

鉄道のメンテナンスに関する研究開発の動向

佐藤 勉 (鉄道総合技術研究所)

Recent Research and Development of Railway Maintenance Technology
Tutomu Sato, (Railway Technical Research Institute)

Railway Technical Research Institute has carried out research and development of technology with respect to maintenance and repair of railway facilities. This paper describes briefly several examples of subjects of the research and development for maintenance technology. Furthermore, the author introduces the prospects of the maintenance technology for railway facilities in the paper.

キーワード：鉄道，維持管理，研究，開発

Keywords：Railway, Maintenance, Research, Development

1. はじめに

安全で安定した鉄道サービスを提供するためには，多数の設備や車両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る。鉄道のメンテナンスの重要性はますます高くなっており，設備や車両の長寿命化や検査・措置の効率化などのコスト低減への要請も大きい。ここでは，鉄道のメンテナンスの現状を踏まえ，鉄道総研におけるメンテナンスに関する研究開発の取り組み状況と今後の課題について述べるものとする。

2. 鉄道総研におけるメンテナンスに関する研究開発

鉄道メンテナンスに関する研究開発は，これまで劣化・損傷のメカニズムの解明，検査・診断技術の自動化・高精度化，維持管理計画策定手法，効率的な補修・取り替え技術，メンテナンスフリー構造の開発と材料の長寿命化に関するものなどが行われてきた。これらの成果は，検査から措置に至る作業のシステム化や長寿命化等によって，低コスト化につながられていると考えられる。最近では，IT 技術の利用による検査の自動化・省力化，さらには設備の状態監視といった効率化を目指した研究開発が各分野で行われつつある。

鉄道総研におけるこれまでの研究開発対象例を表 1¹⁾に示す。構造物の分野では，検査診断技術が多く，軌道分野では，検査診断技術や構造・材料の耐久性向上が主体で，劣化メカニズム・補修取り替えも多い。車両分野では，劣化メカニズム解明と材料長寿命化が多く，電気分野では，特

に電車線に関する検査診断技術や構造・材料の耐久性向上が多い。また，鉄道総研では，平成 17 年度から平成 21 年度までの基本計画—RESEARCH2005—における将来指向課題として，設備管理業務へのセンシング技術・IT の適用，集電系の高精度化に関する研究，省保守・低騒音新形式軌道の開発等のメンテナンスに関する課題を実施してきた²⁾。

以下に平成 21 年度終了した将来指向課題の概要および構造物を中心としたメンテナンスに関する研究開発の一部を紹介する。

2.1 設備管理業務へのセンシング技術・IT の適用³⁾

情報通信技術，センサ技術を活用し，鉄道設備の常時および異常時の様々な挙動を検知する新しい検査，監視技術の開発をめざした研究開発を行ってきた。常時のモニタリングの目的としては，目視で確認しづらい箇所の検査，発生した変状の継続的監視，定期的に実施される全般検査の補完などが挙げられる。一方，異常時に関しては，災害に伴う設備の異常発生早期検知，地震時の損傷発生箇所や損傷程度の迅速な把握などが考えられる。また，モニタリングシステムの運用のためには，センサ単体ではなく，センサから対象設備の管理箇所などへデータを伝送するネットワークやデータを集約するデータベースの構築も必要である。

センサ群とデータ伝送システムとを組み合わせたモニタリングシステムを実施する場合のイメージを図 1 に示す。図 1 では，監視目的に応じて様々なセンサが沿線設備に設置され，計測されたデータがさまざまな通信手段で指令・管理箇所などに伝送される様子が示されている。センサから管理箇所までのデータ伝送手段については，データ量，リアルタイム性などに応じて選択する必要がある。

