

鉄道構造物の維持管理に関する最近の研究開発

館山 勝*

Recent Research and Development on Maintenance Technology of Railway Structures

Masaru TATEYAMA

The Structural Technology Division has been researching practical technology related to maintenance of railway structures. The principal subjects of the research activity consist of high quality inspection technologies, sharp reduction of maintenance cost, and effective repair technologies for railway structures. This paper describes the recent trend of maintenance technology, several examples of the research results, and subjects of the research and development under way in the Railway Technical Research Institute.

キーワード：構造物，研究動向，メンテナンス技術，モニタリング，延命化技術

1. はじめに

鉄道は我が国の社会基盤施設として、いち早く整備がなされてきたことから、設計耐用年数を越えた橋梁やトンネルなどの老朽構造物を数多く抱えている（図1）。橋梁を例にとると、道路における平均経過年が30年弱であるのに対して鉄道では60年であり、鉄桁に限れば平均的取替時期である70年を越えるものが約2万5千連（全数の50%強）にも及ぶ。このように、これら老朽構造物の延命化、リニューアル化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。

▶ 鉄道構造物は他の社会基盤と比べて構造物の老朽化が顕著

▶ 特に鉄橋やトンネルでは既に60年を経過した老朽化構造物が多数存在

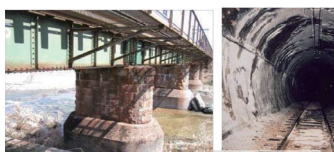


図1 鉄道構造物の老朽化の現状

このような状況下における鉄道構造物の維持管理に関する技術的要求を大別すると、「診断技術の高度化」、「保守作業のシステム化」、「老朽構造物の延命化」の3つが

挙げられる。また、これらの要求に応える技術上のキーワードとしては、取替技術の革新、アセットマネジメント、エキスパートシステムの活用、非破壊検査法、ICT技術による診断の合理化、リアルタイムヘルスマonitoringシステムなどが挙げられる。

以降は、これら維持管理に関する最近の研究開発について紹介する。特に、少し先の技術ではあるが、検査業務の大幅な効率化が可能となる「センサを用いた健全度診断技術」、「検査診断のシステム化」について紹介する。また、大幅なコスト削減や工期の縮減が見込める「鉄道施設の延命化技術」に対する取り組みについて紹介する。

2. 診断技術の高度化に関する研究開発

鉄道に限らず土木構造物は、コンクリートや鋼などの材料劣化、もしくは地震や降雨、地盤変位などの作用の変化に伴いその性能が低下する。このため現行では、2年毎に目視主体の全般検査²⁾が行われているが、橋梁下部工のように地中や水中に隠れた部材や橋梁の支承部のように見えづらい箇所については、目視による点検が困難な場合が多い。また健全度判定も、検査員の技量に依存しているのが実情であり、経験の多寡で結果にバラツキが見られる。そこで鉄道総研では、各種センサを用いたモニタリングシステムや非破壊検査法、自動判定を基本とした健全度判定システムの開発を進めている。

橋梁下部工の健全度を定量的に診断するシステムとして、「IMPACTシステム」が開発され、その後も改良を重ね、多くの方々に利用頂いている。図2は、センサからのデータを無線転送できるように改良したIMPACTⅢを示す。本システムは、橋脚や高架橋の天端に速度センサを配置し、重錘の打撃等で得られる振動応答波形を

* 構造物技術研究部 部長

特集：構造物技術



図2 IMPACT III

現地で速やかにフーリエスペクトル解析し、得られた固有振動数と標準固有振動数（健全な場合の固有振動数）を

比較することで健全度を定量的に診断する衝撃振動試験³⁾のサポートシステムである。

次に、高架橋やトンネル覆工などのコンクリート剥離検知は、至近距離での目視検査が行われているが、足場の問題から膨大な時間と費用を費やしている。特に新幹線トンネルでは、覆工コンクリートの剥落への対応から、10年を越えない範囲で特別全般検査が義務づけられているが、その検査は、現在、打音法によって行われており、検査技術者の大きな負担となっている。また、打音法は検査技術者の主観・技量に左右され、欠陥の定量的な評価が難しいのが現状である。そこで、鉄道総研では、J R 西日本、レーザー技術総合研究所、東京工業大学との共同により、コンクリート表面を加振用レーザーにより加振し、計測用レーザーの反射光と参照光の位相差からコンクリート表面の振動を計測することでコンクリート部材の欠陥を遠隔・非接触で探傷する「レーザー加振診断システム」⁴⁾の開発に取り組んでいる。図3にレーザーによる加振・受振システムの概要を示す。レーザーによる計測において、パワーの強いレーザーを用いているため、従来用いている反射板を必要とせず、コンクリート表面から数センチ奥の内部空洞や浮き等の発見が容易となる。本システムは現在、新幹線におけるトンネル覆工検査への適用に向けた改良が進められている。

