

(61) 橋梁とセンサの連携データモデルの 関係データベースへの実装

小山 誠稀¹・矢吹 信喜²・福田 知弘³

学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻 博士前期課程

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: koyama@it.see.eng.osaka-u.ac.jp

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻

国土交通省は橋梁管理者に対して、5年に1度の定期点検を義務づけた。しかし、橋梁管理者の維持管理業務に従事する人材の不足と急速な橋梁の老朽化が予想されるため、効率的な維持管理手法が求められている。そこで、センサを活用したインフラモニタリングに注目が集まっているが、膨大な数のセンサと橋梁の関係を把握することは困難である。本研究では、橋梁とセンサの関係を効率的に把握するために、橋梁とセンサの関係を関係データベースで管理する手法を提案する。橋梁とセンサの関係をデータベースで管理することで、橋梁諸元とセンシングデータを一元的に管理できると考えられる。検証実験では、従来の図面による管理手法と比較して、提案手法では人間の作業時間が4割以下となることを確認した。

Key Words: sensor installation data model, IFC, database, sensor data model, maintenance

1. はじめに

アメリカ合衆国や日本で発生した社会インフラの重大事故を受けて、国土交通省は橋梁管理者に対して、5年に1度、近接目視と打音による定期点検を実施することを義務づけた¹⁾。しかし、橋梁管理者の多くを占める地方公共団体では、熟練技能者の引退や若年就業者の減少にともない、維持管理業務に従事する人材が不足することが懸念されている。一方で、多くの橋梁が高度経済成長期に建設されたため、今後、建設後50年を経過する橋梁が増加することが予想される。そのため、少ない人材で多くの橋梁の維持管理を行う必要があり、点検業務の確実な実施が困難となる恐れがある。

近年、ICT (Information and Communication Technology) やMEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) 技術が発展している³⁾。センサを橋梁に設置し、社会インフラをモニタリングするインフラモニタリングは、人間が携わる作業を大幅に減らすことができると考えられる⁴⁾。さらに、人間が近づけないような場所や部材内部などの劣化状況を監視することが可能となるため、点検漏れの減少

や異常の早期発見につながると期待される。

インフラモニタリングによって収集されたデータは人間の手によって解析されている。紙媒体でデータが管理される場合、人間が手作業で情報を図面や調書から目的の情報を探す必要がある。しかし、大量の図面や調書から必要な情報を探す作業は膨大な時間を要する。そのため、この手法では維持管理業務を効率的に行うことは困難であると考えられる。また、センサの設置数が少なければ図面を利用してセンサがどの部材のどの位置に設置されているかを管理することができる。しかし、センサの設置数が数百、数千と膨大になると、どのセンサがどの部材のどの位置に設置されているのかということを正確に把握することは困難になると考えられる。そのため、データベースを用いて部材とセンサの関係を把握する手法が考えられる。Jeongら⁵⁾はNoSQL (Not Only SQL) データベースで橋梁プロダクトモデルとセンサ情報データモデルを連携した。しかし、Jeongらの研究では、橋梁とセンサの関係を明示的に示すことはなされていない。

