

ドローンによる3次元計測と数値解析が連携したインフラ点検評価システム

清水建設(株) 技術研究所 正会員 ○林 大輔, 田中 博一
Carnegie Mellon University 非会員 Weikun Zhen, Yaoyu Hu, Yu-Jhe Li
Soji Yamakawa, Sebastian Scherer, Kris Kitani, Kenji Shimada

1. 目的

インフラの老朽化が社会問題として認識されている。今後、限られた予算の中で、効率的なストックマネジメントを実現するためには、点検作業を省力化するだけでなく、構造物の性能を定量的にとらえて合理的な意思決定につなげる必要がある。

上記の課題に対し著者らは、ロボティクス, AI, コンクリート解析技術を組み合わせたインフラ点検評価システムを開発した。本稿では、開発したシステムの技術成立性を検討するために、RC試験体を対象に実施した検証試験について報告する。

2. インフラ点検評価システム

開発したインフラ点検評価システムの概要を図-1に示す。提案システムは、ドローンに搭載したセンサー(ステレオカメラ, LiDAR)から構造物表面の画像, 3次元形状を取得し、それを基にフォトグラメトリにより3次元モデルを生成する。併せて、撮影した画像からAIにより損傷を検出し3次元モデルに重畳表示させることで、デジタル空間上に構造物の状態をそのままに再現することができる。最終的に生成した3DモデルからFEMの解析モデルを生成して、シミュレーションにより耐荷性能などについて評価を行うものである。

3. RC試験体による検証試験

開発したシステムを検証するため、単純なRC梁を対象に試験を実施した。対象試験体は図-2に示す3800×350×500mmのRC梁である。試験は、事前の加力により試験体にひび割れを導入したケースと、ひび割れを導入していないケースの2ケース設定した。ひび

割れありのケースは、AIによるひび割れ検出の検証を目的とし、ひび割れなしのケースはFEM解析の検証のため、計測後に载荷試験を行い解析結果と比較した。

4. 検証試験結果

4.1 センサーシステムによるデータ取得

図-2に示す計測装置を、ドローンおよび計測台車に搭載してRC試験体の計測を行った。計測装置の特徴として、ステレオに配置したカメラとLiDARを組み合わせた装置である¹⁾。計測は対象物からおよそ2.0m離れた位置で行い、以降の3次元モデルの生成には撮影画像から選択した180ペアの画像とLiDAR点群を用いた。

4.2 3次元モデルの生成

計測したデータを入力に、既往の研究²⁾で開発したStructure-from-Motionのアルゴリズムにより、図-3に示す3次元点群モデルを生成した。図中に示すひび割れの検出結果については後述する。生成したモデルは、点群密度が600-700point/cm²であり、構造物表面のmmオーダーの凹凸も再現可能である。一方で、高密度な点群



図-2 ドローン計測時の状況と計測装置



図-1 インフラ点検評価システムの概要



図-3 画像より生成した高密度な点群モデル

キーワード インフラ点検, コンクリート構造物, ドローン, 3Dモデル, AI, FEM解析

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL:03-3820-5504

データは表現力に優れる反面、データサイズが大きくなりやすく、取り扱いに不便ことがある。そこで、図-4のように生成した点群から特徴的な形状を識別し、識別した形状の輪郭を検出した後に、平面同士の接続関係を求めた。上記のように点群から形状データに変換することで、設計でのCADモデルと同様に、情報量を抑えながら表現力に優れた3Dモデルを作成した。

4.3 ひび割れの自動検出

計測システムにより撮影したひび割れありのケースの画像に対して、AIによるひび割れの自動検出を行った。本実験では、画像中のひび割れに該当するピクセルを検出するセマンテックセグメンテーションの手法²⁾を採用した。検出したひび割れの一例を図-5に示す。詳細については省略するが、転移学習によりモデル学習を行い、幅0.1mmのひび割れを検出することができた。検出したひび割れに相当する画素を、図-3に示すように、3Dモデルに投影して損傷情報を含めた3Dモデルを生成した。