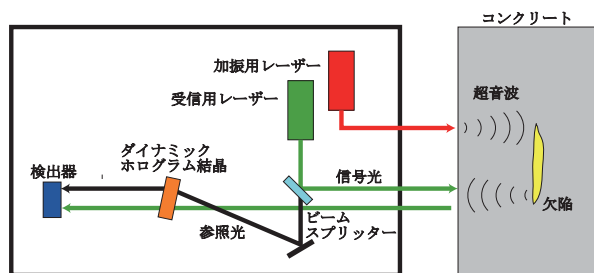
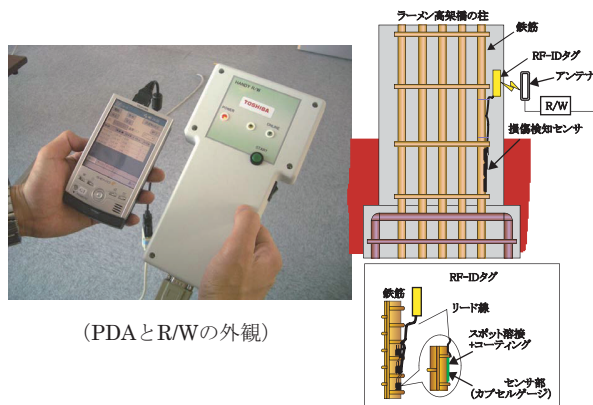


図3 レーザーによる加振・受振システム

また、基礎や地中梁などの損傷を検知する「地中部材の損傷検知システム」⁵⁾を開発した。本システムは、損傷検知センサ（ここでは、ひずみゲージ型センサ）とRF-IDタグ、リーダライタ R/W、制御・データ収集用 PDA により構成されている。図4に示すように、RF-IDタグ部は損傷検知センサのインターフェースとして、外部より電源供給を受けた際にひずみゲージの抵抗値を検出し

データを伝送する。パッシブ型のためセンサ部の電池交換等が不要で、RF-IDタグをコンクリートに埋設することが可能である。PDA 端末と R/W は地上で検査担当者が用いるもので、R/W から電磁誘導方式により RF-IDタグを起電させ、抵抗値の検出から収録までを行うことが可能となる。このため、センサ側は電源不要となる。現在、実構造物に試験的に取り付け、長期耐久性の検証を行っている。



(PDAとR/Wの外観)

図4 地中部材の損傷検知システム

3. 検査業務のシステム化に関する研究開発

鉄道総研では、既に鋼橋の健全度診断システムとして商品化がなされている「橋守システム」をベースに、(株)BMC と共同で高架橋やコンクリート橋梁の健全度診断システムを開発⁶⁾している。本システムは、測定システム、評価システム、データベースより構成されている。目視主体の全般検査の支援としては、目視検査支援システム、ひび割れ記録等の機能があり、図5に示すように携帯型端末を用いた検査の実施や、検査後の結果記録、報告書作成を支援する他、過去の検査履歴をリンクしたデータベースから呼び出すことができる。また、維持管理標準²⁾の判定基準、過去の同種変状の事例、対策事例なども表示させることができる。

本システムの有効な使い方としては、はじめに専門家

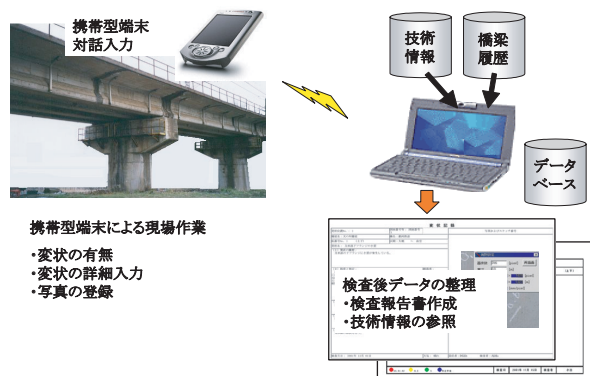


図5 目視検査支援システムの概念図

が全線の踏査を行い橋梁毎に弱点箇所を把握し、検査の着目箇所や処方箋を記録したカルテを作成し、データベース化する。それをもとに現場の検査員が全般検査を行うことにより、検査の際には検査員が重要な変状を見逃す恐れが少なくなり、安全性の向上が期待できる。