そこで、本研究ではセンサが設置されている橋梁部材およびセンサの設置位置・設置方向を明示的にデータと

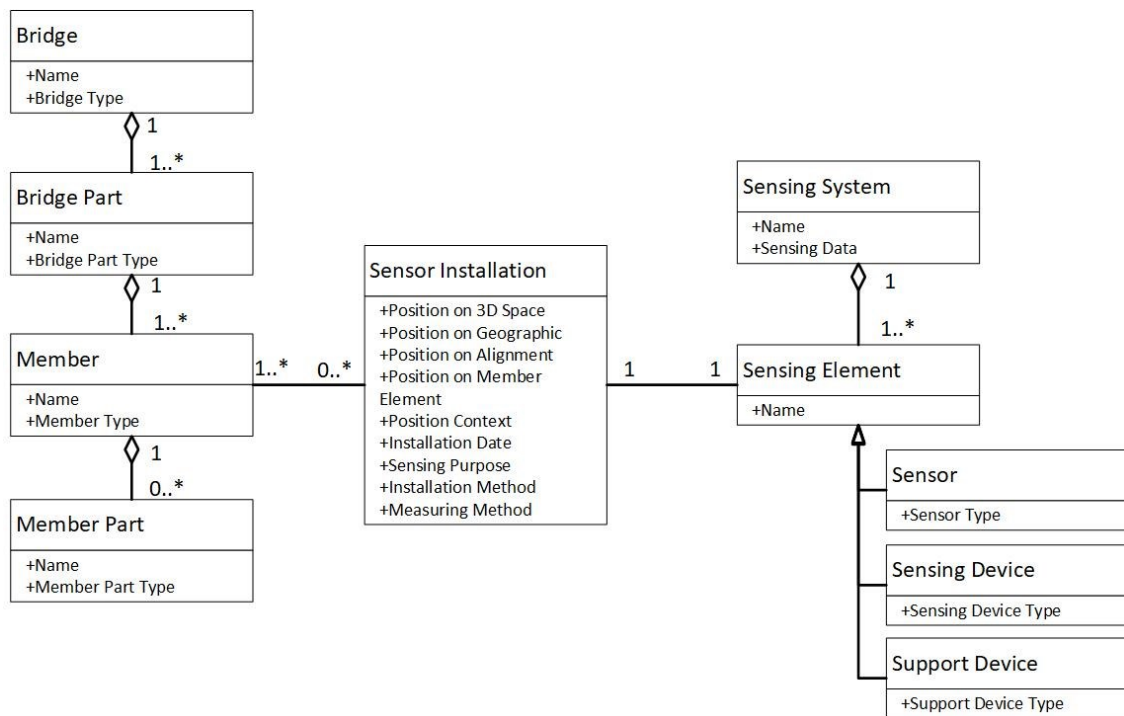


図-1 構築した概念データモデル

して管理する関係データベースを実装し、膨大なセンサの管理を効率化することを目的とした。本研究で提案する関係データベースを使用することで、従来の紙媒体による情報の管理手法と比較して、人間の実作業時間を 4 割となることを目指す。

2. データモデルの構築

関係データベースを実装するにあたり、関係データベースのスキーマを設計する必要がある。そこで、橋梁とセンサの関係性を整理するために、橋梁プロダクトモデルとセンサデータモデルを構築した。さらに、橋梁プロダクトモデルとセンサデータモデルを結びつけるセンサ連携データモデルを構築した。構築したデータモデルを図-1に示す。図-1左の4つのクラスが橋梁プロダクトモデルを、図-1右の5つのクラスがセンサデータモデルである。橋梁プロダクトモデルの Member クラスとセンサ情報データモデルの Sensing Element クラスを図-1中央のセンサ連携データモデルの Sensor Installation クラスで連携した。

データモデルの構築にあたり、bSI (buildingSMART International) が策定した IFC (Industry Foundation Classes) ⁶⁾ および OGC (Open Geospatial Consortium) で承認された SensorML ⁷⁾ を参考にした。

3. 関係データベースの実装

2章で述べた各データモデルは概念モデルである。関係データベースを実装するために、IFC スキーマと構築したデータモデルのマッピングを行った。データモデルの属性のうち、IFC スキーマで定義されていない属性は対応するクラスと関連するプロパティセットとして拡張した。例えば、橋梁諸元は図-1の Bridge クラスに含まれる。IFC スキーマで橋梁諸元を表すクラスおよび属性は定義されていないため、橋梁諸元を定義するプロパティセットを拡張した。拡張したプロパティセットを橋梁プロダクトモデルの Bridge クラスと対応する IFC スキーマの IfcBridge クラスに関連づけた。

次に、マッピングした IFC スキーマに基づき、関係データベースを実装した。図-2に E-R (Entity-Relation) 図の一部を示す。図-2はテーブル名と主キーおよび外部キーのみを示している。実装した関係データベースは IFC スキーマのクラスとテーブルが一致するようにした。テーブルのカラムは対応する IFC スキーマのクラスの属性に加えて主キーおよび外部キーとした。また、プロパティセットは詳細情報を記録するためのテーブルを作成し、詳細情報のテーブルのカラム名とした。

関係データベースは主キーおよび外部キーを参照することで、他テーブルと関連づけられる。そこで、センサ連携データモデルを関係データベースとして実装した rel_member_sensor テーブルは member テーブルの主キーと sensor テーブルの主キーを外部キーとして有する。これにより、橋梁プロダクトモデルとセンサデータモデルが

