

構造物の保全技術に関する 現状と研究開発の取り組み



神田 政幸
Masayuki Koda

構造物技術研究部 部長
[専門分野] 地盤工学, 基礎工学

安全で安定した鉄道輸送を提供するため、多数の鉄道構造物のメンテナンスを継続的、かつ的確に実施することが求められています。また、建設後長期間経過した鉄道構造物が増加する現状を考慮すると、予防保全に基づくメンテナンスの重要性がますます高まるとともに、メンテナンスの効率化への期待も増しています。そこで、最近の鉄道構造物の保全技術の現状と課題をあげ、鉄道総研が取り組む鉄道構造物の保全技術として、変状をとらえる検査・診断技術の例を概説し、最後に今後の取り組みを紹介します。

鉄道構造物の保全技術の現状と課題

鉄道構造物のストック量は、橋りょう（橋長1m以上）が約10万橋、トンネルが約4700本に及び、建設からの経過年数は平均で60年超となっています。道路などのほかの社会基盤施設のそれが30年超であることと比較すると、鉄道構造物の経年はより進行しています¹⁾。

鉄道構造物においては、ほかの分野

の社会基盤施設に先がけて予防保全の概念に基づいた維持管理を1970年頃から実施してきました。これは、定期的な検査を行い必要なものに対策を行う「時間計画保全」を柱としたものであり、鉄道構造物については「土木建造物取替の考え方」²⁾として基準化されました。また、構造物の検査・診断を専門に実施する「構造物検査センター」が全国の鉄道管理局に配置され、1987年の国鉄分割民営化後もこの体制がJR各社に引き継がれました。ところが、1999年に山陽新幹線の福岡トンネルなどで発生したコンクリート片剥落事故を教訓として、鉄道構造物の保全のあり方が強く問われ、検査体制の見直しや新技術の開発・導入を飛躍的に進める契機となりました。そして、2007年に国土交通省鉄道局より「鉄道構造物等維持管理標準」³⁾⁴⁾が制定され、新たな鉄道構造物のメンテナンス体系が確立されました。

一方、2012年の笹子トンネルでの天井板崩落事故を契機に、社会基盤施設の保全のあり方が喫緊の課題であることが再認識され、2013年6月に安倍

内閣で「日本再興戦略：アクションプラン（安全・便利で経済的な次世代インフラの構築）」が、2013年11月には国土交通省で「インフラ長寿命化基本計画」が策定されるなど、社会基盤施設の再生・安全推進の方向性が示されたのは承知のとおりです。

鉄道では、事故につながりかねないコンクリート片などの剥落事象の発生を完全に防止するには至っていないことから、国土交通省鉄道局では、2013年より「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、「鉄道構造物等維持管理標準」のメンテナンス体系の確実な実行のための方針を2014年に取りまとめました（図1）。これによると、①コンクリート片などの剥落事象については、着眼点・事例、予防措置などのよりきめ細かな維持管理を記載した手引きを策定し、新設構造物対応の「鉄道構造物等設計標準」に維持管理に係る内容を追加し、②講習会などによるメンテナンス技術力を維持・向上させ、③メンテナンスの高度化、合理化に結び付く技術開発を支援するなどの3点になります⁵⁾⁶⁾。こ

- 手引きを策定し、鉄道事業者に配付
・鉄道構造物における剥落事象の発生を予防するために必要な事項を体系的に整理
・変状を把握するための着眼点や変状に応じた措置などの事例を整理
- 剥落事象の発生状況等を踏まえ、当該手引きを適宜見直し
- 鉄道構造物等設計標準に、維持管理に係る内容を追加
- 鉄道構造物の維持管理の講習会の実施等の技術力の維持向上について支援
- 新技術を用いた構造物の維持管理の高度化、合理化に資する技術開発等を支援

図1 鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議による検証結果（国が講ずべき措置）⁵⁾

れを受けて、①②については2017年9月に「コンクリート片等の剥落対策に係る手引き」⁷⁾が策定され、2017年12月より国土交通省鉄道局主催により、全国の運輸局で、全鉄道事業者を対象に講習会を実施しています。同時に、上記③にあるように鉄道を取り巻く社会環境の変化を見据え、鉄道構造物の維持管理を高度化(適正化)、合理化(効率化)させるため、近年発展の著しい画像やICT技術などを活用した状態監視技術や、劣化予測によるライフサイクルコストの低減技術や、安価な補修・補強およびリニューアル技術などが求められているところです。