また、トンネルについても健全度診断の自動化の研究を進めている。開発したシステムは「Tunos」⁷⁾として商品化されており、撮影画像や電子化された変状展開図等の検査記録、およびトンネル諸元、地形地質、構造、補修履歴等の基本情報を入力することにより自動的に変状を抽出し、変状原因の推定および健全度診断ができるシステムである（図6）。

本システムを用いることにより、全般検査の省力化が図られるだけでなく、変状を自動診断することにより、経験の少ない技術者でもより精度の良い分析が既存の検査データからできる。このシステムは、光ファイバーによるトンネル覆工常時監視システム等、最新の検査技術から得られたデータも取り入れて判定できるように構築されている。



図6 トンネル健全度診断システム

一方、検査業務の抜本的な合理化に関しては、センサネットワーク技術の進展が期待される。鉄道総研では「設備管理業務へのセンシング技術・ITの適用」に関する研究を2005年度から実施し、その成果として昨年度、図7に示す構造物ヘルスマonitoringシステム⁸⁾を提案した。本システムは、橋梁やトンネル、土構造物、駅上家など、列車の走行安全を阻害する可能性のある箇所に無線センサを配置し、指令所や走行中の列車にデータ伝送するシステムである。現在、センサやシステム全体への信頼性に対する検証として、所内ネットワークを構築し、計測データの蓄積を行っている。

本システムは、将来的には検査業務の完全無人化を目標としているため、システムの信頼性確保が必須となる。その一つとして、MEMSなどによる低価格センサを開発し、高密度計測を行うことが有力と考える。つまり、1つ1つのセンサの信頼性に頼るのではなく、多点に計測することにより、異常値と実際の挙動をマクロに識別

する技術である。このためには、低価格・無電源センサの開発、データ伝送量の圧縮技術、データマイニング技術の確立などが必要となる。



図7 構造物のヘルスマonitoringシステム

4. 延命化に関する研究開発

鉄道施設は道路などと比べて老朽化の程度が進んでおり対象箇所が多数に及ぶとともに、補修や部分的取替程度では対応できないことも多い。また、鉄道のリニューアル工事における制約条件としては、営業線下における安全な施工が挙げられ、このような条件下において、安くて効果的に補強効果が得られる工法開発が求められている。

例えば鉄道の山岳トンネルには、石・れんが・コンクリートブロック積み覆工などが相当量存在する。このような老朽トンネルにおいては変形が進み始め、建築限界とトンネル覆工との離隔がほとんどないものも多く、繊維シート接着工法による補強事例が増加している。しかしながら、繊維シート接着工法は接着材硬化までに剥離する恐れがあり、列車走行の阻害が懸念される。そこで、図8に示すFRP製の帯板とネットを用いた新しい内面補強工法⁹⁾（「帯板接着工法」と呼ぶ）を開発した。本工法はFRP製の帯板とネットとを組み合わせただけであり、覆工の耐力向上には帯板が、剥落防止には帯板およびその間に設置するネットが寄与する。

一方、図9に示すように、老朽橋梁は常時や地震時において種々の課題を有するが、少し大規模な橋梁を架け替えようとした場合には、仮線を構築し老朽橋梁や橋台を撤去し、新設するという手順で行われるが、その費用は莫大となる。そこで、営業線下において、老朽橋梁の支承部をそのままコンクリート等で固め、橋台背

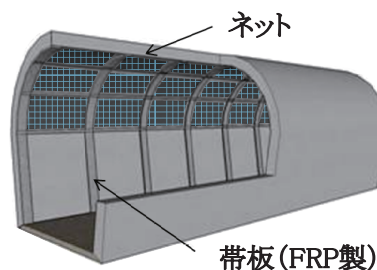


図8 帯板接着工法

特集：構造物技術

面盛土は地山補強材を設置することにより、従前の片持ち式橋台・単純桁方式から、補強土橋台・ラーメン橋梁方式に構造変更¹⁰⁾する老朽橋梁延命化技術を開発した。この工法は、隅角部の負曲げによって桁断面力を半減させ、老朽鋼桁を延命化しようとするものであり、「既設盛土一体化橋梁」と呼ぶ。このような大胆な発想による技術提案が待たれている。