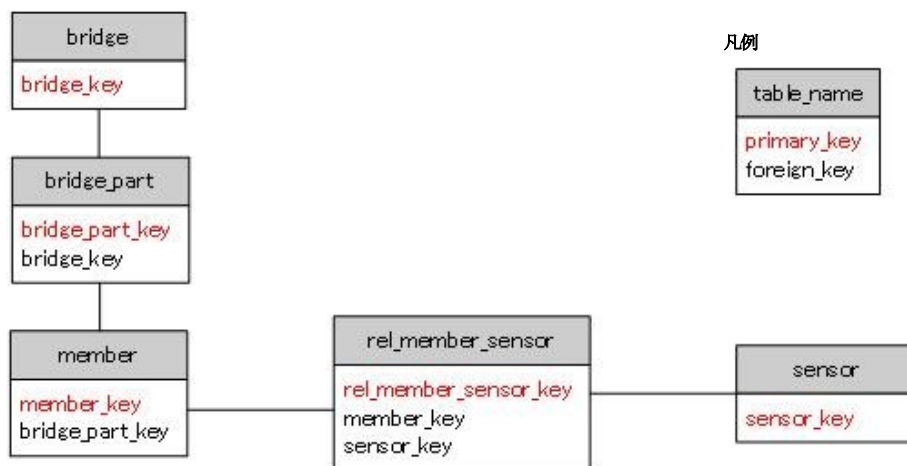


図-2 E-R図の一部

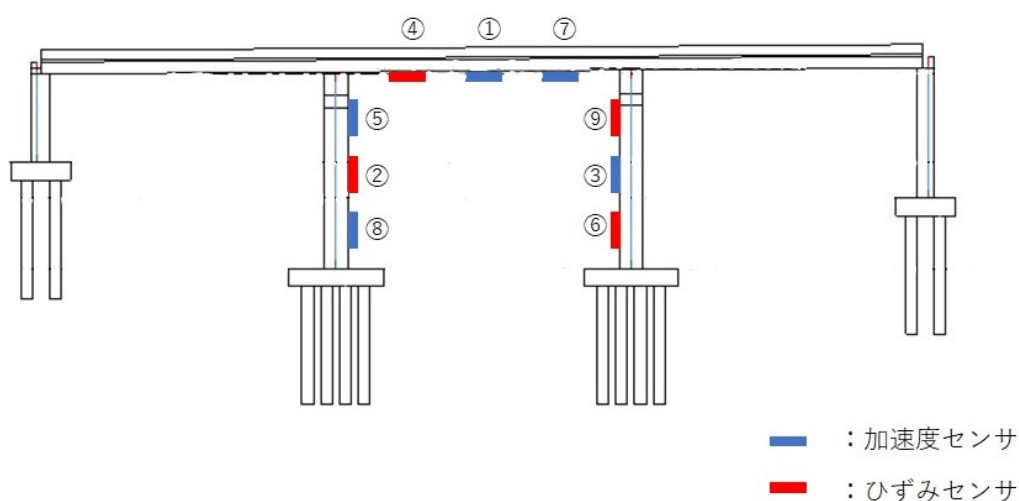


図-3 センサ配置図

表-1 実行環境

OS	Windows 10 Education
CPU	Intel Core i9-9990KF
RAM	16.0 GB
RDB	10.1.37-MariaDB

関係データベース上で連携されるため、橋梁に関するデータからセンサに関するへアクセスすることが可能となる。

関係データベースに格納されるデータはデータモデルのインスタンスである。つまり、データベース内の1件のレコードが1つのインスタンスを表す。

4. 検証実験

検証実験では、従来の紙媒体による情報管理手法と関

係データベースによる情報管理手法において、維持管理に必要な情報を検索するために要する時間を比較した。

図-3に検証実験の対象とした橋梁の概要図を示す。検証実験では、3径間連続橋の第2径間に9個のセンサが設置されているものとした。センサの種類は加速度センサおよびひずみセンサの2種類とした。検証を行うための検索内容は「A橋の第2径間に設置された加速度センサのうち、鉛直方向の重力が15Gを超えるセンサ」とした。設置されたセンサ数が1個、5個、9個の3通りの場合で検証を行った。図-3中の番号はセンサが何番目に設置されたかを表し、センサ数が5個の場合、5番目に設置されたセンサまでを検索の対象とした。関係データベースの実行環境を表-1に示す。

