

# (14) 鉄道土木構造物向けセンサーネットワーク データ管理システムの構築

野末 道子<sup>1</sup>・土屋 隆司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部（ネットワーク・通信）

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

E-mail:nozue.michiko.93@rtri.or.jp

<sup>2</sup>非会員 同上 国際業務部（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）

E-mail:tsuchiya.ryuji.06@rtri.or.jp

日本の鉄道では高経年の土木構造物を多く擁し、その数量も他の社会インフラをはるかに上回っている。設備の状態に応じた適切な維持管理を行う上では維持管理にかかわるデータを適切に管理することが求められるが、そのデータは設備の諸元データベースを中心に、定期的な検査や個別検査、補修・保全記録、さらに今後の ICT の普及に伴うモニタリングデータなど多岐に渡る。本稿では、鉄道構造物のモニタリングデータに対する独自メタデータ構築の重要性について議論するとともに、構造物を対象とした状態監視システムにおけるメタデータの開発状況について報告する。

**Key Words:** railway infrastructure monitoring, database management, metadata, ontology

## 1. はじめに

日本の鉄道では、社会インフラの中でも早く整備が進められたことから、道路や港湾など他の等に比べ設計耐用年数経年が進んだ構造物が多く使われている。鉄道構造物のストック量<sup>2)</sup>は、トンネルが4737本、橋りょうが102,293橋（1m以上）であり、道路トンネルが約1万本、

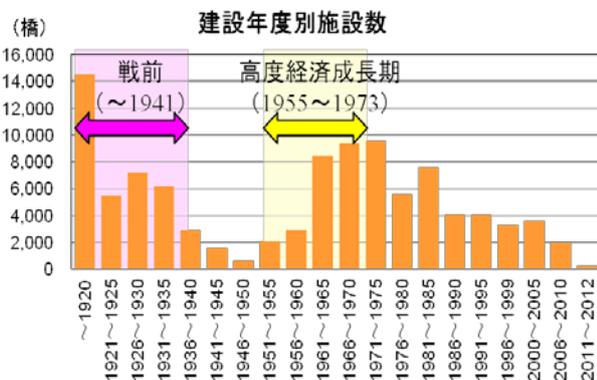
橋りょうが約70万橋（2m以上）と比較しても多い。図-1に示すように、鉄道では、戦前と高度経済成長期に2つピークがあり、1つ目のピークである戦前建造物については70年や100年といった設計耐用年数を越えている。このことから、老朽構造物への対応は喫緊の課題となっている。

一方、団塊世代の退職などが急速に進み、鉄道の維持管理を支えてきた熟練技術者不足がいよいよ顕在化している。このため、少ないリソースで効率的に質の高いメンテナンスを行うための技術開発が望まれている。

一方、近年の ICT の飛躍的な発展により、構造物の検査・診断技術の高度化への機運が急速に高まっている。①定期検査や個別検査などの設備の検査記録、②状態監視データ、③修繕や取替など、数多くの維持管理記録の分析結果が、アセットマネジメントやリスク管理等、維持管理プロセスにも適切に反映されていくことが求められている。

維持管理記録として蓄積されつつある定期・個別検査、変状記録やその修繕・補強対策などの情報が、長い時間を経ても変わらず、またアプリケーションや組織の壁を越えて効果的に活用できるようにするためにはメタデータの整備が重要である。本稿では、鉄道構造物のモニタ

鉄道橋りょう総数: 102,293橋(1m以上)



鉄道の建設年度別橋りょう数(国交省調べ)

図-1 鉄道構造物の老朽化の現状

リングデータに対する独自メタデータ構築の重要性について議論するとともに、構造物を対象とした状態監視システムにおけるメタデータの開発状況について報告する。鉄道におけるドメインモデル等の関連研究の状況についても合わせて述べる。

## 2. 鉄道構造物維持管理標準

鉄道構造物については、戦前までは何らかの問題が発生してから対処する、いわゆる「事後保全」を基本としたメンテナンスが行われてきた。その後、1971年には鉄道構造物の保守技術基準を作ることを目的に、定期的な検査により健全度を判定し、健全度の程度に応じて大きな事故に至る前に監視や補修・補強などの適切な措置を施す、いわゆる「予防保全」の概念によるメンテナンスの体系が示された。また、1974年3月には委員会での審議事項をまとめた「土木構造物取替の考え方」が制定され、以降、鉄道におけるメンテナンスの基本として用いられてきた。

現在は、鉄道の基準類の性能規定化への移行に基づき、2007年1月に新たに鉄道構造物等維持管理標準<sup>1)</sup>（以下、「維持管理標準」という）が整備されている。維持管理標準による管理のフローを図-2に示す。

