

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 鉄道施設の検査・診断技術の最前線

鉄道施設の検査・診断技術は、鉄道の将来にわたる安全・安定輸送を維持・向上させるうえで必要不可欠な技術です。鉄道施設は、構造物、軌道、電気設備、駅といったさまざまなもので構成されていますが、ここでは取り替えのきかない構造物を主な対象として、維持管理と検査・診断の考え方を概説します。さらに、検査・診断技術の現状を概説したうえで、構造物の状態監視システム、健全度診断法・変状予測法、維持管理データベース (DB) システムを取り上げ、状態監視保全を確実に進めるために行ってきた研究開発成果と今後の展開などについて紹介します。



**小島 芳之**  
Yoshiyuki Kojima  
構造物技術研究部  
主管研究員  
【専門分野】トンネル、  
土木地質

## はじめに

鉄道は、長大で多様な施設群と車両で構成される複合システムであり、巨大な装置産業です。現在、鉄道事業者では、安全・安定輸送を維持・向上させるために施設の維持管理に多くのリソースが投入されており、鉄道の営業経費に占める維持管理費の割合は40%に達しています。また、たとえば橋りょう、トンネルの平均経年は各々60年、64年で、100年を超えるものも少なくありません (図1)。経年

を積んだ鉄道施設がこのまま増えれば、維持管理に必要なリソースも増えることとなります。保守の熟練技術者の減少と少子高齢化による影響も考えると、維持管理技術の高度化・システム化によって維持管理業務の効率化を進めることは、喫緊の課題といえます。

鉄道施設の維持管理は、供用期間中に取り替えが困難な構造物と、取り替えが前提となる軌道や電気設備とは課題が異なるため、各々の特性を踏まえた手法によって行う必要があります。また、一言で維持管理といっても、計画、検査・診断 (センシング・モニタリング、予測・評価)、対策 (補修・補強による延命化、リニューアル、取り替え、など)、記録といったフェーズがあります。ここでは、構造物を対象とした検査・診断の技術を中心に切りあげ、技術の現状と、鉄道総研が進めている研究開発動向を紹介します。