表1 鉄道総研におけるメンテナンスに関する研究開発 (例)¹⁾

技術分野	車 両	構 造 物	軌 道	電 気
劣化・損傷メカニズム (予測・防止策)	フラット防止装置 (旅客車用、貨車用) 車輪摩耗測定装置 (セラジェット) 台車枠疲労損傷防止装置 車門用IC寿命評価 主電動機改良型グリースポケット	コンクリート診断・抑制・補修法 (アルカリ骨材反応、塩害) トンネル内鉄バクリア汚泥発生抑制剤	レールシェリング予防防止手法 レール・レール継目部寿命予測・延伸法 車輪・レール摩擦熱システム (フリモス)	トロッポ線状摩耗対策 トロッポ線オーバーラップ構成診断手法 新型転てつ減摩器 電子機器腐食対策
検査・診断技術	ディーゼル機関非解体診断法 (油分析法) 中実・中ぐり車輪超音波探傷法 軸受け寿命評価・非解体検査法	コンクリート構造物健全度診断システム 鋼構造物健全度診断システム 衝撃振動試験法 (インパクト) 非接触振動測定システム (Uトッブラー) トンネル検査診断エキスパートシステム 覆工変位検知装置 (トンネルスキャナ) トンネル健全度診断システム 斜面・のり面健全度判定法 河川増水の橋脚基礎安定性評価法	マイクロボックス 新幹線長波長軌道狂い管理手法 レール頭頂面短波長凹凸管理手法 2台車高差軌道検査車 営業車搭載軌道検査装置 (慣性正矢法) レール溶接部超音波探傷法・判定基準	トロッポ線摩耗測定装置 (ナトリウム式、固体レーザ式) 電線腐蝕劣化判定装置 パンタグラフ接触力測定法 電線データ処理装置 (交流式) レールポイント接合部超音波診断法
検査・補修計画策定手法		構造物管理支援システム 設備管理図面自動作成システム	設備管理図面自動作成システム	マルチ運用計画策定支援システム
補修・取替技術		コンクリート吹付け修復工法 (ジョシクリート、ポリマー系) 変位トンネル補強・補修マニュアル	スラブ軌道補修マニュアル 現場施工型接合部補修工法 復元原形による軌道整備方法 軟弱路盤対策 (ブリッツ工法)	剛体電車線用切替装置
メンテナンスフリー構造・材料の長寿命化	長寿命ゴム製部品 (軸ばね、ホース) すり板 (焼結合金、カーボン系) 合金鋼鉄制輪子 スーパータービン油 主電動機絶縁軸受け 直接駆動方式主電動機 全閉形永久磁石同期主電動機	高強度コンクリート・鉄筋の適用 鋼構造物防食塗装系	合成まくらぎ 改良有道床弾性まくらぎ ラダーまくらぎ軌道 E型鋼製軌道 土路盤上スラブ軌道 アスファルト路盤直結軌道 ロングレール連通型道床 (金田線・分岐器区間) 耐シェリング用ベイトナイト鋼レール レールガス圧接法の改良	高強度架設構造 長寿命トロッポ線 (CS、PHC) 無線列車制御システム (カラット) 分離形転てつ機

