

経年が100年を超える鉄道路木構造物の維持管理

鈴木 尊・友利 方彦・高橋 武志

鉄道路木構造物の維持管理は鉄道が開業した1872年から始まっており、現在供用されている鉄道路木構造物で最も古いものは、経年120年を超えている。これらの構造物は、定期検査を行い適切に修繕することで、長寿命化が図られている。特に、構造物の特性に合わせた修繕方法や検査方法を取り入れることが重要であり、例えば鋼橋のピントラス構造におけるアイバー短縮による修繕、鋼橋とトンネルにおける非破壊検査の導入などが挙げられる。

変状の早期発見と早期措置により長寿命化を図るため、鉄道路木構造物の維持管理においては、変状の早期発見のためにメンテナンスシナリオを作成する等、新たな取組みを始めている。

キーワード：鉄道路木構造物、ピントラス、トンネル、覆工、非破壊検査、メンテナンスシナリオ

1. はじめに

現在わが国は人口減少時代を迎え、高齢化も速いスピードで進んでいる。このような現状を踏まえると、限られた財源を有効活用することが必要であり、効率的・効果的な社会資本整備が求められる。

そのためには、今ある社会資本をできる限り長持ち（長寿命化）させる必要がある。鉄道における土木構造物は膨大な数量が存在し、毎日繰り返し列車荷重を受けている。この様な状況下長きにわたり供用し続けるために、定期的に検査を実施し、その結果に基づいた適切な措置を実施してきた。鉄道においては、いわゆるアセットマネジメントが話題となる以前から、その概念と同義の取組みを実施してきたといえる。

本稿では、高経年の鉄道構造物の維持管理に関する取組みについて、具体的な事例を交えて紹介する。

2. 鉄道路木構造物の特徴

鉄道路木構造物の維持管理の歴史は、1872年にわが国で初めて新橋～横浜間（現在の汐留～桜木町）に鉄道が開通したと同時に始まった。その後、鉄道は日本全国にくまなく建設され、現在は全国に約28,000kmの路線が敷設されている¹⁾。主な構造物は、橋りょうが約88,000箇所、高架橋が約7,600箇所、トンネルが約3,600箇所となっている²⁾。これらの構造物を建設年別に表したものが図-1（橋りょう）、図-2（トンネル）である³⁾。これによると、橋りょうの平均経年は50年を超えており、トンネルは60年を超えていることがわかる。

明治時代に建設された鉄道路木構造物は現在も使用されており、橋りょうを例にとっても、財務省令で定める法定耐用年数（コンクリート橋：50年、鋼橋：40年）を超えた構造物が多く存在している。これら

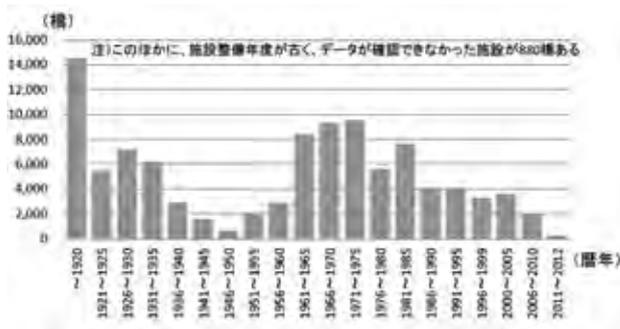


図-1 鉄道路木構造物の建設年別橋りょう数³⁾

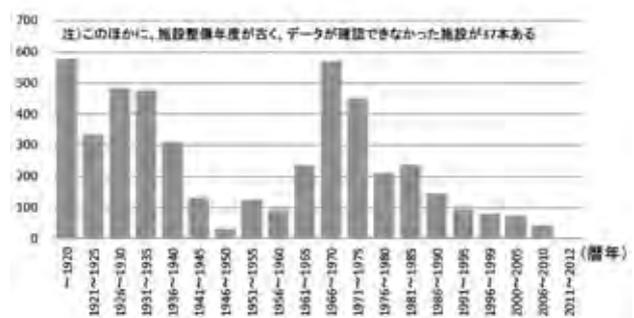


図-2 鉄道路木構造物の建設年別トンネル数³⁾

の鉄道構造物を単純に取り替えるのではなく、適切に検査・措置し、長寿命化を図ることが今後一層必要とされている。

3. 鉄道土木構造物の検査

鉄道土木構造物の維持管理については、国土交通省令である「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」で定められており、更に解釈基準により検査方法等が明記された「鉄道構造物等維持管理標準」によることとされている。また、「施設及び車両の定期検査に関する告示」により検査周期が明示されている。