## 維持管理と検査・診断

### 施設の保全の考え方

一般に施設の保全の考え方には、「事後保全」と「予防保全」があります。事後保全は、損傷を発見してから対策を

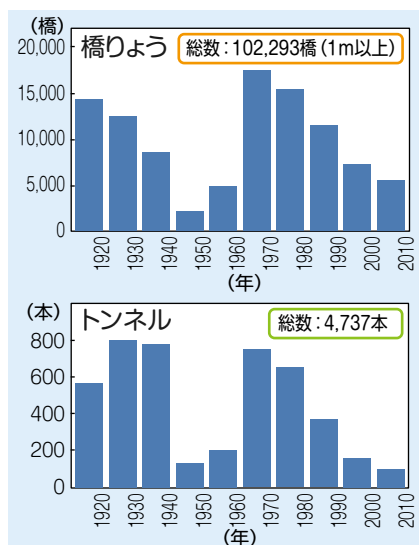


図1 橋りょう・トンネルの建設年代分布  
国交省鉄道局調べ (2012年) をもとに作成

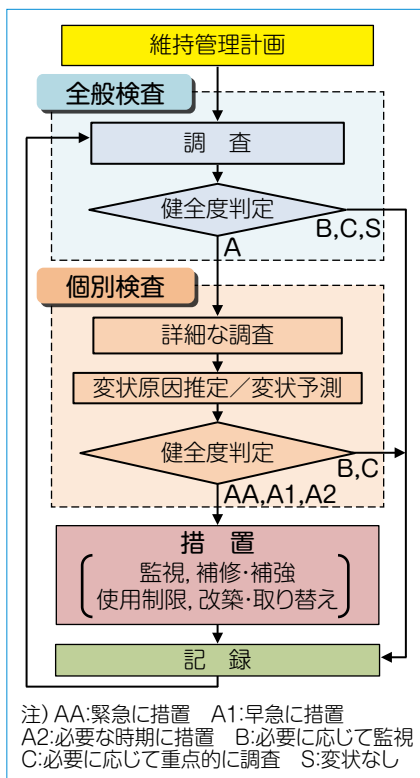


図2 構造物の維持管理手順<sup>1)</sup>

講じる考え方であり、予防保全は、計画的に検査を行って損傷が起こる前に対策を講じる考え方です。

### 構造物の維持管理体系

鉄道(国鉄)では、他の分野に先がけて予防保全の概念に基づいた施設の維持管理が、1970年頃から行われてきました。これは、定期的に検査を行い必要なものに対策を行う「時間計画保全」を柱としたもので、構造物については「土木建造物取替の考え方」(1974年)で標準化されています。

現在の鉄道構造物の維持管理体系は、1999年に鉄道トンネルの覆工コンクリート片はく落事故やRC高架橋からのはく落事象の健全化を契機として国交省が制定した「鉄道構造物等維持管理標準」(2007年、以下「維持管理標準」)で確立されました。図2は、維持管理標準における維持管理の流れを示したものです。まず、維持管理計画を策定し、計画に沿って全構造物で定期的に行う「全般検査」(通常2年ごと)で問題となる変状を抽出し、個別検査でこれを詳細に調査・評価して必要な

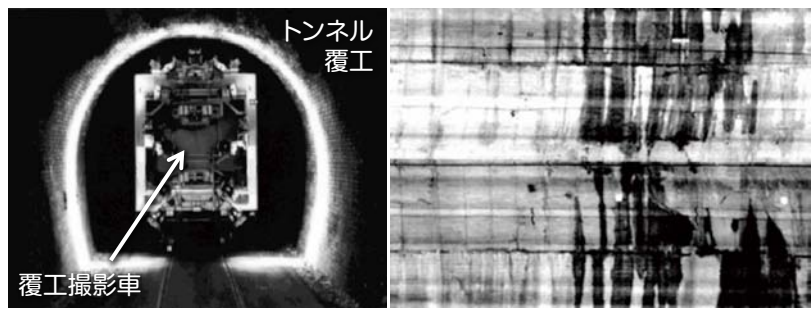


図3 トンネル覆工の撮影状況と連続展開画像の例<sup>2)</sup>

措置を講じ、一連の結果を記録する、という行為を繰り返すことで健全性を保ち続ける、というものです。

### 検査・診断の考え方

主題の「検査・診断技術」は、全般検査、個別検査、措置の一つである監視のための技術を指します。すなわち、  
 ・全般検査におけるセンシング・モニタリング技術と診断技術  
 ・個別検査と監視における詳細調査、モニタリング技術と診断技術  
 に相当します。

全般検査の段階では、路線全長に渡って同レベルの常時監視を行うことは非現実的です。路線全長を対象とした調査を行って問題となる変状を漏れなく抽出(センシング)するとともにその進行の度合いを一定期間ごとに把握(モニタリング)することを、構造物の特性に応じて行うことが、現実的かつ合理的であると考えられます。

個別検査の段階では、その変状を詳細に調べたうえで必要な措置を選択するのですが、措置の選択肢の一つが監視すなわちモニタリングです。一方、モニタリングは、地震や豪雨などの異常時を想定した場合や、近接施工に対しても行われるものと考えられます。

このように、現在の維持管理体系は、時間計画保全を一步進めた「状態監視保全」(状態を監視していて損傷にいたる前に対策を講じる方法)の概念も取り入れたものであるといえます。

### 検査・診断技術の現状

全般検査段階の調査は、目視とハン

マー打音調査が基本ですが、熟練すれば信頼性があるものの、非効率、定量化しにくい、個人差がある、記録に残しにくいなどの課題があります。これに代替できる自動検査法が望まれてきました。