鉄道構造物の保全技術の取り組み

経年の進んだ鉄道構造物を安全かつ効率的に維持するための研究開発として、①「状態監視、診断技術の高度化(認知)」¹⁾、②「劣化、変状の予測法(予測)」²⁾、③「リニューアル技術の低コスト化(対策)」⁸⁾の3つの項目に重点を置いた取り組みを行っています(図2)⁹⁾。この内、①②に関わる、鉄道構造物の現状および将来の変状をとらえる技術に着目し、とくに材料の経年劣化要因が主体の橋りょう・トンネルの事例を概説します。

(1) 橋りょうの変状をとらえる

PC桁はあらかじめコンクリートに圧縮力を与え、列車通過時でも通常曲げひび割れは発生しません。しかしながら、施工時のグラウトの充填不良により雨水が進入し、PC鋼材が腐食し、破断に至り、曲げひび割れが発生する場合があります(図3)。このひび割れは微細で、列車通過時のみ桁下面に瞬間的に発生するものです。したがって、PC桁の外観検査からは変状把握はできず、列車通過時においてPC桁下面の曲げひび割れの発生、および位置を把握できれば、再現解析からPC橋りよ

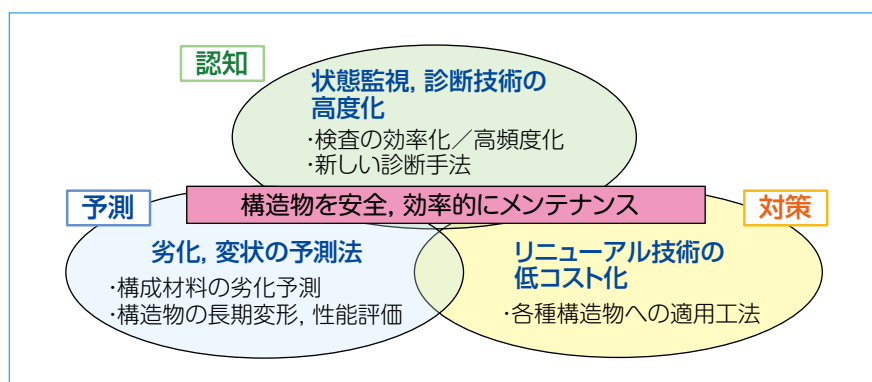


図2 鉄道構造物の維持管理に関する研究開発の取り組み⁸⁾



図3 列車通過時のPC桁の曲げひび割れの発生¹⁰⁾

うのメンテナンスを行う上で重要なPC鋼材の破断数・位置、およびPC桁の残存耐力を推定することができます。

鉄道総研では、曲げひび割れ発生時にOFFになる導電性塗料を用いた回路で、ひび割れの発生およびその位置を検知できるモニタリングシステムを開発しました¹⁰⁾。通常、導電性塗料はON/OFFでひび割れの発生が検知できるものの、検知したひび割れの位置は把握できません。開発したセンサー部は、ひび割れ幅が0.2mm程度で破断する検知部Aと、2mm程度で検知する検知部B(0.2mmのひび割れは検知しない)の2種類の下塗り材・中塗り材(導電性塗料)・上塗り材の組み合わせを設定し、施工精度が一定となる品質管理方法も定めました(図4)。すでに試験的に実PC桁に設置し、約1年程度正常にモニタリングシステムが稼働しています。

