

(73) 橋梁の部材，センシングおよび点検結果の統合化を目的としたデータモデルの構築

大西 啓晃¹・矢吹 信喜²・福田 知弘³

¹ 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

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

本研究では、橋梁の部材やセンシングデータおよび点検結果の統合化を目的としたデータモデルを提案する。近年、社会インフラの老朽化が進行し、効率的な維持管理方法が求められている。現状では、維持管理に利用される各種データは、管理者が各々の管理形態で所持しており、管理効率性と相互運用性の点で問題となっている。本研究で提案するデータモデルは、橋梁の諸元と共に点検結果やセンサによるセンシングデータも統合的に管理することができ、あらゆる組織間での共同利用を可能とするため、維持管理に必要なデータを一元的に管理でき、データの管理効率性と相互運用性の向上が見込まれる。本研究では、実際に橋梁にセンサを設置してモニタリングを行い、データを収集することで提案するデータモデルの有用性を検証する。

Key Words: data model, sensing, maintenance, inspection, infrastructure

1. はじめに

日本に整備されている社会インフラの多くは、高度経済成長期の 1960 年代に一斉に整備されたものである。以来、50 数年ほどが経過し、多くの社会インフラで老朽化が問題となっている。老朽化が進行した社会インフラは、補修等の適切な処置が必要となるが、正しく処置を決定するには、修練を積んだ点検者による点検が必要となる。

現状における点検の方法は、点検員による近接目視と打音検査が主で、点検の結果は、点検調書とよばれる記録表に記入することになっている¹⁾。このような方法は、長年のノウハウが培われているため確実性が高いと考えられている一方、すべての社会インフラを点検するにあたっての人員不足や、定量的なデータの不足が問題点として挙げられており、社会インフラを維持管理するためのより効率的な方法が求められている。

そこで近年、センサを社会インフラの維持管理に利用しようとする動きがみられる²⁾³⁾。社会インフラにセンサを設置し、計測したデータを通信によって取得することで、社会インフラを遠隔で監視することが可能となり、

人的コストの削減につながる。また、今まで点検員の感覚的な判断に頼っていた部分を、センシングによる定量的なデータが得られることによって、解析的に判断でき、維持管理における新たな知識発見も促進されと考えられる。

ここで、データの管理手法に焦点を当てると、現状では、点検結果などの各種データは、当事者のみが利用できる形態で管理されている。つまり、点検結果は点検を実施した組織が、橋梁の詳細な諸元は設計者や施工者が所持している。センシングデータに関しても同様になるものと考えられるが、このような管理手法ではデータの管理効率性と相互運用性に問題がある。

そこで、あらゆる組織間で共同で、維持管理に必要な各種のデータを一元的に管理するデータモデルが必要となる。このようなデータモデルに基づいたデータベースが実用化されれば、各組織の個々のデータ管理負担が軽減され、自分たちの持つデータだけでなく他組織のデータも参照しながらの意思決定が可能となり、上記の問題を解決できる。また、このようなデータベースは、将来の社会インフラの維持管理における AI や IoT の利用におけるプラットフォームとなり得るものであり、将来性

の面でも必要になると考えられる。

本研究では、橋梁の部材やセンシングデータおよび点検結果の統合化を目的としたデータモデルを提案する。提案するデータモデルは、橋梁の諸元と共に点検結果やセンサによるセンシングデータも統合的に管理することができ、あらゆる組織間での共同利用を可能とするため、維持管理に必要なデータを一元的に管理でき、データの管理効率性と相互運用性の向上が見込まれる。また、本研究では、提案するデータモデルを用いたデータベースを構築し、データベースを利用するためのアプリケーションを開発する。そして、実際の橋梁にセンサを設置してモニタリングを行い、データを収集することで、データモデルの有用性を検証する。

