

3次元モデリングとIoTセンシングを統合した 橋梁のリアルタイム管理システムの開発

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○吉田 智咲
株式会社アマネックス 横山 和佳奈

群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真
新潟大学 学生会員 大川原 大智

1. 本研究の目的と背景

日本では、令和元年東日本台風をはじめとして多くの災害が頻繁に発生している。また、日本の社会資本整備構造物の多くは戦後復興・高度経済成長期に建設されており、供用後 50 年以上経過した構造物の安全性の低下が問題となっている。このような構造物の老朽化が進む中、現在、維持管理や破損箇所の早期発見を目的とした構造物の IoT センシングに注目が集まっている。

また、防災の観点から災害時の構造物モニタリングや迅速な被災後判定が求められる中、川崎ら¹⁾や大川原ら²⁾により安価で可搬型のIoTセンサによる実橋のモニタリングに関する基礎的検討が進められてきた(図 1)。しかし、従来のセンサによって取得したデータは技術者・管理者間における利活用が主流であることや、各構造物における統一されたプラットフォームがないことが建築業界で課題となっている。

そこで本研究では3次元モデリングソフトのRhinoによって対象橋梁やその周辺環境の3次元モデリングを行い、モデル上にIoTセンサによって取得したデータ(水位等)を図と数字によって明確に表示することで、対象橋梁のプラットフォームを作成する。同時に、災害時など危険な状況が発生した場合、基準値を超えると発生する注意喚起のポップアップシステムを作成し、地域の防災力向上に貢献する。さらに、構造物のIoTセンシングによって劣化箇所の確認や被災後の判定を行い、3次元モデルに反映することで構造物維持管理の効率化を目指す。

2. 建設業界における3次元モデル活用推進の現状と

本研究の位置づけ

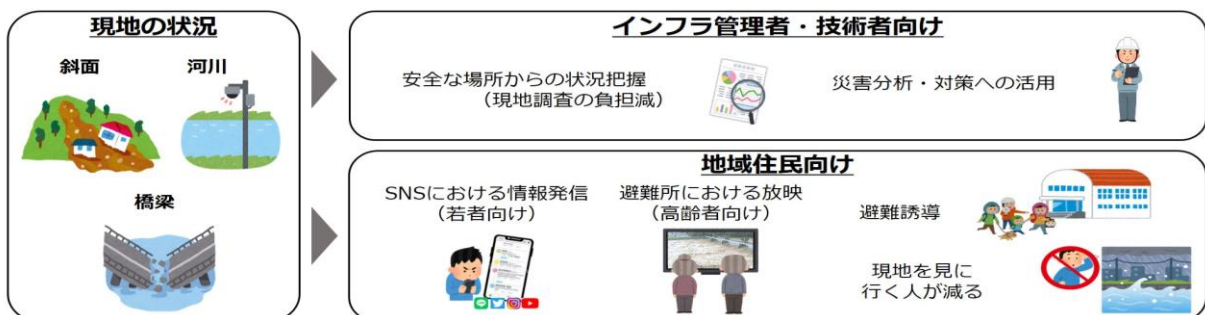


図1 IoTセンサにより得られた情報の活用イメージ

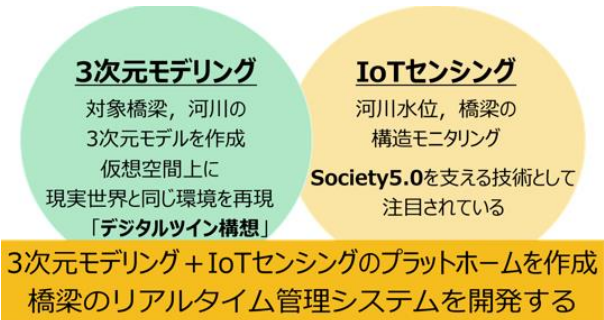


図2 3次元モデリングとIoTセンシング統合のイメージ

現在、Society5.0というキーワードに注目が集まっており、土木・建築分野においては遠隔操作で人手不足を補うほか作業の効率化が進んでいる。また、令和4年から国土交通省によってBIM/CIM原則の適用が義務づけられており、土木・建築業界においてBIM/CIM技術が必須なものとなった。

Society5.0を支える技術として注目されているIoT技術と、仮想空間上に現実世界と同じ環境を再現するデジタルツイン構想に沿った3次元モデリングを統合することにより、大量のデータをリアルタイムに反映することが可能になる。また、本研究では一度作成した3次元モデル上にデータを追加していくことで、対象構造物における情報のプラットフォームとなることを期待する。

IoT技術を活用したセンサによる計測で得られた情報と3次元モデルを組み合わせ、リアルタイムで高精度な河川・橋梁の情報を視覚的に発信するシステムを構築することで、過疎地域などの人手不足問題の解消、地域住民の防災・安全に貢献することを目標とする。3次元モデリングとIoTセンシング統合のイメージを図2に示す。

キーワード CIM, Rhino, Grasshopper, IoTセンサ, 3次元モデル

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校 TEL : 027-254-9180 E-mail : inoue@cvt.gunma-ct.ac.jp