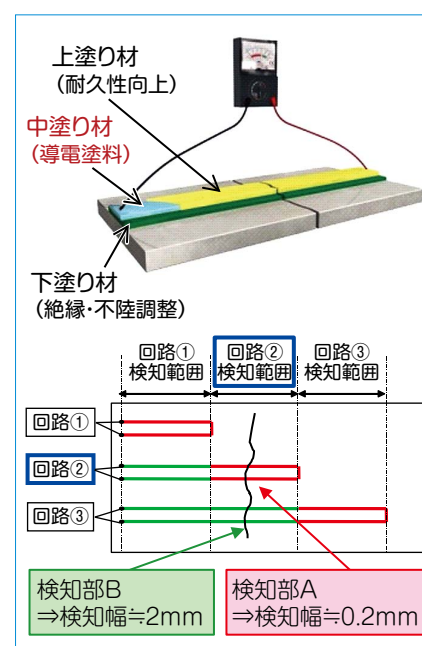


図4 導電性回路の概要¹⁰⁾

一方、膨大なコンクリート構造物を少ないリソースで維持管理する必要がありますが、その技術的な解決策のひとつに劣化予測によるコンクリート構造物の補修・補強費の適正化があげられます。鉄道総研では、材料・施工・環境に関する詳細な調査を行うことなく、現地のコンクリート構造物表面の剥落などの画像情報から、劣化予測を行う手法を開発しました(図5)。本手法は、実際に生じた変状を基に、既往の劣化予測モデルを用いた逆解析から、実態に即した鉄筋腐食速度を推定することで、コンクリート構造物の劣化予測を行うことができます。

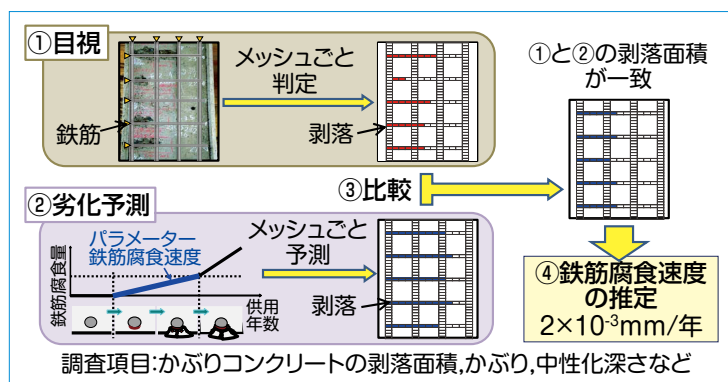


図5 コンクリート構造物の劣化予測法

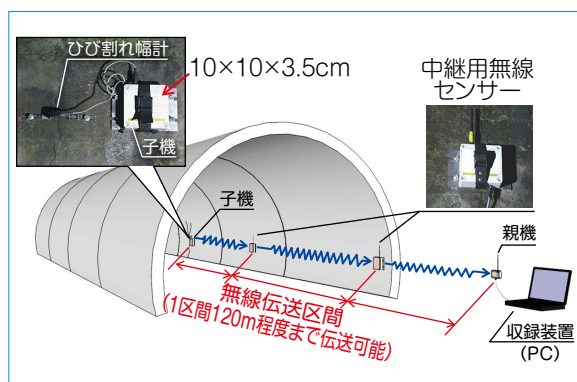


図7 変状トンネルの無線センサーによるモニタリングシステム¹¹⁾

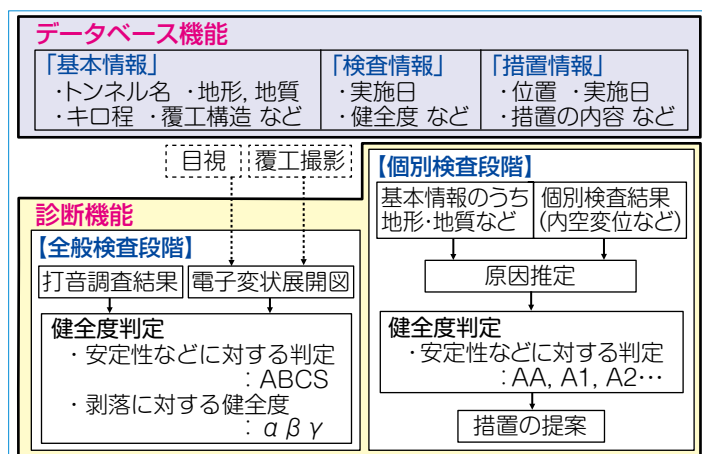


図6 トンネル健全度診断システム (TUNOS)¹¹⁾

検査・診断技術(全般検査・個別検査)