2. データモデル

本研究で提案するデータモデルでは、リレーショナルデータモデルを使用している。これは、リレーショナルモデルを用いてデータベースを実装した際に、複雑かつ高度な検索機能を有することができるため、複数のテーブルを関連づけたデータの参照が必要となるようなケースに適していると考えられるためである。

本研究で提案するデータモデルの主なテーブルを以下に示す。

- **Bridge table**
橋梁の諸元に関するテーブル
- **Superstructure table**
橋梁の上部工に関するテーブル
- **Substructure table**
橋梁の下部工に関するテーブル
- **Bridge member table**
橋梁の部材を特定するためのマスタテーブル
- **Inspection table**
点検履歴のテーブル
- **Deterioration table**
点検の結果得られた損傷に関するテーブル
- **Repair table**
補修履歴のテーブル
- **Sensor portal table**
センサの性能など、機器情報に関するテーブル
- **Sensor setting table**
センサの設置位置に関するテーブル

橋梁は、床板、桁等を構成する上部工と、橋脚以下を構成する下部工に分かれており、それぞれ設計者や施工時期が異なることが多い。また、同じ橋梁の上部工や下部工でも、径間ごとにその詳細は異なる。そのため、橋

梁全体の特徴を **Bridge table** にまとめ、上部工、下部工の径間単位のデータを **Superstructure table**, **Substructure table** にまとめている。

Bridge member table は、損傷、補修、センサの設置位置を表現する際に、どの部材のどの位置についてのデータを表しているのかを示すためのマスタテーブルとなる。橋梁には、部材の種類を表す部材記号と、その部材におけるどの位置なのかを示す要素番号が定められており、部材記号と要素番号を組み合わせた ID により、損傷やセンサの設置位置を特定できる。

Inspection table は、点検の履歴を表すテーブルであり、点検の結果判明した損傷のデータは **Deterioration table** に、その後の補修に関しては **Repair table** に示される。

その他、**Sensor portal table** ではセンサの種類毎の性能や仕様が、**Sensor setting table** ではセンサの設置や稼働に関するデータが表現される。

本データモデルにおいて、センシングによって得られたデータは、間接的に **Sensor setting table** で示される。リレーショナルデータベースに全てのセンシングデータを逐次登録していくことは、データベースの処理能力的にもサーバーの容量的にも現実的でない。そこで、実際のセンシングデータ自体は他のサーバーで個々に管理し、データベースにはセンシングデータの管理先のパス (URL) を登録することで、アプリケーション側でセンシングデータにアクセスすることが可能となる。図-1 に、センシングデータへのアクセスの流れを示す。

また、図-2 に、提案するデータモデルの E-R (Entity-relationship) 図を示す。

なお、本研究で提案したデータモデルは、国際航業株式会社の橋梁点検データベース、東日本高速道路株式会社と東京大学共同での SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) プロジェクトにおける成果物である「道路管理情報表現仕様書 version2.3」を参考にしている。