個別検査～監視段階では、歪み、ひび割れ、変形、加速度などのモニタリングが適宜行われますが、特殊な場合を除いて長期間自動計測が行われることは少ないのが現状でした。

また、調査結果に基づいた診断法は十分に体系化されておらず、熟練技術者の経験に頼るところが多い状況が続きました。

鉄道総研では、発足当初の1990年頃から検査・診断技術の研究開発に取り組んできました。たとえば、鋼橋や橋りょう下部工の健全度評価システム(BMC, IMPACT)、トンネル覆工の撮影装置と画像作成法(図3)、打音音による非破壊検査法などを開発し、現在も実務に用いられています。

### 鉄道総研の研究開発状況

#### 研究開発の課題

現在、状態監視保全に基づいた維持管理を本格的に進められるように、これまでの研究実績を踏まえて、検査・診断～措置～記録のシステム化・定量化・効率化、構造物の延命化、全体コスト低減を実現できる次の課題に取り組んでいます。

- ①ICT、非破壊検査技術を活用したセンシング・モニタリングによる状態監視システムの開発

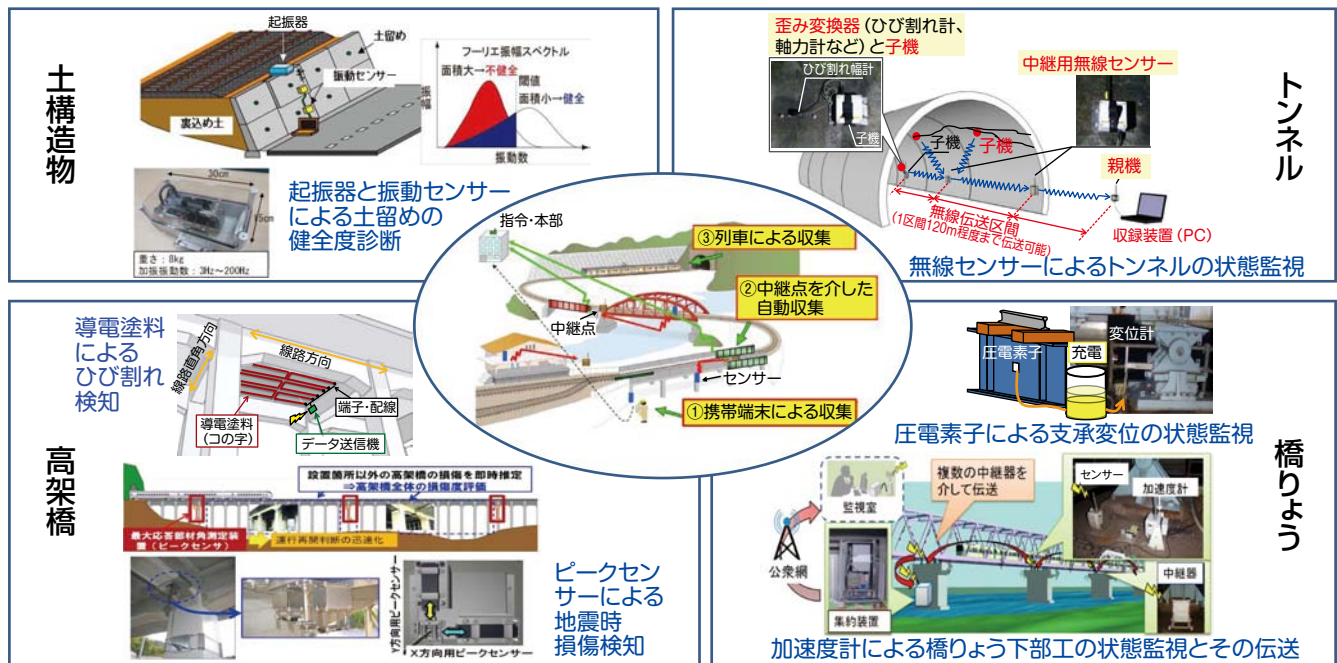


図4 鉄道構造物の種々のモニタリング技術と状態監視ネットワークシステム

- ②変状メカニズムの解明と定量的で客観的な健全度診断法, 変状予測法の開発
- ③経済的で延命効果の高い補修・補強, リニューアル技術の開発
- ④維持管理計画や記録の支援技術 (DB など)の開発, 事業者間連携体制の構築以降, 検査・診断技術に関わる①, ②, ④の一端を紹介します。