- ・検査技術者の技術力の低下
- ・検査コスト増, 補修・補強コストの増が懸念

全般検査: 健全度A増⇒個別検査増
個別検査: 劣化予測など未実施, 事後対応

画像技術の導入

構造物の経時変化(劣化など)を早期に精度よく把握

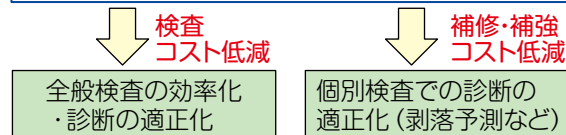


図8 将来を見据えた構造物の検査・診断技術に関する取り組み

(2) トンネルの変状をとらえる

鉄道トンネルでは、覆工の目視検査あるいは画像撮影から作成される変状展開図、および打音検査結果から安全性などに対する健全度 (A, B, C, S), および剥落に対する健全度 (α, β, γ) を診断し, Aあるいは α と判定した場合, 措置が必要となります。しかしながら, この健全度診断そのものが個々のトンネルの担当者によって実施され, さらに健全度診断が総合的判断のため, 診断結果にばらつきが生じる課題がありました。

鉄道総研ではトンネルの健全度を自動的に判定することが可能なトンネル健全度診断システム (TUNOS) を開発しました¹¹⁾。本診断システムはトンネル諸元などの基本情報, 検査情報, 措置の履歴などを蓄積するデータベ-

ース機能を有しています。トンネルの電子変状展開図をもとに, 打音検査が必要な箇所を提示し, その後実施される打音検査結果などをもとに, 剥落に対する健全度の判定を自動的に実施します。また, 安全性などに対する健全度の判定を電子変状展開図から自動的に実施します。その後, 個別検査により得られる詳細調査結果をもとに, 変状原因の推定, 詳細な健全度判定, 対策工の提案を行うフローとなっています(図6)。

一方, 変状トンネルでは変状の進行性の有無を監視することを目的としたモニタリングが必要となります。鉄道総研では, 無線センサーによる低コストなモニタリングシステムを開発しました(図7)¹¹⁾。本モニタリングシステムは, すでに複数の変状トンネルに導入されています。

今後の検査・診断技術の取り組み

鉄道総研では, 将来を見据えた鉄道構造物の検査・診断方法のあり方について議論を始めました。

鉄道構造物の検査・診断技術では, 個々の検査技術者の技術力や経験に頼る仕組みとなっています。検査技術者の技術力の低下は, 全般検査における健全度A判定の増大や, 劣化予測も含めた適切な個別検査の未実施による補修・補強時期の逸脱が生じ, 検査コストや補修・補強コストの増大につながります。鉄道総研では, 画像技術の導入による検査コストの低減を図る「全般検査の効率化・診断の適正化」, および補修・補強コストの低減を図る「個別検査での劣化予測も含めた診断の適正化」の研究開発に取り組んでいます(図8)。後者については, 上述した「コ

ンクリート構造物の劣化予測法」を発展させ、将来のコンクリート構造物の使用性・安全性に関わる性能照査、および最適な補修・補強計画の策定に結び付ける予定です。

図9に鉄道構造物の全般検査・個別検査の将来イメージと、これを実現させる「全般検査の効率化・診断の適正化」に寄与する技術を示しています。現状では、全般検査として個々の担当者がすべての構造物を巡回し、遠方からの目視検査によって健全度を判定することから、安全側に健全度A判定が増加する傾向にあります。このため、個別検査量が多くコストと時間を要することが指摘されています。

これに対して、将来的に目視検査に画像取得技術を導入することにより、全般検査として巡回した際に、画像データを取得し3次元バーチャル構造物がデジタルデータとして構築できれば、専門技術者を現地に派遣することなく、バーチャル構造物に対して、入念な目視検査を実施することで、全般検査の効率化と適正化により、個別検査の数量を削減させ検査業務のコストと時間の低減に結び付けられると考えられます¹²⁾。現在、画像計測から3Dデータ変換可能なプロトタイプシステムの構築段階にあり、全般検査の検査速度(画像取得時間)を維持しつつ、詳細3Dデータの取得が可能か、取得不可能であれば検査速度をどの程度低下させる必要があるかなどの基礎性能を検討しているところにあります。ただし、画像取得技術(撮影速度と画素数)は、現在も向上・進展している技術領域であり、上記の基本性能や画像取得機器・媒体の大きさも、年単位で格段に改善されています。今後、構築したプロトタイプを用いて、鉄道事業者・鉄道系コンサルなどを交えた試行期間を踏まえ、修正・改良・各事業者