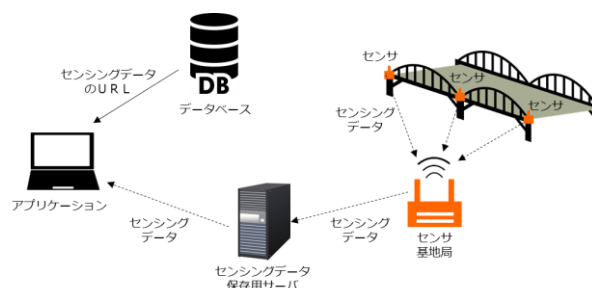


図-1 センシングデータへのアクセス

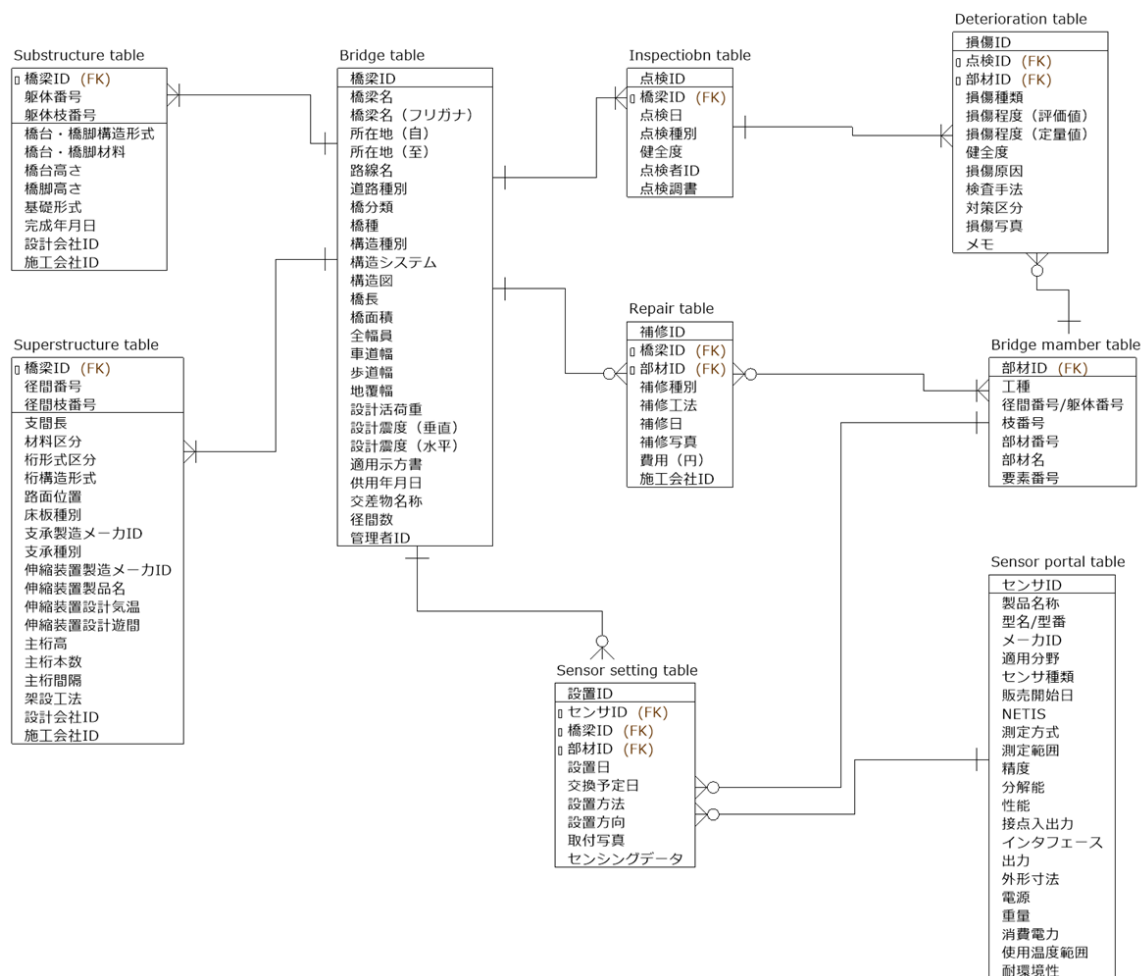


図-2 データモデルの E-R (Entity-relationship) 図

3. 実装

本研究で提案したデータモデルを用いてデータベースを構築し、このデータベースを管理するためのアプリケーションを開発した。データベースには MySQL を、アプリケーション開発には PHP を用いて実装した。

実装したアプリケーションに備わっている機能を以下に示す。

- データの管理（登録・更新・検索・削除）
- データの比較表示
- Sensor setting table で検索したセンサのセンシングデータの表示

社会インフラの損傷などのデータは、経年劣化を把握するために時系列順にデータを並べたり、他の似た橋梁との比較を行ったりすることが想定されるため、比較表示のための機能を実装した。