検査は表一1に示すように初回検査、全般検査、個別検査、随時検査に分類される。それぞれについて以下に述べる。

(1) 初回検査

構造物の初期状態の把握等を目的に、新設工事、改築・取替を行った構造物の供用開始前に行う検査である。検査方法は入念な目視とするが、構造物の実状を考慮して、必要に応じて目視以外の方法を用いることもある。

(2) 全般検査

構造物の状態を把握し健全度の判定を行うことを目的に、定期的実施する検査である。全般検査は通常全般検査(人と言う定期健康診断)と特別全般検査(人

と言う人間ドック)に区分され、通常全般検査は変状等の有無およびその進行性を把握することを主な目的とし、特別全般検査は健全度判定の精度を高めることを目的としている。

通常全般検査は2年を基準期間として定期的実施するものであり、特別全般検査は構造物の特性、環境に応じて適切な時期に実施するものとし、各事業者で設定している場合がある。なお、告示により新幹線トンネルについては10年ごと、在来線トンネルについては20年ごとに実施することになっている。

通常全般検査の検査方法は目視を基本とし、特別全般検査の検査方法は入念な目視を基本としている。これらの検査により変状を確認した場合は、表一2の判定区分により構造物の健全度を判定する。

(3) 個別検査

全般検査や随時検査で健全度がAランクとなった構造物を対象に、より詳細な検査を実施し、変状原因、変状の進行性を把握し精度の高い健全度判定を行う検査である。個別検査を実施し、変状の対策案を検討し、措置計画の立案を行うこととしている。

(4) 随時検査

大雨や地震等により、変状の発生もしくはおそれのある構造物を抽出することを目的として、必要に応じて実施する検査である。

表一1 鉄道構造物の検査種別

検査区分		検査周期	検査方法	目的
初回検査		供用開始前	入念な目視検査	初期状態の把握
全般検査	通常全般検査	2年に1度	目視検査	変状等の有無および進行性の把握
	特別全般検査	適切な時期	入念な目視検査	健全度判定の精度向上
個別検査		必要の都度	目視検査	変状原因の推定と対策の立案
随時検査		必要の都度	目視検査	変状等の有無および進行性の把握

表一2 構造物の状態と健全度判定区分

判定区分	土木構造物の状態
A	運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはそのおそれのある変状等があるもの
	AA 運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状等があり、緊急に措置を必要とするもの
	A1 進行している変状等があり、土木構造物の性能が低下しつつあるもの、または大雨、出水、地震等により、土木構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2 変状等があり、将来それが土木構造物の性能を低下させるおそれがあるもの
B	将来、健全度Aになるおそれのある変状等があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

4. 構造物検査の具体的な取組み

これまで述べてきたように、現在供用されている鉄道構造物には高経年構造物が多くあるが、これは定期的な検査を継続的に実施し必要に応じた修繕を実施してきた結果と考えられる。ここでは、構造物の種類別に特徴的な維持管理事例を紹介する。

(1) 橋りょうの維持管理における取組み

現在供用されている鉄道の橋りょうで最も古いものは、2008年に土木学会選奨土木遺産に認定された、左沢線羽前長崎・南寒河江間にある最上川橋りょうである(図-3)。この橋りょうはピントラスであり経年は120年を超えているが、適切な修繕を実施してきたことにより、現在も健全な状態で供用されている。以下にピントラス橋りょうにおける維持管理事例について紹介する。