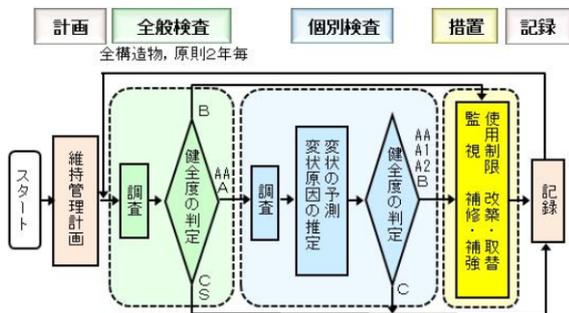


図-2 鉄道構造物維持管理標準による管理フロー

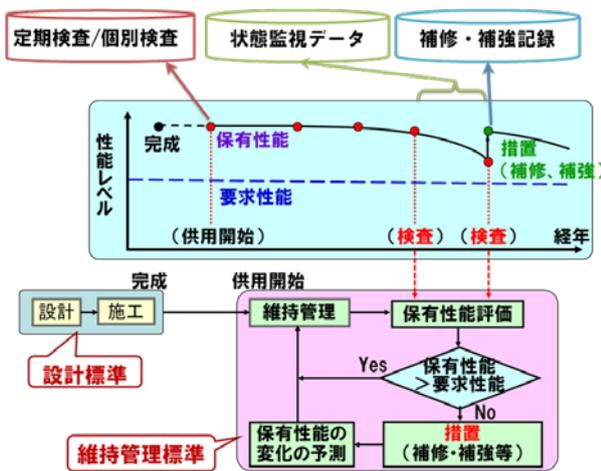


図-3 検査方法変更による変状データ推移のイメージ

現在、この維持管理標準に則った全般検査、個別検査が行われ、鉄道各社においては独自システムや鉄道総研が開発に関わってきた SMS（構造物管理支援システム）や SMDB<sup>2)</sup>により民鉄各社も含め維持管理データベースを構築し、データ蓄積の取り組みを開始している。

一方、2012年の笹子トンネルでの天井板崩落事故を契機に、インフラの維持管理が喫緊の課題であることが全国で再認識され、種々の施策が講じられている。鉄道構造物でも事故に繋がりがかねない剥落事象が最近も発生していることから、国交省鉄道局では「鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議」を開催し、2014年に更に木目細かな維持管理の必要性が提言された<sup>3)</sup>。

こうした背景から、現在では健全度判定の高精度化、精緻化の研究、維持管理標準の解説となる手引きや事例集などの作成が進められている。

## 3. 鉄道におけるドメインモデル構築とメタデータ整備

### (1) 構造物状態監視のためのデータ管理の重要性

構造物の維持管理では対象とする構造物が多岐に渡るのに加え、維持管理の時間スパンは非常に長期にわたり、その構造物が設置される環境や検査手法、その路線の走行環境などの特徴は時間とともに大きく変化する可能性がある。これらの特徴を踏まえ、図-3で取得するような構造物の状態を示すデータ（検査結果データ、モニタリングのセンサで取得するデータ等を含む）を保全のために有効に活用するためには、データの解釈に必要な付随情報（鉄道の維持管理手法等）を、これらのデータに結び付けて管理できるような仕組みが必要である。

### (2) 鉄道におけるオントロジー構築の取り組み

上記のようなデータを解釈するうえで、前提となる対象領域固有の知識（語彙、概念体系）をコンピュータでも人間でも理解できる形式に整理したオントロジーを構築する手法がある。鉄道のオントロジーの構築については、TRain(The Railway Domain)プロジェクト<sup>4), 5)</sup>が先駆的なものとして知られている。TRainでは、鉄道ネットワーク、車両、列車運行、スケジューリング（ダイヤ、車両・乗務員運用）、チケットング等を含む鉄道システム全体のドメイン理論構築を目指して活動が行われた。

一方、異なるアプリケーション間でのデータ交換の煩雑さを解決することを目指して、XMLベースのデータ交換フォーマットを整備する活動が RailML として行われている<sup>6)</sup>。RailMLでは「時刻表」「車両」「インフラストラクチャー」「運動」の4つのサブスキーマが開発されるなど、活発に活動が続けられている。

また、2000年以降、オントロジー記述言語 OWL ベースにしたオントロジー記述の取り組みが各分野で盛んに行われるようになった。鉄道も例外ではなく、Railway Domain Ontology (RDO)プロジェクトはその一例である。RDO は、鉄道ドメインにおける情報検索・共有・管理を支援するためのプロジェクトである IntegRail<sup>7)</sup>で使用されているオントロジー記述モデルである。鉄道アプリケーションにおけるデータ連携基盤を IntegRail/RDO を用いて構築する活動も盛んに行なわれている<sup>8)9)</sup>。8)では、UML ベースのアプローチとオントロジーベースのアプローチを比較し、両者の利害得失を論じている。

