

多数のボルト締結力センサノード運用に向けた 構造物状態遠隔可視化アプリケーションの開発

菅原 光[†] Michail Sidorov[‡] 大村 廉[§]
豊橋技術科学大学[†] 豊橋技術科学大学[‡] 豊橋技術科学大学[§]

1 はじめに

構造物の建設における部材同士の固定において、ボルトで締結して固定する方法が用いられる。また、構造物について、その健全性を診断するための点検が実施される。特にトンネルや橋梁では、5年以内の間隔で目視や打音による点検が義務付けられている [1]。しかし、このような点検は継続して実施する必要がある。また、点検実施には人手や足場の設置など莫大な費用がかかることが問題となる。

これに対し、センシングシステムを構築して構造物の状態を遠隔からモニタリングする手法（構造物ヘルスマニタリング）の導入が検討されている。Michail らは、歪みゲージでボルトの締結力を測定し無線で送信するセンサノードである TenSense を開発している [2]。TenSense でボルトの状態をモニタリングすることで異常の早期発見に繋げることが可能となる。

しかし、構造物に使用されているボルトの数は莫大である。全てのボルトをモニタリングする必要は無いが、規模次第では TenSense の数が数百～数千に上ることが想定される。センシングシステムにおいて、このように多数設置したセンサノードの管理を想定したシステムはまだ少ない。このようなシステムでは多数のボルトの締結力を効率的に管理・可視化できる方法を検討する必要がある。

本研究では TenSense を橋梁に設置することを想定し、構造物に多数設置されたボルトの状態を適切に管理・可視化するシステムを設計・実装する。

2 システム概要

実装したシステムの概要を図 1 に示す。システムは大きく分けてセンサノード、データ収集処理、可視化アプリケーションの 3 つのコンポーネントで構成した。図 1 ではセンサノードの測定データの大まかな流れを表している。センサノードとしては TenSense を用いた。そして、本研究ではデータ収集処理と可視化アプリケーションについて実装した。



図 1 システム概要

3 管理対象となる情報

3.1 ノードの設置に関する情報

本研究では TenSense の設置対象を複数の橋梁とする。また、橋梁には多数のボルトが設置されるため、対象の規模によっては数百から数千の TenSense がそれぞれの橋梁に設置される可能性がある。これを管理するため、本システムでは以下のような設置に関する情報を扱う。

まず、橋梁は地理的に分散して存在する。また、それぞれの橋梁には名称が存在する。各橋梁を区別して管理するため、これらの位置情報や名称といった情報を扱う必要がある。

橋梁は主桁や橋台など複数の部位で構成されており、点検は部位に基づいた区分で実施される。各部位では複数のボルトが使用されているため、1つの部位に対し 1 つ以上の TenSense を設置することが

Development of Remote Structural Health Monitoring Application for A Large Number of Bolted Joint Tension Sensor Nodes

[†] Hikaru Sugawara, Toyohashi University of Technology

[‡] Michail Sidorov, Toyohashi University of Technology

[§] Ren Ohmura, Toyohashi University of Technology

考えられる。多数の TenSense を効率的に管理するため、橋梁の部位単位での管理をおこなう。

3.2 ノードから得られる情報

TenSense は締結力、バッテリー電圧、MCU 温度を送信する。目的はボルトのモニタリングであるため、開発するシステム上では締結力を主として可視化し、バッテリー電圧と温度は補助的な情報として扱う。可視化の方法としては、変化を詳細に示すことができる時系列グラフを用いる。また、測定データから各 TenSense の状態をシステム側で判定する。

4 実装

4.1 使用したサービス

TenSense からデータを収集するにあたり、データ抽出処理や保存機能が必要であった。これらの機能を実装するため、クラウドサービスである Microsoft Azure を選択した。Azure のサービスでは IoT Hub, Functions, Cosmos DB, App Service を利用した。

4.2 データ収集処理

TenSense は無線通信規格として LoRa を採用しており、LoRa ゲートウェイによってデータを収集する。LoRa ゲートウェイは受信したデータに受信時刻を付与し、HTTP POST によりサーバープログラム (Node.js) 経由で Azure IoT Hub に送信するようにした。IoT Hub が POST リクエストを受信したタイミングでノード ID やタイムスタンプ、測定データを取り出し、それらのデータを Cosmos DB に保存するようにした。

4.3 可視化アプリケーション

可視化アプリは Web アプリとして実装した。ホスティングには Azure App Service を利用した。

作成した可視化アプリの画面を図 2 に示す。アプリでは構造物や TenSense の情報表示、TenSense の測定データの可視化機能を実装した。橋梁の位置はマップ上にマーカーを配置して示した (図 2 ①)。各橋梁で TenSense を設置した部位を表現するため、橋梁を模した 3D モデル上に部位を示した (図 2 ②)。モニタリングの対象となる部位や設置した TenSense の情報は橋梁ごとにリスト形式で表示した (図 2 ③)。TenSense が測定したデータは時系列グラフとして表示した (図 2 ④)。グラフは初期状態では締結力を表示するが、必要に応じてバッテリー電圧や温度のグラフに切り替えることが可能であるように

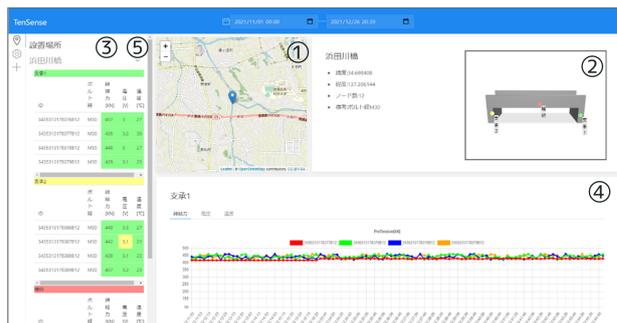


図 2 可視化アプリケーションの画面

した。また、締結力、バッテリー電圧、温度の測定値をもとに TenSense の状態を判定し、リストの色を変えて示した (図 2 ⑤)。状態は安全 (緑)・警告 (黄)・危険 (赤) の 3 つであり、閾値により判定した。閾値はボルト取り付け時の締結力や TenSense の動作電圧 (温度) 範囲を参考に設定した。

5 まとめ

本研究では TenSense[2] をセンサノードとして使用し、橋梁で使用されているボルトの状態を管理・可視化するシステムを設計・開発した。扱う TenSense の数が莫大となる可能性があるため、開発したシステムでは橋梁毎、および橋梁の部位ごとに分けて管理した。また、マップや 3D モデルを用いてモニタリング対象となっている TenSense の位置を示した。測定データは詳細な変化を示すための時系列グラフと、測定値に基づいた状態という形で可視化した。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいたトヨメタル株式会社に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] e-Gov 法令検索. 道路法施行規則 — e-Gov 法令検索. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=327M50004000025>. 2022/01/05 参照.
- [2] Michail Sidorov, Phan Viet Nhut, Atsushi Okubo, Yukihiro Matsumoto, and Ren Ohmura. TenSense: IIoT Enabled Sensor Node for Remote Measurement of a Bolted Joint Tension. In *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp. 202–211, 2019.