従来手法は図面および紙面からセンサの情報を探し、センサから取得されたセンシングデータを目視で確認して、検索内容に該当するセンサを調査した。提案手法では関係データベースの操作を行うSQL (Structured Query Language) を記述して検索内容のクエリを実行した。

表-2 従来手法と提案手法の検索時間の比較

センサ数	従来手法	提案手法
1	56 min 21 sec	15 min 47 sec
5	1 h 52 min 23 sec	12 min 4 sec
9	3 h 47 min 38 sec	12 min 5 sec

検証実験の結果を表-2に示す。表-2の結果より、従来手法と比較して、提案手法では検索に要した時間がセンサ数が1個の場合で約4割、センサ数が9個の場合で1割以下となった。

5. 考察

表-2より、従来手法ではセンサ数が多くなるにつれて検索に要した時間が長くなった。従来手法では対象となるセンサが多くなることで調査する必要がある図面や調書が多くなるため、検索に要する時間は長くなる。一方で、提案手法ではセンサ数が多くなっても検索に要した時間はほとんど変化が見られない。提案手法ではSQLを記述する時間は個人差があると考えられるが、従来手法と比較すると個人差は大きくないと考えられる。また、関係データベースの処理時間は対象とするセンサ数が多くなっても大きく変わらなかった。以上のことから、関係データベースを利用することで、人間の実作業時間を削減できると考えられる。

本研究の検証実験で行った検索内容は対象とする橋梁名が既知のものとした。しかし、実際の維持管理業務において、対象橋梁が未知である場合も考えられる。本研究で実装した関係データベースは橋梁の情報も有している。そのため、関係データベースに登録されている橋梁であれば橋梁名がわからない場合でも、提案手法を用いて検索することが可能である。

検証実験のために使用したデータと比較して、実際の維持管理業務で得られる情報はビッグデータと呼ばれる規模であると考えられる。実際の維持管理業務に適用するためにビッグデータを扱うことができるか検証する必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、センサが設置されている部材およびセンサの設置位置・設置方向を明示的にデータとして管理す

る関係データベースを提案した。本研究のまとめは以下の通りである。

- 従来手法と比較すると提案手法では人間の実作業時間が4割以下となることを示した。
- データモデルとIFCスキーマをマッピングし、IFCに基づいて関係データベースを実装した。

今後の課題として、3次元モデルをデータベースとして活用することがあげられる。3次元モデルをデータベースとして活用することで、センサの設置情報をコンピュータに理解させることが容易になると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、総務省の平成30～令和2年度「戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）国際標準獲得型」JPJ000595における「インフラモニタリングにおけるインフラ3DモデルとIoTセンサ情報モデルの異分野間連携に関する研究開発と標準化」の受託研究として実施しているものである。また、本研究は一般社団法人関西情報センター（KIIS）のスマートインフラセンサ利用研究会の協力のもとに行われた。ここに深謝を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路の維持修繕に関する省令・告示の制定について（道路法施行規則の一部改正等），<https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000412.html>，（入手2020.6.2）。
- 2) Manu Venugopal, Charles M. Eastman, Rafael Sacks, Jochen Teizer：Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema, Advanced Engineering Informatics, Vol. 26, pp.411-428, 2012.
- 3) 矢吹信喜：無線センサネットワーク利用による土木構造物のモニタリングに向けて，電子情報通信学会誌，Vol. 97, No.8, pp.684-687, 2014.
- 4) みずほ情報総研株式会社：平成28年度IoT推進のための新産業モデル創出基盤整備事業（IoT技術を活用した社会インフラの効率化点検・管理手法等調査）報告書，<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000102.pdf>，（入手2020.6.8）。
- 5) Jeong, S., Hou, R., Lynch, J. P., Sohn, H., Law, K. H.: An Information Modeling Framework for Bridge Monitoring, Advances in Engineering Software, Vol.114, pp.11-31, 2017.
- 6) buildingSMART: Industry Foundation Classes Version 4.2 bSI Draft Standard - IFC Bridge proposed extension, <https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/>，（入手2020.6.2）。
- 7) Open Geospatial Consortium: Sensor Model Language (SensorML), <<https://www.ogc.org/standards/sensorml>>，（入手2020.6.2）。