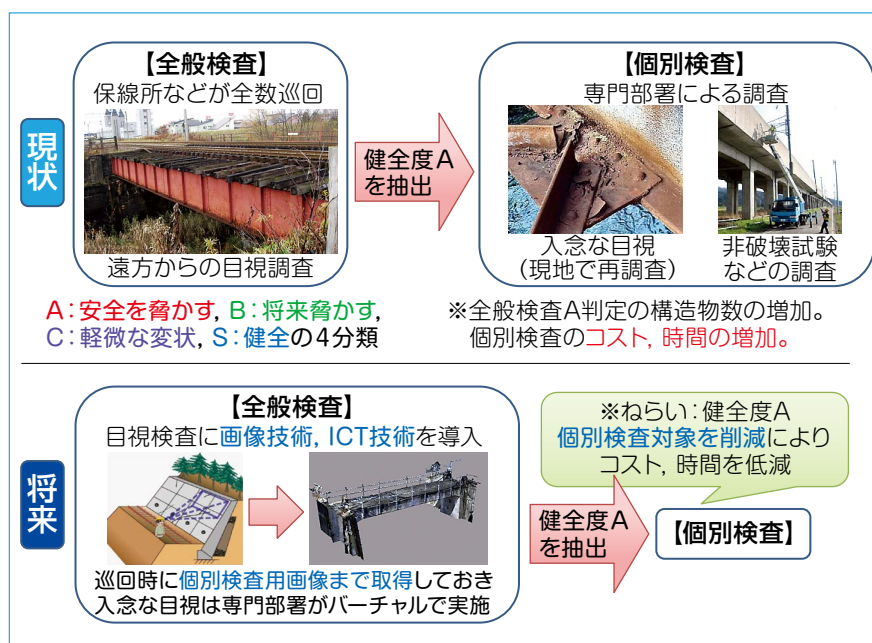


図9 鉄道構造物の全般検査・個別検査の将来イメージ

対応のカスタマイズ検討を加え、同時に運用方法・体制の検討も進める予定です。

おわりに

鉄道構造物の検査・診断技術を向上させるには、技術のみならず、運用方法・体制などの仕組みづくりも含めた幅広いアプローチが必要です。大手事

業者のみならず、中小事業者も手軽に活用できる簡易な技術を開発し、共有、あるいは各社の検査・診断体制に合わせた個別カスタマイズなども可能で、鉄道構造物のメンテナンスのために多くの事業者が共有・協力できる仕組みづくりが重要で、必要不可欠と考えています。【RRR】

文 献

- 1) 小島芳之：鉄道施設の検査・診断技術の最前線, RRR, Vol. 74, No. 2, pp. 4-7, 2017
- 2) 日本国有鉄道施設局土木課：土木構造物の取替の考え方, 日本鉄道施設協会, 1974
- 3) 鉄道総合技術研究所編(国土交通省鉄道局監修)：鉄道構造物等維持管理標準・同解説【構造物編】、丸善出版, 2007
- 4) 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
- 5) 国土交通省鉄道局：鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証結果について(平成26年11月25日)、報道発表資料, http://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo07_hh_000078.html(入手日:2018/7/31)
- 6) 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, pp. 77-81, 2015
- 7) 国土交通省鉄道局：コンクリート片等の剥落対策に係る手引き, 2017.11
- 8) 小島芳之：鉄道構造物の維持管理とリニューアル技術, RRR, Vol. 73, No. 1, pp. 4-7, 2016
- 9) 佐藤勉：鉄道構造物の劣化予測とメンテナンス技術の革新, 第29回鉄道総研講演会要旨集, pp. 10-15, 2016
- 10) 中島進, 仁平達也：鉄道構造物の変状をいち早くとらえる, RRR, Vol. 74, No. 11, pp. 8-11, 2017
- 11) 津野究, 西金佑一郎：トンネルの健全度を診断する, RRR, Vol. 74, No. 2, pp. 12-15, 2017
- 12) 新名恭仁, 野中秀樹, 笹田航平, 小林裕介, 西岡英俊, 長峯望：多視点画像三次元モデルの土木構造物維持管理への適用に向けた新たな試み, 土木学会第72回年次学術講演会, VI-967, pp. 1933-1934, 2017.9