を付与した。本技術を用いて作成した3次元モデルの可視化結果を図6に示す。

UAV 搭載型レーザスキャナの適用範囲は、UAV の飛行範囲および天候等の飛行条件に大きく左右される。本研究では、橋梁上には一般車両が走行しているため、上部工の上面は斜め上空から測量することになった。また、高架道路橋と違い、河川に架かる橋梁は河川を跨ぐため、地上設置型レーザスキャナで上部工の下面すべてを測量できる場合は稀である事が明らかになった。

d) SLAM

歩行しながら、手持ちのレーザスキャナにより橋梁周辺を計測した。歩行経路を重畳させることで取得点密度を上げることができる。今回は、地上設置型機材等に比べやや取得密度が低かったが構造形状は十分把握できている。点群の取得精度は 3cm 程度とやや劣るが、横断面は閉じており大きな支障はない。今回は桁下および路面上の2系統の歩行計測を行い、結果を合成した。本技術を用いて作成した3次元モデルの可視化結果を図5に示す。本技術は、計測に際しての事前準備がほぼ不要であることと、機材を保持して対象周辺を歩行するだけで計測できるため、レーザ系計測手法の中では最も容易かつ安価（ただし機材の損料を除く）な計測手段である。ただし現行版では搭載カメラがモノクロであるため反射強度のみの表現となっている。点群データとしての特性

は、上記のレーザ測量と同様である。

(3) 考察

上記の検討を総括し、それぞれの3次元モデルの作成方法の評価と作成方針を以下に示す。

【理想的な測量条件を満たすことは難しい】

- 橋梁上部工の下面や下部工をすべてレーザ測量、写真測量の対象とするためには、橋梁が架かる河川の幅が狭いか水量が僅かである必要がある。また、地上設置型レーザ測量を固定するための安定した地面が必要である。
- UAV 搭載型レーザ測量は、橋梁周辺に高圧電線や住宅地などの飛行を妨げる要因が存在しない必要がある。

【パラメトリックモデリングが最も優れる】

- 橋梁は部材が多いものの、維持管理で活用することを目的としたモデルであれば詳細度は高くないため、他の手法に比べれば作成時間が短く、また点検時の最小単位のモデル化も比較的簡単にできるため、パラメトリックモデリングが最も優れた作成方法となる。
- 現地計測では橋梁の下の状況から各計測技術の採用が困難な場合もあり、確実なモデル化ができない可能性があるため、採用が難しい。
- 一方で、設計図もしくは完成図などの図面がないと3次元モデルを作成できない。また、拡幅工事や耐震補強によって現地とモデルの不整合が生じる可能性があることに留意が必要。

【設計図・完成図が無い場合はSLAMが望ましい】

- 設計図もしくは完成図などの図面がない場合は、現地計測技術のなかで最も期待されるのが SLAM である。
- 他の計測技術に比べて作業時の天候の影響が少なく、計測時間が最も短くてすむためである。また、歩いて計測できるため、定期点検時の現地踏査時に一度利用することでモデル化することも可能となる。
- 精度においては地上設置には劣るものの維持管理用としては問題ないと考えられる。

【課題】

- パラメトリックモデリングでは上部工のモデル化が簡易にできるツールの開発が望まれる。モデルの精度は求められないため、一般図程度の情報からパラメトリックにモデル化できるとよい。

- SLAM のコストダウンおよび高度化が望まれる。レーザスキャナは年々コストダウンが進んでいるが、まだ高価である印象がある。また、点群に色情報があると部材の判別が容易になり、効率化に繋がる。

5. まとめ

本研究では、維持管理における利用場面のひとつとして、「3次元モデルを用いて点検結果を管理（登録、参照）する」場面を想定して簡易な3次元モデルの作成方法を調査し、実際に関東地方整備局管内の既存橋梁の3次元モデルを作成した。これにより、橋梁の簡易な3次元モデルを作成するにあたって最も優れた方法はパラメトリックモデリングであることが明らかになった。しかし、パラメトリックモデリングの適用範囲は、事前に用意されたテンプレートに依存するため、今後は上部工のモデル化に適したパラメトリックモデルの検討が必要である。一方で、テンプレートや入力用のパラメータが不明な場合には、SLAMを用いた3次元モデル作成方法が優れている事が明らかになった。SLAMは、橋梁の桁下などのGPS測位が利用できない場面でも自己位置を推定することが可能な技術である。そのため、AR（拡張現実）技術との組み合わせにより、点検現場での資料検索の効率化や、点検記録作業の省力化などのBIM/CIMの活用に大きく寄与すると期待できる。

そのため、今後は、維持管理における3次元モデルの利用場面を整理するとともに、パラメトリックモデリングの適用範囲の拡大と、SLAMを用いて点検作業のついでに簡易な3次元モデルを作成する技術および運用方法について取り組みを実施していく。

参考文献

- 1) 岩崎福久：国土交通省における CIM のこれまでと今後の取り組み、JACIC 情報、JACIC, Vol.114, pp.21-25, 2016.
- 2) インフラ再生委員会技術部会：2017 施工 CIM 事例集～施工 CIM の解説～、日本建設業連合会、2017、<<http://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=260>> , (入手2018.7.13) .
- 3) 川野浩平, 青山憲明, 寺口敏生, 関谷浩孝：維持管理段階に適した CIM モデルの情報連携プラットフォームの開発、土木学会論文集 F3S (土木情報学), 土木学会, Vol.73, No.2, pp.I_134-I_140, 2018.
- 4) 川田 テクノシステム：V-nasClair「STR_Kit」, <http://www.kts.co.jp/seijyou/v_3dsub/index.html> , (入手2018.7.13) .
- 5) 株式会社ベントレー・システムズ：Context Capture, <<https://www.bentley.com/ja/products/product-line/reality-modeling-software/contextcapture/contextcapture-models>> , (入手2018.7.13) .
- 6) KAARTA, 株式会社アルゴ：Stencil2, <<https://www.argocorp.com/system/3D/KAARTA/Stencil.html>> , (入手2018.7.13) .