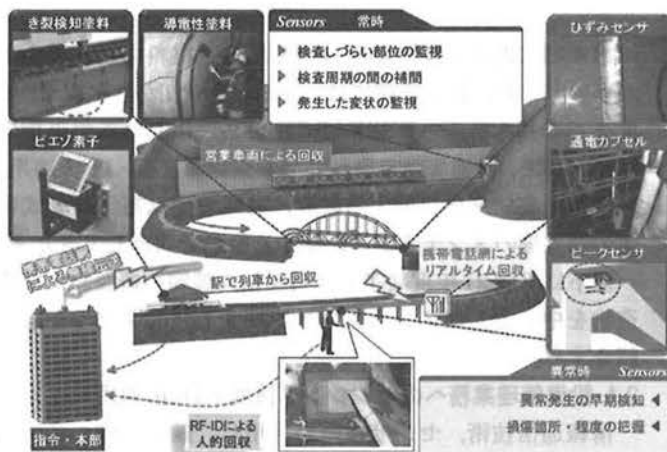


図1 モニタリングシステムの適用イメージ

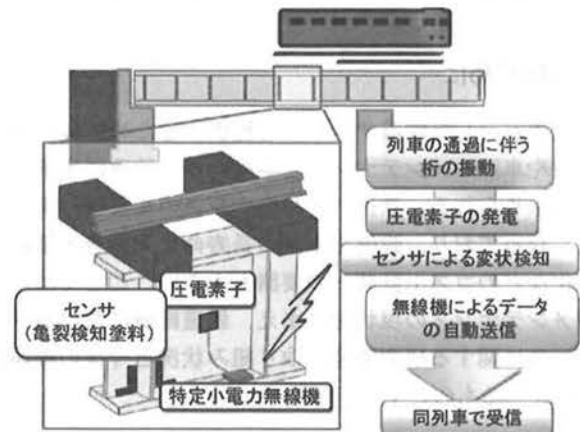


図2 圧電素子の発電によるデータ伝送例

データの取得方法に関して、異常時など緊急性の高い状況での利用が想定されるセンサについては、計測したデータを携帯電話網や自営通信網を用いて継続的かつ遅滞なく、指令や設備の管理箇所に送る必要がある。一方、それほど緊急性が高くないデータの場合には検査員が定期検査の際に、RF-ID（無線タグ）と読取装置を用いてデータを取得するといった方法も考えられる。その他のデータを取得手段としては、設備の近傍を通過する列車でデータを回収する方法も考えられる。この方法は大掛かりな地上設備が不要であること、携帯電話のような通信費が不要であることなどの利点があり、一定の伝送遅延が許容される場合には有効である。図2は鋼桁の疲労亀裂の有無およびその進展を把握するために設置された導電塗料センサのデータを回収するシステムである。このシステムでは列車通過に伴う桁の振動を用いて圧電素子が発電し、その電力を用いて変位検知と列車へのデータ送信を行うものである。

2.2 集電系の高性能化と保守の高度化に関する研究⁴⁾

300 km/h 超の速度域における集電系の保守量増加を抑制することを目的に、良好な集電性能を維持するための架線の管理手法、トロッポ線の張替寿命の延伸、パンタグラフ

の特性を改善する手法などの研究開発を進めてきた。

トロッポ線の架設誤差は、集電性能に大きく影響することから、架設誤差を低減するための新しい支持構造として、トロッポ線の引き上げりを従来の 60%程度に低減できる新型金具と、支持点高さの不整を容易に調整できる機構を備えた支持構造を開発した (図3)。

また、トロッポ線の耐疲労性向上には、材質自体の改良のほか、断面形状を変更して同一の負荷における曲げひずみを低減する方法がある。トロッポ線の断面形状に関しては、断面積を大きく変えず、しゅう動面側半径を同一としたまま曲げひずみを低減するために、中立軸から上面までの距離を小さくすることを主眼に断面上部の形状を検討した結果、ひずみを約 10%低減する断面形状を提案した (図4)。

2.3 省保守・低騒音新形式軌道の開発⁵⁾

新設線では省力化を指向した直結軌道が多く採用されているが、環境対策およびバラスト軌道の保守コストの削減をさらに進めることが望まれている。新設線を対象として保守管理作業を軽減し、環境に配慮したレール埋込型の省保守・低騒音新形式軌道を提案した。