以上のように、欧州を中心に、鉄道分野のオントロジー構築およびその応用としてのデータ統合プラットフォームの構築は着実に進展しているが、多くの場合、対象領域が列車運行そのものや旅客サービスに限定されており、筆者らの対象とする土木構造物やその状態監視といった応用を想定したものはほとんど見られない。また、日本の鉄道の維持管理体制についても考慮したオントロジーを構築するためには、多くの関係者が様々な経験や知見をもとに議論を行うことが求められ、短期間に構築することは困難である。

### (3) 状態監視システムのためのメタデータ構築

センサデータを標準化し、ウェブカメラの画像情報や構造物に取り付けられているひずみゲージ、温度センサを実現するための取り組みとしては、Sensor Web Enablement が知られており、以下の代表的な3つのモデルの構築を行っている。

Observations & Measurements (O&M)

Sensor Model Language (SensorML)

Transducer Model Language (TransducerML or TML)

これらは必ずしも現在の市販レベルのセンサネットワーク製品で十分普及しているとは言えない。

そこで我々は、現在開発を行っている状態監視システムの事例を対象としてオントロジー構築の前段として状態監視データ(センサデータ等)に固有のメタデータを整備する検討を行なった。

## 4. センサデータアーカイブの構築

長期の構造物に比べ、センサの寿命は短く、モニタリングの期間において、ほぼ確実にセンサの取替えが発生する。その際に、必ずしも同じメーカーの同じ仕様のセンサが入手可能とはならず、それらのデータ間の適切な継承が求められる。また、取り換えや補修工事に伴い、センサの設置位置や角度などの変更が生じる場合もある。微小な変化ではなるが、バッテリー電圧の降下によりデ

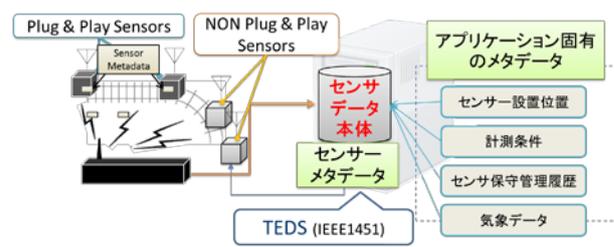


図-4 センサおよびアプリケーションメタデータ

ータが影響を受けた事例も生じた。こうした状況や、センサの増加なども想定される中で、どのセンサがどのセンサに取り換えられ、そのデータを引き継いだのか、といった継承記録を、適切に残すことも必要である。

そこで、維持管理標準に準拠して開発してきた維持管理データベースの構造を参考にセンサおよびアプリケーションメタデータの構築を検討した。今後、これをベースに事例を積み上げ、オントロジーとして統合化していく計画である。また、鉄道向けになるべく簡易な仕組みでセンサデータを管理できるよう、Transducer MLなどのデータ管理ができるようなセンサや、それ以外のセンサも取り込むことができるよう、拡張性の高いシステムを設計した。(図-4)

アプリケーション固有のメタデータおよびセンサの情報を記述するメタデータについては、モニタリングを実施する担当者へのアンケートに基づいて必要となるものを設計し、記述方式もセンサの専門家ではなく、モニタリングを実施する担当者が容易に理解でき、また必要な情報を共有化できる形式のものとした。

このシステムは、トンネル、橋梁、高架橋、軌道、駅舎建築部材などを監視対象として開発した6種類の常時、異常時用モニタリングシステムのセンサネットワークを対象として設計、検証を実施した。さらにこのシステムを改良し、現用実橋梁モニタリングへの展開を図った。

### (1) 開発した現用実橋梁のモニタリングシステム

実橋梁においては、常時微動を計測するセンサと、列車通過時の振動を計測するセンサ、傾斜センサと取り付け約3年の長期観測を実施し、このうち1年半のデータ伝送を実施した(図-5)。