3. 3次元モデリングとIoTセンシング統合の概要

3.1 Rhinocerosによる実橋梁の3次元モデルの作成

本研究の対象橋梁は、群馬県下仁田町で供用中である2径間連続橋のA橋（仮称）とする。下仁田町は高齢化地域であり、IoTセンサによって取得された防災情報の発信に需要がある。A橋の通行量は比較的少ないが、下仁田町役場が発行する防災マップでは避難する際に必要な橋梁に指定されているほか、橋の下には令和元年東日本台風の際に下仁田町内の水位観測所で氾濫危険水位に達し、流域においては護岸流出が生じるなどの被害が発生した一級河川の鑄川が流れている。

3次元モデリングツールについてはRhinocerosを採用した。なお採用理由として、IoTセンサとの連携が良いこと、2次元、3次元図面との互換性が強いこと、曲線や角度などの有機的な形状部材に強いこと、Raspberry Piで使用しているプログラミング言語のPythonがサポートされている等の特徴も挙げられる。作成したA橋の3次元モデルを図3に示す。

橋台や橋脚などの橋梁本体については、下仁田町から提供して頂いた設計図を基にモデリングを行った。また、地盤面に関してはA橋の点群ビューアーから大まかに抽出して作製した。

3.2 Grasshopperによる仮想水面モデルの作成

河川水面はRhinoceros上で動作するモデリング支援ツールであるGrasshopper³⁾を使用しモデリングを行う。冬季は実河川水位が安定しており、大きな水位変動は望めない。そのため本研究では、研究室の机から天井までの距離を仮想水位と仮定し、Raspberry Piによって1時間に1回のペースで測定し続けたデータをリアルタイムで3次元モデルに反映可能か確認した。また、変動を確認するため障害物により距離を変動させた。

得られたデータはGoogle Drive上の1ファイル内に自動保存・蓄積させ、Grasshopper上でファイル指定を行うことで常に最新値がモデル上に表示される。また、コンポーネントの選択で過去に蓄積されたデータを確認できる。同時に、水位が基準値を超えた場合に注意喚起のポップアップが発生するプログラムの作成を行った。この基準値や注意喚起のコメントは、Grasshopper上で適時状況に合わせて変更可能である。IoTセンサによる仮想水位センシングから水面モデルまでのフローを図4に示す。

3.3 IoTセンサを用いた水位・構造センシング

IoTセンサはシングルボードコンピュータのRaspberry Piを使用する。安価であるほか、モジュールの接続によって機能選択が可能、データ取得・情報発信が容易、遠隔操作によるプログラムの書き換えが可能などの特徴が挙げられる。また、カメラや距離計などの機器を取り付

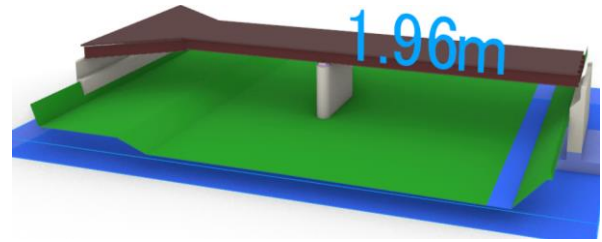


図3 Rhinocerosにより作成したA橋の3次元モデル



図4 A橋の3次元モデル水位変動のフロー

けることで、状況に応じたカスタマイズを行う。

河川水位測定は距離計を用いた。RC床版はひずみゲージによって床版下面のひび割れを計測し、劣化・損傷などの進展確認を行う。積層ゴム支承は距離センサによってせん断変位を計測し、橋梁の変位履歴、鋼材の伸縮量などを確認する。これらの情報をRhinocerosに取り込むことで、実橋梁の3次元モデル上における劣化箇所の確認や被災後判定への貢献を可能にする。

4. まとめと今後の課題

Rhinocerosによる実橋梁の3次元モデルや地盤モデルの作成と、Grasshopperによる仮想水面の作成を行った。実河川における水位測定の事前準備として、仮想水面までの距離をRaspberry Piによって測定し、1ファイル内に自動更新・保存できるシステムを開発した。このファイルはGoogle Drive上にアップしており、Grasshopperにてファイル指定を行っている。また、設定した危険水位に達した場合の注意喚起のポップアップシステムを作成した。現時点で河川水位の管理システムが完成したため、梅雨などの河川水位が大きく変動する時期にIoTセンサの実河川設置を行いたい。

今回作成したシステムを応用して、今後は構造物のIoTセンシング（RC床版のひび割れや積層ゴム支承のせん断変位など）を3次元モデルに反映するシステムについても検討を進める。

参考文献

- 川崎ら：小型IoTセンサを活用した実橋梁における構造ヘルスマニタリング土木学会地震工学委員会第42回地震工学研究発表会，C11-32，2022年10月。
- 大川原ら：防災および構造物の維持管理のための安価な小型IoTセンサの開発ならびに実現に向けた取り組み，日本自然災害学会 自然災害科学，Vol.41 特別号，pp.45-pp.53，2022
- ITAILAB：GRASSHOPPER RHINOCEROS マニュアル，2011年，rhinoceros_grasshopper_manual.pdf (shibaura-it.ac.jp) (2022年1月7日閲覧)