新形式軌道の断面模式図を図5に示す。レール埋込型の

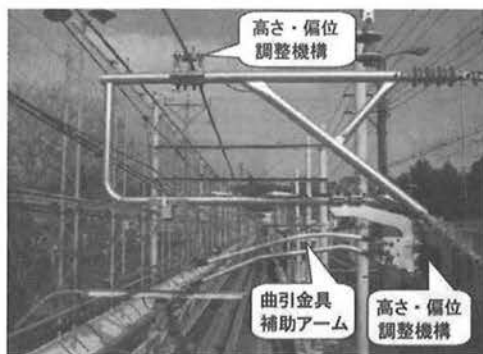


図3 架設誤差低減のための支持構造

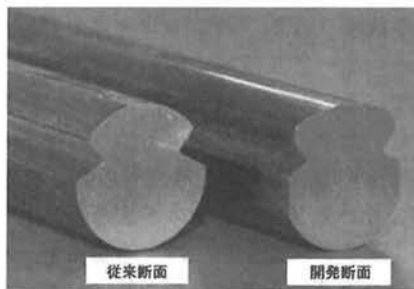


図4 トリ線線の断面形状

新型式軌道用に考案した新断面形状レールは、レールの頭部幅と底部幅を同じとし、腹部を厚くしている。これは、頭頂面からほぼ全断面の探傷が可能で、レール探傷車によるレール底部のき裂検知を容易とし、き裂が発生しても早期に検知可能とすることを目的にしている。また、レール頭部高さを高くして鉛直方向の摩耗余裕を大きくするとともに、シェリングなどの転がり疲労損傷を積極的に予防削正し、レールの使用寿命の延伸を狙っている。

また、図5に示す箱形ブロックおよびレール押えブロックは、短繊維補強コンクリートを用いたプレキャスト材であり、箱形ブロックの周りも短繊維補強コンクリートを用いた上部路盤を現場打設する。新型式軌道の施工法として、土構造物上に下部路盤施工後、予め製作した箱形ブロックを建設する軌道に合わせて精度よく設置した後に上部路盤を打設し、最後に箱形ブロック内に新断面形状レール、レール押えブロックおよび弾性材などを設置するものである。

実用化にあたっては、実際の車両による繰り返し走行試験などにより、期待している機能、使用材料の挙動や建設コストなどを確認する必要があると考えている。

2.4 構造物分野における研究開発の例

(1)鉄筋コンクリート構造物の劣化予測

コンクリート構造物の劣化のうち耐荷性能にも影響を与える鉄筋腐食について見ると、塩害や中性化による鉄筋腐食の開始時期、腐食ひび割れの発生時期はある程度推定できるようになってきている。また、腐食ひび割れ発生以降の腐食速度など、研究すべき課題も残されているが、鉄筋コンクリート構造物の劣化予測法について実用的な提案が