また、本研究で提案したデータモデルでは、直接センシングデータを扱うことはしないため、アプリケーション側でデータベースとは別で管理しているセンシングデータにアクセスできるようにした。

4. 検証実験

検証実験では、実際に橋梁にセンサを設置してモニタリングを行い、データを収集することで、提案したデータモデル、及び開発したアプリケーションの有用性を検証した。また、実際にデータの管理・検索を行うことにより、データの管理の際に必要な機能の検討、また、データの適切な検索・表示方法の検討を行った。なお、検証実験は、一般財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。センサ設置対象の橋梁は大阪府の春宮跨道橋（PC 橋）、センサには亀裂変位計を用い、ひび割れの進行をモニタリングした。

センサの通信方式には LPWA（Low Power Wide Area）を用いた。LPWA は、消費電力を抑えて遠距離通信を実現する通信方式であり、近年の IoT 技術の発達を背景に、各所で導入が検討され始めている通信技術である。

表-1 に実験条件、図-3 にセンサ設置対象の写真、図-4 にセンサ設置位置を示す。

検証実験により、本研究で提案したデータモデル及び開発したアプリケーションによって、遠隔からの橋梁のモニタリングが可能であることが実証された。また、センシングデータや橋梁の点検結果等、各種情報を関連付けたデータ検索が可能であることが確認できた。

課題としては、損傷の位置やセンサの設置位置が文字でしか表現されていないため、感覚的に理解しづらいことが発見された。この課題に対処するために、構造物の3Dモデルを利用することが考えられる。3Dモデル上にセンサの設置位置や損傷位置をマーカ表示し、ポイントすることで各種情報をポップアップさせるような機能を実装することで、より現場に近い形での状況把握が可能になると考えられる。

表-1 実験条件

センサ設置橋梁	大阪府春宮跨道橋（PC 橋）
センサ設置位置	主桁支間中央部
センサ種類	亀裂変位計 (東京測器研究所)
通信方式	LPWA



図-3 春宮跨道橋



図-4 センサ設置位置

5. まとめ

本研究では、橋梁の部材やセンシングデータおよび点検結果の統合化を目的としたデータモデルを提案した。提案したデータモデルを用いたデータベースで社会インフラの諸元や点検結果等を、他のサーバーでセンシングデータを管理し、アプリケーション側でこれらを関連付けて参照できるようにすることで、あらゆる組織間で共同で利用できるシステムを作り上げることが可能であり、データの効率的な管理と相互運用性の向上が達成される。

今後の課題は、実際に本研究で開発したようなシステムで社会インフラを管理していくと想定した際に、どのような機能が備わっているべきかを追求していくことにある。例えば、センサの設置位置や損傷の位置は、文字的にどこにあるかを示されても、実際に図面を見なければ理解しづらい。そこで、構造物の3Dモデルを用意して、そこに各情報を付与し、マーカ表示できるような機能が存在することが望ましく、このようなシステムを実現していくことを目指す。

謝辞：本研究で提案したデータモデルは、国際航業株式会社の橋梁点検データベース、東日本高速道路株式会社と東京大学共同でのSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）プロジェクトにおける成果物である「道路管理情報表現仕様書 version2.3」を参考にした。また、本研究は、一般財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) 国土交通省道庁局国道・防災課：橋梁定期点検要領, 2014.
- 2) Iacono F. L., Navarra G., Oliva M. : Structural monitoring of "Himera" viaduct by low-cost MEMS sensors characterization and preliminary results, *MECCANICA*, Vol. 52, No. 13, pp. 3221-3236, 2017.
- 3) Jeong S., Byun J., Kim D., Sohn H., Bae I. H., Law K. H. : A Data Management Infrastructure for Bridge Monitoring, *Proceedings of the Structural Health Monitoring 2015 (IWSHM 2015)*, September 1-3, 2015.