(a) ピン結合トラス橋りょうの維持管理⁴⁾

明治から大正初期にかけて架設された鉄道トラス橋は、斜材(引張材)にアイバー(格点部分のその形状から eye-bar と呼ばれる)を、格点にピンを用い、ヒンジ構造としたトラス理論に忠実なピン結合トラス(以下、ピントラス)であった。これらは、イギリス、アメリカ、ドイツなど国外で設計、製作したものを輸入した橋りょうである。ピントラスは列車通過時の振動が繰り返された結果、ピンやピン孔が摩耗しアイバーの弛緩やトラスの振動を助長するなど、ピン結合構造特有の不具合が顕著となってきた。そのため1910年以降のトラスの新設設計では、ピン結合からリベット結合に改められ、多くのピントラスが姿を消したが、一部の地方線区では建設後100年を経過した現在でも、必要かつ適切な維持管理の結果、健全な状態を維持している。一例として、JR東日本が管理するピントラス橋りょうの一覧を表-3に示す。

ピントラスの維持管理は、以下の構造上の課題を踏まえて実施する必要がある。

①ピン結合の可動部分を持つことから橋りょう全体の剛性が小さく振動しやすい。

②ピン結合部の摩耗変形や斜材アイバーの変状が直接トラス全体の耐荷性能へ影響しやすい。

そのため、ピン部および斜材アイバーのピン孔の摩耗や、その影響による斜材アイバーの弛緩や変形などの変状が生じやすく、放置するとアイバーのき裂や折損に至る可能性がある。したがって、長寿命化のためには弛緩したアイバーを短縮、再緊張し、2本の斜材の応力バランスを調整することが必要となる。

鉄道事業者では、これまでに複数の橋りょうでアイバー短縮を行い、ピントラス橋りょうの長寿命化を図ってきているところである(図-4)。



図-3 最上川橋りょう(1886年製作)



図-4 アイバー短縮修繕

表-3 JR東日本のピン結合トラス

線名	橋りょう名	連数	製作	形式	桁長(ft)
左沢線	最上川	5	1886	下路ダブルワーレントラス	150
米坂線	第四荒川	1	1911	下路シュエドラートラス	200
磐越西線	一の戸	1	1908	上路ボルチモアトラス	200
同上	阿賀野川釜の脇	1	1911	下路キャメルバックトラス	300
同上	蟹沢	1	1911	上路ボルチモアトラス	200
同上	阿賀野川徳沢	1	1911	下路キャメルバックトラス	300
同上	沢尻	1	1912	下路プラットトラス	150
大糸線	第一姫川	1	1912	下路シュエドラートラス	200

(b) 非破壊検査による維持管理 (BMC システム)

鋼橋の代表的な変状としては、腐食と疲労が挙げられる。しかし、腐食がどの程度桁の耐荷性能に影響しているのかは目視検査では評価できない。また、疲労はき裂として現れるまで目視検査では確認不可能である上、疲労がどの程度累積しているかは目視検査では評価できない。そこで、これらの性能低下が懸念される鋼橋について、鋼橋総合診断システム (BMC システム) を活用して鋼橋の性能の定量的評価・診断を行い、重大変状の予防や対策の優先順位の策定に役立てている。