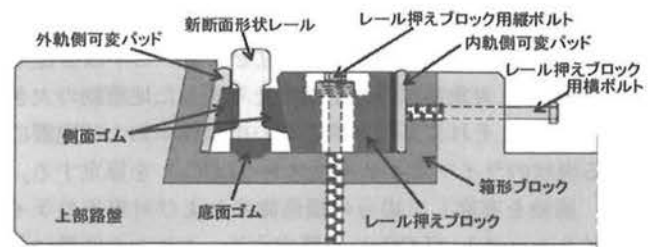


図5 新型式軌道の断面模式図

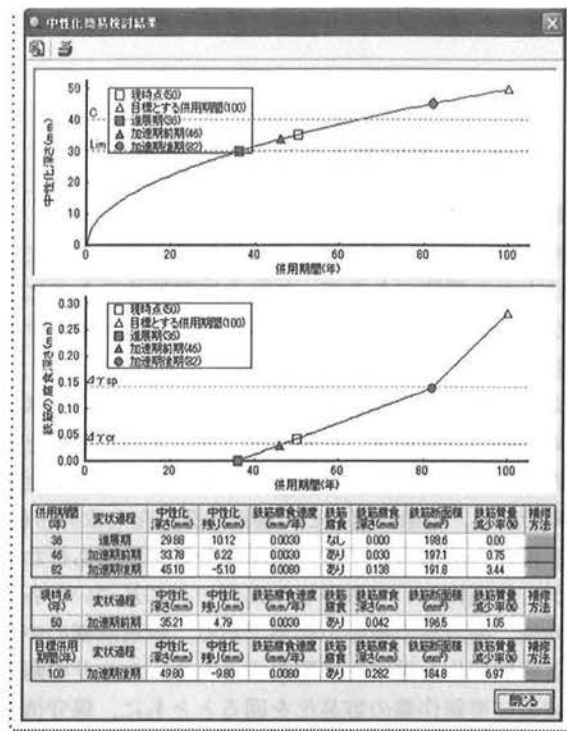


図6 鉄筋コンクリートの劣化予測の例

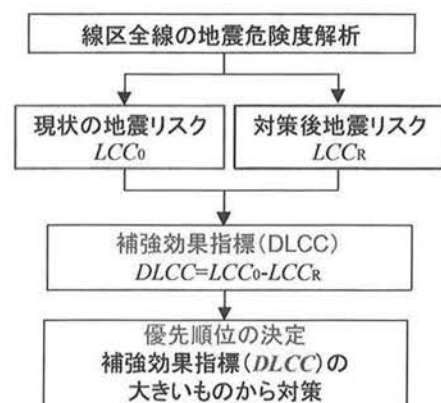


図7 DLCC算定フロー

行われている⁶⁾(図6)。このような劣化予測法の確立により、構造物の余寿命判定、適切な補修時期の選定が定量的に可能になるものと考えられる。

(2)既設構造物の耐震対策の優先度の判定方法

線状に延びる鉄道施設の効果的な耐震補強を行うためには、補強の優先順位や補強工法の選択について合理的な戦略を立てる必要がある。そこで、地震による復旧性の観点

から、地震対策前後のライフサイクルコストの差分(DLCC)が最大となるように、補強優先順位を決定する手法を提案した(図7)。対象路線の発生確率を考慮した地震動の大きさを予測⁷⁾し、それに基づき構造物の損傷確率および地震に対する現状のライフサイクルコスト(LCC₀)を算定する。次に、補強を実施した場合の損傷確率および対策後のライフサイクルコスト(LCC_R)を算定する。これらの結果に基づきDLCCを算定する方法である。提案手法を用いることで、対象とする路線の運行条件、地震条件、地盤や構造物条件に応じた補強優先度の判断に活用できるものと考えられる。

3. 今後の研究開発の取り組みと課題

(1)設備の状態監視技術の高度化

今後のメンテナンスにおいて、技術者不足ならびに技術継承は大きな問題であるが、これらに対処するためには、点検から診断にわたってシステム化・省力化を推進することも必要である。

例えば、様々な設備を対象としたモニタリングシステムは、対象物の計測項目、計測部位、センサの精度など、対象物の計測技術の確立や計測データに基づく状態変化予測が必要であり、対象設備ごとに検討の深度化も求められる。状態監視の方法については、様々な分野で検討も行われているが、鉄道において取得した実データに基づいた各手法の有効性、妥当性の検証が必要である。鉄道設備の中長期に渡る状態変化を継続的に監視するため、センサの耐久性向上および更新作業の容易化を図るとともに、保守情報ネットワーク設計・運用の最適化技術の開発、さらに監視頻度の適正化等、合理的な状態監視手法の研究も必要である。

また、設備の点検・診断から措置に至る長期に渡るメンテナンスでは、膨大な量の情報が得られる。効率的にメンテナンスを行っていくためには、その情報をどのように管理し、どのように活用するかが重要である。劣化・損傷メカニズムの解明と検査・診断データの蓄積・分析により、高精度の経年変化の予測を可能とし、検査周期の適正化・延伸ならびに補修要否の適切な判断が効率的に実施されることにより、画一的な検査周期や保守基準の変革につながると考えられる。

(2)鉄道施設の効率的な補修・取り替え技術の開発

リスクマネジメント手法を用いて、鉄道施設のリスクの洗い出しや、補強・補修箇所の優先順位、補強・補修方法の検討、アセットマネジメント手法を用いて、メンテナンスに用いる資金の配分計画等を検討するといった、維持管理計画法の研究開発も必要である。

