

第 21 回 国土技術開発賞 最優秀賞受賞

保線におけるモニタリング技術の
実用化と維持管理への応用

線路設備モニタリング装置を活用したメンテナンス手法の確立

〔受賞者〕 東日本旅客鉄道株式会社／株式会社日本線路技術

〔本稿執筆者〕 東日本旅客鉄道株式会社 嘉嶋 崇志, 元好 茂

株式会社日本線路技術 小松 伸也

以下に、第 21 回 国土技術開発賞 最優秀賞を受賞した「保線におけるモニタリング技術の実用化と維持管理への応用」を紹介します。

1. はじめに

JR 東日本は 2018 年 7 月にグループ経営ビジョン「変革2027」を発表した。本格的な人口減少社会の到来や移動ニーズの減少など厳しい経営環境が待ち構える将来を見据えることと、人工知能技術やネット社会の進展といった新たな環境変化に対応するために、なすべき指針である羅針盤が本ビジョンである。

このビジョンの中でも、安全で安定した輸送サービスの維持向上は、当社のブランド力の基盤であると位置付けている。さらに、シームレスな移動サービスの提供基盤となるべく、鉄道を質的に変革していく方針としている。

保線部門としては、これらを踏まえメンテナンス方法を革新し、“スマートメンテナンス”を実現することをその目標の一つと定めた。その核となる技術の一つが、モニタリング技術とモニタリングデータの分析である。

保線におけるモニタリング技術の実用化の大き

な目的は二点ある。第一は、軌道メンテナンスに状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）を導入したいというものである。保線の世界では、以前から専用検測車（写真－1）で、軌道のゆがみ（軌道変位）の測定を定期的の実施し、その結果に基づいて補修を行う方法を採用してきた。しかし、軌道はその劣化率が場所ごとに大きく異なるため、劣化と測定の時間スケールが合わない場所では、時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）や事後保全になっていた。つまり、字のごとく長い線状の構造物である線路をひと固まりとして、「平均的な劣化状態」に基づいて補修計画を策定してきたのであるが、種々の条件から CBM を導入することは困難であった。



写真－1 専用検測車

第二は、メンテナンスの生産性を高めたいということである。在来線の軌道は、初期建設費用を抑えるために一定の頻度で補修（軌道のゆがみを元に戻す「つき固め」による補修）することを前提に設計されている。また、列車から直接荷重を受ける構造物であるため、他の土木構造物よりも材料交換の頻度も高い。つまり、非常に短いメンテナンスサイクル（年に数回補修する場合もある）を持つ土木構造物である。

結果的にこれらに対応するために、目視点検（写真－2）も相当の頻度で実施せざるを得ないが、不具合を特定するために、全線を歩いて確認するという方法は生産性が高いとは言えない。また、当社社員の年齢構成は、約40%が50代以上で、40代は10%程度に過ぎない。つまり、経験の必要な目視点検も技術継承の課題に直面している。

さらに、目視点検には、見落としや個人差といった限界や触車リスクもある。必要な目視点検を代替する類似技術はないのが現状であり、軌道の不具合をモニタリングできれば、目視点検の生産性と品質、安全性向上を同時に図ることができる。

また、ムダな補修を減らし的確な補修計画を策定することで、補修回数を最適化し、鉄道事業者と施工会社の労働力不足に対応できることも期待できる。



写真－2 徒歩巡視の状況

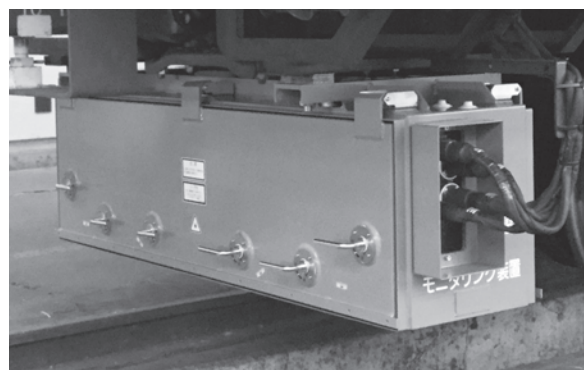
2. 技術の内容

本技術は、線路設備モニタリング装置を活用して軌道のモニタリングを行い、①CBMの導入、

②目視点検の生産性と品質、安全性の向上、③補修計画の最適化の三点の実用化を企図して研究開発したものである。特に、装置単体の開発に留まることなく、ビッグデータの処理、スクリーニング技術の確立、現場で活用するための線路設備モニタリングシステムの開発、装置の劣化評価に基づく装置自体の点検方法の確立等、パッケージ化も達成したものである。