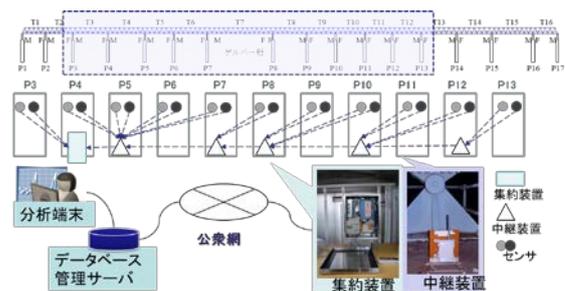


図-5 現用実橋梁に構築したモニタリングシステム

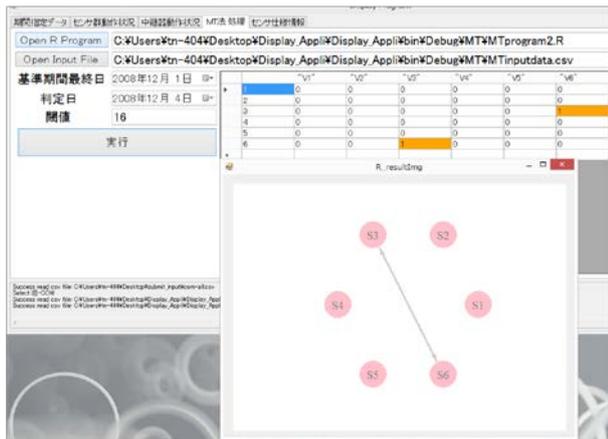


図-6 開発したデータ可視化ツール

本システムでは、鉄道橋脚で活用されている健全度判定手法である衝撃振動試験の結果と相関の高いデータの観測結果を取得することができ、常時モニタリングに基づく橋脚の健全度判定システムの実用化を進めている。

## (2) APIによる開発アプリケーション

センサの測定値とその関連付けられたメタデータを構築するだけでは、それらの利用促進において十分ではなく、これらのメタデータの拡充や見直しを実施するサイクルに乗せるためにはアプリケーション開発のための環境を構築することが肝要である。

そこで筆者らは、これらのデータを可視化するアプリケーションを開発するためにセンサ測定値およびセンサメタデータを結びつけるAPIを構築し、数例のアプリケーションを構築した。例として図-6に示すのは取得したセンサデータ間の関係性の変化を示す可視化システムを開発した。

## (3) 評価結果

約2年のデータ管理期間においても、センサの取替、センサ機器のバージョンアップ、データ取得タイミングの変更など、データベースでは管理の難しい事柄が多く発生した。

しかし、適切にメタデータでこれらの事象を記述することで、センサーにかかわる様々な変更事象が容易に可視化できるなど、持続可能なデータ管理が可能であることを確認した。

## 5. おわりに

モニタリングシステムのメタデータ構築を通して、簡易版となるセンサデータの管理システムを構築した。今後はデータ活用のための共通データ基盤とし

ての開発プラットフォームが今後ますます重要となってくるのが想定される。様々な検査データやセンサデータの蓄積が進展すれば、ビッグデータとしての鉄道設備の維持管理データの活用への期待も高まると考えられる。その場合には、前述のような共通データ基盤の整備が不可欠である。

今後も、こうしたモニタリングシステムの開発事例を通じてメタデータ整理の手法を確立し、オントロジー構築のための基礎データとしていきたい。また、そのオントロジーをもとに、容易にアプリケーション開発が行える基盤を構築し、公開することを目指したい。このような情報基盤によって、たとえば、異種アプリケーション間のデータの共有・受け渡しをサポートするデータ公開インタフェースの開発も可能になると考えている。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修, (財)鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編), 丸善, 2007.
- 2) 小島芳之, 野末道子: 鉄道構造物の維持管理におけるITの活用, 土木技術, Vol.5, No.5, pp.14-19, 2016.
- 3) 金澤学: 鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議のとりまとめについて, 建設マネジメント技術, Vol.54, No.11, pp.77-81, 2015.
- 4) A Worldwide Railway Research Endeavour: TRain, <<http://euler.fd.cvut.cz/railwaydomain/>>, (accessed 2016.06.30).
- 5) Björner, D.: TRain: The Railway Domain, Building the Information Society, *IFIP International Federation for Information Processing*, 156/2004, pp. 607-611, 2004.
- 6) InteGRail: Railway Domain Ontology, <<http://www.integrail.eu/documents/fs02.pdf>>, (accessed 2016.06.30).
- 7) Kopf, H.: InteGRail - publishable Final Activity Report, Date of preparation: 04/02/2010 <[http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20101208\\_183356\\_66676\\_InteGRail\\_Final\\_Project\\_Report.pdf](http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20101208_183356_66676_InteGRail_Final_Project_Report.pdf)>, (accessed 2016.06.30).
- 8) Morris, C., Easton, J., Roberts, C.: Applications of Linked Data in the Rail Domain, *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 27-30 Oct. 2014.
- 9) Verstichela, S., Ongenaea, F., Loeueb, L., Frederik Vermeulenc, F., Dingsb, P., Dhoedta, B., Dhaenea T., Filip De Turck, F. D.: Efficient data integration in the railway domain through an ontology-based methodology, *Transportation Research Part C*, Vol.19, No.4, pp.617-643, 2011.