①耐荷性能の評価

桁の断面および現地にて測定した腐食量を元に現在保有する耐荷性能の評価を行う。

②耐久性能の評価

設計上および構造ディテールから疲労き裂の発生が懸念される箇所の応力測定を実施し、累積疲労損傷度の算出、疲労き裂発生寿命予測を行い、耐久性能の評価を行う。

BMC システムは鋼橋の維持管理手法として定着しており、これまでに多くの鋼橋において診断が行われている。計測状況を図一五に示す。



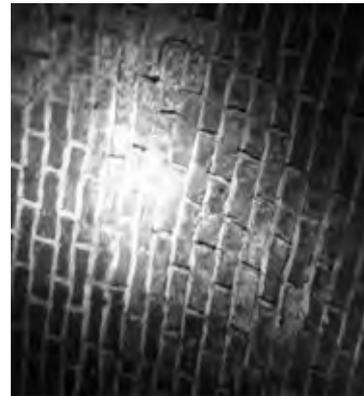
図一五 応力測定状況の一例

(2) トンネル維持管理における機械化の取組み

現在供用されている鉄道トンネルで最も古いものは、1887年に供用を開始した東海道本線保土ヶ谷・東戸塚間にある清水谷戸トンネル (図一六) である。既に経年は120年を超えているが、煉瓦トンネルの目地修繕を適切に実施してきたことにより (図一七)、健全な状態で供用されている。このように適切な修繕を行うことで構造物の長寿命化が図られているが、トンネル検査では、トンネル内面の目視と打音が主な調査方法となることから、各社において機械化の取組みが進められている。ここでは、JR 東日本に導入されているトンネル覆工表面撮影車とトンネル覆工内部検



図一六 清水谷戸トンネル (左側)
(1887年供用開始)



図一七 目地修繕状況

査車について紹介する⁵⁾。

(a) 目視調査を補完する技術 (トンネル覆工表面撮影車)

トンネル検査における目視を補完する目的で導入されたのがトンネル覆工表面撮影車: Tunnel Lining Scanning Car (以下 TuLIS と言う) である。TuLIS は、トンネル覆工表面状態を記録するレーザ計測装置を搭載する検査車であり、幅 1 mm 以上のひび割れが検知できる能力を有している。レーザ照射ユニットからレーザ光をトンネル覆工表面へ照射し、反射光の微妙な輝度の強弱を光センサユニットで検出し、覆工表面を撮影する。撮影状況を図一八に示す。最高 8.5 km/h の速度で撮影することが可能であり、撮影された画像を基に変状をトレースすることで、変状展開図を作成する。画像のサンプルを図一九に、変状展開図を図一十に示す。TuLIS の導入により、これまで暗いトンネル内で覆工を見上げて実施していた展開図作成作業が事務所内での作業に変わり、検査者の負担軽減につながっている。

(b) 打音調査を補完する技術 (トンネル覆工内部検査車)