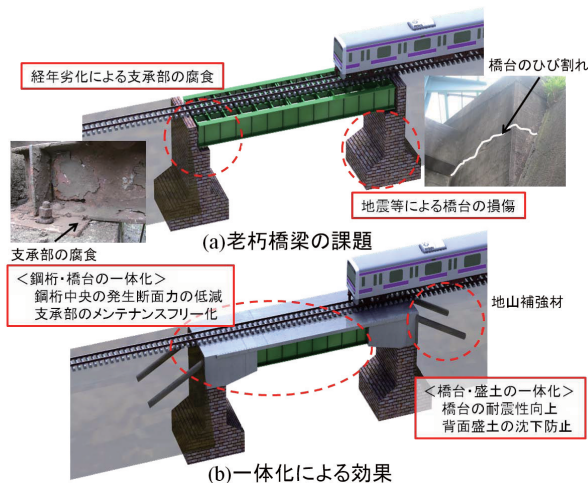


図9 老朽鋼桁・橋台のリニューアル技術

また、高架橋のリニューアルに関しては、兵庫県南部以降、柱の耐震補強などが概ね終了しているが、さらに老朽化が進むと部分的な処置では対処できなくなることが予想される。そこで、老朽化が著しい高架橋への大規模リニューアルに対応するために、柱の取替技術、梁や床版の補強技術の開発を進めている。梁の補強工法として既にアーチサポート工法¹¹⁾を開発しているが、現在、床版も同時に補強することについて検討している。これによりスラブ面の剛性が高まるため、副次的効果として列車振動や騒音の低減に寄与すると考えている。経済的で施工性のよい工法開発は必須であるが、副次的な効果も含めたリニューアル効果を定量的に示すことができれば、さらに需要は増えると考えている。

5. おわりに

鉄道構造物の維持管理に関する研究開発の状況について述べてきた。しかしながら、鉄道施設の維持管理は、事

業者サイドの都合のみで行うのではなく、利用者の理解と合意のもとで実施されるべきものである。最近、補強の必要性や補強戦略、資金配分計画などを考える手段として、リスクマネジメントやアセットマネジメント手法の適用が検討されている。鉄道総研でも研究を始めているが、実用の段階に至っていない。データに基づいた不具合発生項目や発生確率の精度、被害損失の定量化が不十分なためであろう。これらの問題は短期間では解決できないが、施設の維持管理を考える上ではハード、ソフト両面での研究開発が重要となる。

文 献

- 1) 舘山勝：鉄道における健全度診断と延命化対策，基礎工，Vol.39, No.5, 2011
- 2) 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
- 3) 西村昭彦，棚村史郎：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究，鉄道総研報告，Vol.3, No.8, 1989
- 4) 篠田昌弘，大村寛和，御崎哲一，島田義則，内田成昭：レーザー加振によるコンクリート部材の非破壊検査法の開発，鉄道総研報告，Vol.23, No.12, 2009
- 5) 佐藤紀生，渡辺義大，羽矢洋，大村寛和，磯野純治：ITを活用した設備検査システム，RRR，Vol.65, No.11, 2008
- 6) 曾我部正道，佐藤勉：既設コンクリート構造物の健全度評価システムの開発，RRR，Vol.59, No.7, 2002
- 7) 津野究，小島芳之，栗林健一，蒲池秀矢：トンネル健全度診断システムの開発，平成16年度土木学会全国大会 第59回年次学術講演会 概要集，6-086, 2004
- 8) 野末道子，土屋隆司，篠田昌弘，渡辺義大，佐藤紀生：鉄道構造物の常時・異常時モニタリングシステムの開発，鉄道総研報告，第24巻第10号，2010
- 9) 岡野法之，植村義幸，小島芳之：FRP帯板を用いたトンネル覆工の内面補強工法の開発，鉄道総研報告，Vol.23, No.12, 2009
- 10) 白仁田和久，舘山勝，神田政幸，小島謙一，渡辺健治：桁・橋台・盛土一体化（ラーメン構造化）による延命化工法の提案，第45回地盤工学研究発表会，2010
- 11) 田所敏弥：アーチ型鋼材を用いたラーメン高架橋梁の補強工法の開発，鉄道総研報告，第25巻第2号，2011