4.4 FEMメッシュの半自動生成

一般的にFEM解析作業に要する時間のほとんどをモデルの作成に費やす。モデル作成の省力化のため、鉄筋形状を考慮しながら6面体要素を生成するGRID-BASEDのメッシュ生成アルゴリズムを開発した。生成した3次元モデル(図-4)と、別途作成した鉄筋のCADデータを組み合わせることで、半自動的にメッシュを生成した。生成したメッシュモデルを図-6に示す。

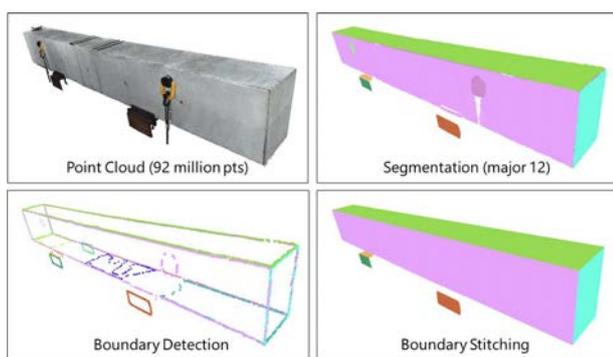


図-4 点群から形状データへの変換



図-5 ひび割れの検出の一例

4.5 シミュレーションによる耐力評価

生成した解析モデルに対し、材料試験より求めた特性値を入力し、シミュレーションによる耐力評価を行った。ソルバーには、非線形コンクリート解析プログラムCOM3D³⁾を使用した。解析結果と実験結果を比較して、図-7に示す。実験はひび割れのないケースのRC梁を4点曲げにより加力した。最終的に、梁の上端が圧縮破壊する曲げ破壊の性状を示した。荷重-変位関係の比較から、解析の予測値は実験の初期剛性および最大荷重と良好に一致しており、RC試験体の耐荷力の評価に成功していることがわかる。

5. まとめ

インフラ点検診断の高度化を目的に、点検から解析評価までが連携した点検評価システムを構築した。RC梁を対象とした検証試験にて、データの取得、3次元モデルの生成、FEMモデルの変換の各ステップを経た最終的な解析結果が、部材の耐荷性能を精度よく評価できることを確認した。

今後は、実橋梁を対象に開発システムの検証を実施する計画である。

参考文献

- 1) 林大輔, 他: ステレオカメラとLiDARを用いた Structure-from-Motionによる構造物の形状取得, 土木学会第75回年次学術講演会公演概要集, VI-282, 2020.
- 2) Ronneberger, O., et al.: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention, pp.234-241, Springer, 2015.
- 3) Maekawa, K., et al.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Taylor & Francis, 2003.

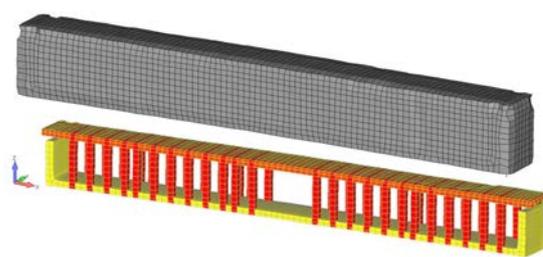


図-6 解析モデル(上:全体,下:鉄筋要素)

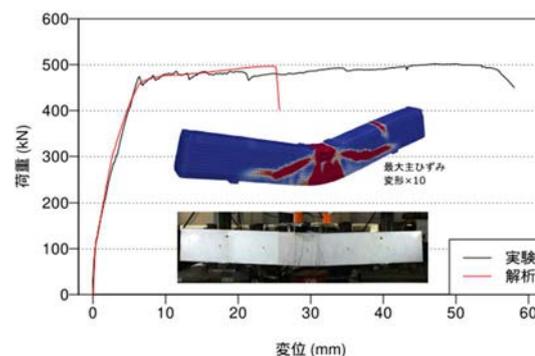


図-7 荷重-変位関係の比較