トンネル検査における打音を補完する目的で導入さ



図-8 TuLIS 撮影状況



図-11 CLIC 計測状況

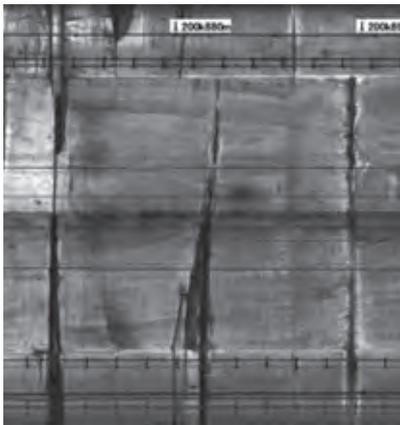


図-9 TuLIS 撮影画像

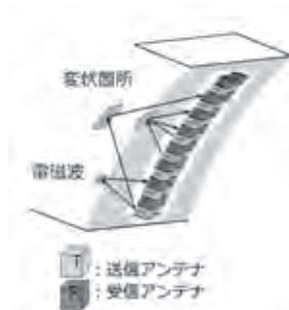


図-12 マルチパスアレイレーダ



図-10 TuLIS 展開図

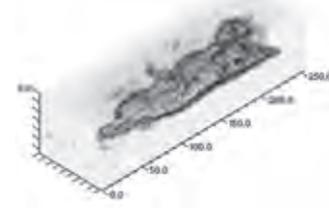


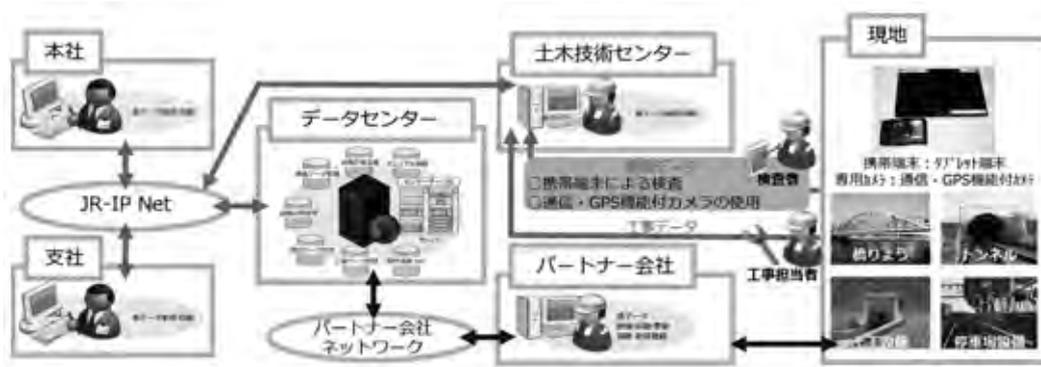
図-13 CLIC 反応結果

れたのが、トンネル覆工内部検査車：Concrete Lining Inspection Car（以下 CLIC という）である。CLIC はトンネル覆工内部の状態を電磁波レーダにより非破壊で計測する検査車で、最高 3.5 km/h の速度で計測することが可能である（図-11）。CLIC の電磁波レーダはマルチパスアレイレーダと呼ばれ、送信アンテナ 16 個と受信アンテナ 16 個を組み合わせ 256 通りの信

号を得ることで、覆工内部の状態を 3 次元で把握することが可能となっている（図-12）。CLIC により得られた 3 次元データの鳥瞰図を図-13 に示す。CLIC の導入により覆工内部の状態を把握できるようになり、TuLIS より得られた展開図と合わせることで、覆工の状態を総合的に判断することが可能となった。

(3) 記録・保存

構造物の検査結果は、確実に記録したうえで、長期にわたり保存する必要がある。各鉄道事業者ではシステム化を進めているが、例えば JR 東日本では、変状を記録した写真や図面も含め 1994 年に導入した「土木構造物管理システム（MARS）」（図-14）に記録・保存している。



図一 14 土木構造物管理システム (MARS)

このシステムには、検査記録のほかに、設備台帳として構造物の諸元や図面、変状に対する補修・補強工事の履歴なども収められている。また、検査計画や工事計画の策定機能も有し、構造物の維持管理に必要な情報を一元管理している。

5. おわりに

鉄道土木構造物の経年は今後さらに進行し、高経年構造物が増加していくことになる。法定耐用年数を越えた構造物を全面取替することは、工事に伴う列車運行への影響やコストの観点を考慮すると、一般的な維持管理方針とは言えず、変状の早期発見と早期措置により長寿命化を図っていくことが、基本的な考え方である。

変状の早期発見に向けた課題としては、同一の構造形式のものは同一の維持管理手法でよいということだけでなく、構造物が構築されている路線の輸送量や列車速度、環境、建設時の状況、経年等の個別な事例に応じて、構造物毎のメンテナンスシナリオを作成していくことが重要である。構造物ごとの弱点を正確に把握した上で、高精度かつ効率的な検査を行うことが必要であると考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 鉄道統計年報, (4) 営業キロ及び走行キロ表, 2014年
- 2) 国土交通省, 鉄道統計年報, (8) 停車(留)場・線路建築物・立体交差・枕木数量及び道床延長表, 2014年
- 3) 国土交通省, 社会資本の老朽化の現状, 各社会資本の老朽化の現状(鉄道), 2013年
- 4) 三宅浩一郎, 土木構造物の長寿命化 鋼鉄道橋における長寿命化への取組み事例, 土木施工, 51, 5, 30-34, 2010年4月
- 5) 阿部伸吾他, JR東日本における専用車両を用いた鉄道構造物の検査, 建設機械, 53, 5, 25-31, 2017年5月

【筆者紹介】



鈴木 尊 (すずき たかし)
東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター
地下・トンネル構造グループ グループリーダー



友利 方彦 (ともり まさひこ)
東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター 次長



高橋 武志 (たかはし たけし)
東日本旅客鉄道(株)
設備部 構造物管理グループ 副課長