**状態監視システム<sup>3),4)</sup>**

構造物の状態監視法の研究を古くから進めてきましたが, 2005年以降には研究を加速化し, 安全性を支障する可能性のある箇所をモニタリングするさまざまな無線センサーとこれを適切に配置してデータ伝送を行う手法を開発し, 状態監視ネットワークシステムを構築しました。

図4は, 橋りょう, 高架橋, トンネル, 土構造物の各構造物を対象にして開発した無線伝送手段を有するセンサー技術の代表例をまとめたものです。

この図の中央に, 状態監視ネットワークシステムの伝送手段イメージも示します。センサーの多くは, 設置コスト低減の観点からバッテリー運用のものです。センサーは必要なタイミングでウェイクアップし, データは, 伝送頻度や遅延許容時間, 伝送量などに

応じて適切な手段により拠点まで伝送されます。リアルタイム性もさることながら, 巡回や列車通過時の車上収集方法を検討するなど, 伝送コストに見合う手段を選択することが重要です。

**健全度診断法・変状予測法**

状態監視ネットワークシステムの構築とともに, 変状メカニズムを解明し, シミュレーション手法を確立することは基本的に重要です。たとえば, 図5に示すような鉄筋コンクリート (RC) 構造物 (高架橋など) の劣化予測法, 山岳トンネルの地圧による変状予測法を開発しました。

また, 画像などの検査情報と構造物の諸元, 地形・地質, 補修歴などの基本情報から変状を自動抽出し, 原因推定や健全度診断を行うトンネル健全度診断システムも開発しました。

**DBシステム<sup>4),5)</sup>**

現在, 鉄道構造物の維持管理DBシステムは, 図6に示すように各事業者の実情に応じて構築し運用されています。

図中のSMS (構造物管理支援システム)は, 2002年度より14の鉄道事業者 (大手民鉄, 公営地下鉄) と鉄道総研が共同開発し, 2006年度より運用開始されたDBシステムです。SMSの運営

管理を実施する協議会を設立し, システムのバージョンアップなどの検討や維持管理に関する情報交換を進めています。2015年2月現在, 27社が協議会に加盟しています。SMSは, 図7に示すように, DBサーバー, クライアント事務所端末, 現地で記録を行うタブレットPCのハードウェア構成となっており, 図の下段に示すDBシステムは, 構造物ごとに検査履歴などの情報がリンクする構成になっています。

**これからの展開**

**状態監視システムの高度化**

近年注目されているスマートメーターなどに採用されたWi-SUNという次世代無線通信規格を用いて, 鉄道施設のモニタリング実証実験を進めています<sup>6)</sup>。また, 膨大な取得データから設備状態を把握するために, 複数データ間の関係に注目して状態変化を検出する手法の開発にも取り組んでいます。

画像情報を有効活用するための画像取得方法 (見えない所や接近できない所へのドローンの活用など), 解析方法 (画像の重ね合わせ, ひび割れ抽出, 進行性把握) の研究にも取り組んでいます。さらに, 建設から維持管理段階