老朽施設に対しては、検査による監視を行い、劣化や損傷が進む部材に対しては補修による延命化処置を施し、さらに老朽化が進んだ場合には機能回復の観点から部分的補強や取り換え行われてきた。しかしながら、既存施設の機能や性能の大幅向上を目的とした、大規模リニューアル技

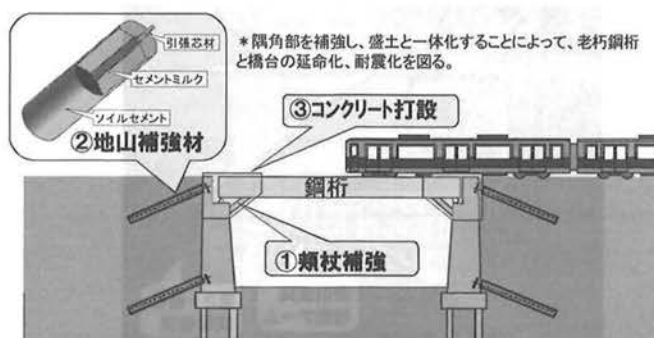


図8 既設老朽橋梁の延命化工法

術は確立されていない。例えば、既設土木構造物の構造形式を変更する技術(図8)⁸⁾やプレキャスト部材や異種部材を利用したリニューアル技術に関しては、設計・施工法の確立が必要である。一方、閑散線区は新しい技術を導入する余裕が少ないため、安全を担保しつつ、徹底した効率化を目指した維持管理手法の研究開発も必要と考える。

(3)境界分野におけるメンテナンス手法の適正化

鉄道のメンテナンス対象物には、車輪とレール、トロリ線とすり板等のように相互に影響を及ぼしあつて劣化・損傷を生じる部材が存在する。過去のメンテナンスでは、当該技術分野で対象とする材料・部材の強度向上や寿命延伸を直接的に図る技術開発が一般的であるが、今後は相互の影響を含めたトータルコストを低減するメンテナンス手法の研究が一層求められている。

4. おわりに

メンテナンスに関しては、特に現場の実態をよく理解するとともに、実態に即した情報に基づき、研究開発を進めていくことが重要である。また、鉄道のメンテナンスに関わる技術者の長年の経験・知識とデータの蓄積・分析の継続が、メンテナンス技術の発展にとって極めて重要である。加えて、鉄道事業者間における情報の共有も必要と考える。

なお、ここで紹介した研究の一部は、国土交通省からの補助金を受けて実施したものである。

文 献

- 1) 内田雅夫：鉄道総研におけるメンテナンスの研究開発の取り組みと展望, RRR, Vol.65, No.11, pp.2-5, 2008
- 2) 市川篤司：鉄道の将来に向けた研究開発, RRR, Vol.67, No.6, pp.2-5, 2010
- 3) 土屋隆司, 野末道子, 篠田昌弘, 小林裕介：センシング・情報通信技術により設備を管理する, RRR, Vol.67, No.6, pp.14-17, 2010
- 4) 清水政利, 網干光雄, 菅原淳, 池田充：高速安定集電に向けた架線・パンタグラフの技術, RRR, Vol.67, No.7, pp.22-25, 2010
- 5) 石田誠, 吉田眞：省保守・低騒音の実現に向けた新しい軌道構造, RRR, Vol.67, No.7, pp.14-17, 2010
- 6) 曾我部正道, 谷村幸裕：鉄筋コンクリート構造物の劣化を予測する, RRR, Vol.65, No.11, pp.30-33, 2008
- 7) 坂井公俊, 室野剛隆：地震危険度解析に基づく生起確率付地震動群の作成方法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.11-16, 2010
- 8) 館山勝：構造物に関する最近の研究開発, 第230回鉄道総研月例発表会講演要旨, pp.1-4, 2010.1