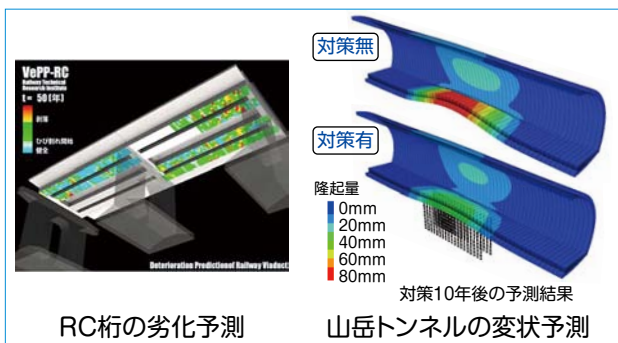


図5 変状予測技術シミュレーションの例<sup>3)</sup>

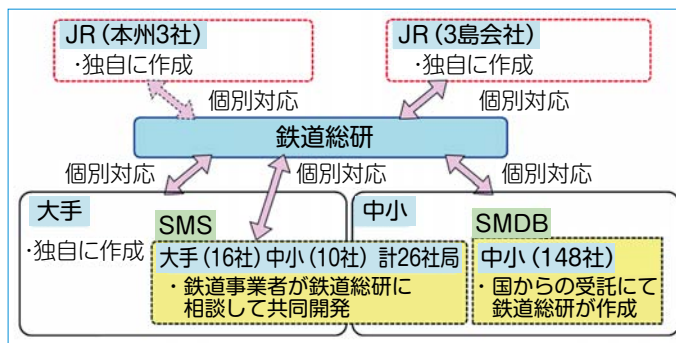


図6 維持管理DBシステムの開発状況<sup>4)</sup>

まで一連の三次元モデルを基に情報共有を図るものであるCIM (Construction Information Modeling) を活用した維持管理情報ネットワークシステムの構築に向けて、研究開発を進めています。

### 健全度診断法・変状予測法の高度化

さまざまな環境条件下で発生する構造物の特性に応じた時間依存の変状メカニズムを解明し、シミュレーション手法を開発するという、診断・予測技術の高度化に資する基礎的な研究を、今後も継続して進めてゆく予定です。

将来、これらの手法や人工知能を活用した診断システムを開発し、状態監視システムとDBシステムを包含した維持管理統合支援システムに発展させることが期待されます。

### DBシステムの高度化

クラウド環境の広がりや蓄積媒体の低価格大容量化により莫大なデータが蓄積されれば、そのデータ分析によって、適切な維持管理計画の策定などに活用できるものと考えられます。たとえば、健全度判定ルールをデータ分析によって作成し、維持管理に活用する手法の開発などが考えられます。

鉄道総研では、全国の鉄道事業者から検査記録などの情報提供をお願いし、その情報をもとにDBシステムを構築して種々の研究開発を行い、その成果を実務に役立てていただくことを目的とした「構造物維持管理技術情報検討会」の実施に着手しました。この取り組みにより、各種手引類や事例集の作成、判定アルゴリズムの精緻化、研究



図7 構造物管理支援システム (SMS)<sup>5)</sup>

開発の必要な重点項目の抽出、さらには事業者ごとに所有している技術の共有や課題の解決、事業者間の協力体制の構築など、多くの成果が期待できます。

### おわりに

鉄道施設のうち構造物に着目し、維持管理と検査・診断の考え方を概説したうえで、状態監視保全を確実に進めるために鉄道総研が実施中の検査・診断技術に関する研究開発動向の一端を、今後の展開も含めて紹介しました。

鉄道施設の検査・診断技術を向上させるには、ハード面のみならず、ソフト面も含めて幅広いアプローチが必要です。大手事業者のみならず、中小事業者や地方交通線にも行き渡る安価で簡易な技術の開発や、維持管理のために多くの事業者が共有・協力できるしくみ作りも重要であると考えています。今後もこういった視点を持って幅広

く研究開発を進めたいと思います。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ました。RRR

### 文献

- 1) 市川篤司：鉄道土木構造物の新しい維持管理体系，鉄道総研報告，Vol.19, No.12, pp.1-4, 2005
- 2) 小島芳之，鶴飼正人：トンネルの健全度診断，RRR, Vol.63, No.5, pp.14-19, 2006
- 3) 谷村幸裕：構造物の状態監視ネットワークによる維持管理，第28回鉄道総研講演会要旨集，pp.38-44, 2015
- 4) 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.71, No.5, pp.14-19, 2016
- 5) 菊地誠：構造物管理支援システムの開発，日本鉄道技術協会誌，Vol.51, No.12, pp.12-15, 2008
- 6) 岩澤永照，羽田明生，流王智子，川村智輝，川崎邦弘，野末道子：鉄道現場における状態監視システムの適用可能性の検証，電気学会ITS研究会資料，No.ITS-15-023, pp.1-7, 2015