(1) 線路設備モニタリング装置

最初に、当社が開発した線路設備モニタリング装置を紹介する。線路設備モニタリング装置は、軌道変位（線路のゆがみ）を測定する「軌道変位モニタリング装置」と、レール締結装置等の軌道の材料状態を画像として収録する「軌道材料モニタリング装置」で構成されている（写真－3、4）。



写真－3 軌道変位モニタリング装置



写真－4 軌道材料モニタリング装置

これらの装置を営業列車の車体床下に装荷することで、従来の検測車と比較してはるかに高い頻度で軌道変位データが取得できるようになっている。その結果、リアルタイムに軌道変位を把握で

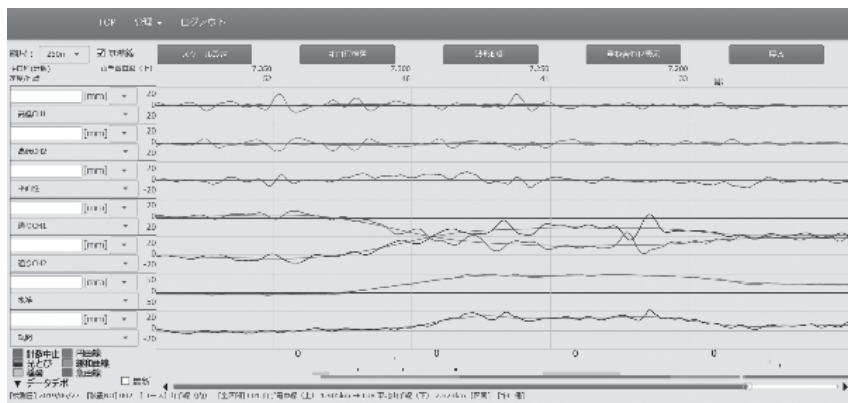


図-1 軌道変位の監視画面

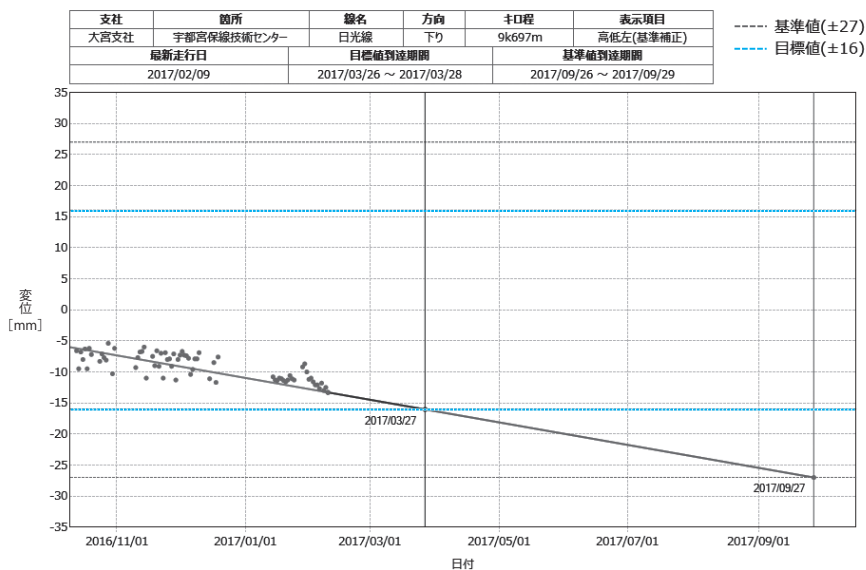


図-2 軌道変位の継時変化

きるとともに、その継時変化を追えるようになった（図－1，2）。また、レール締結装置や継目板ボルトといった重要部材の画像を収録することで、計10種類の不具合を遠隔で把握できるようになっている（写真－5，6）。

軌道変位モニタリングデータは、装置から携帯電話回線でクラウドに伝送している。軌道材料モニタリングの画像データは、容量が大きく無線伝送できないためSSD（可搬型記録媒体）に保存し、定期的にSSDを抜き取ってクラウドに伝送している。



写真-5 モニタリングデータ収録時

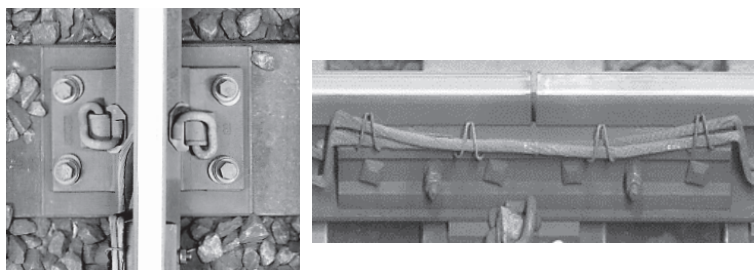


写真-6 軌道材料のモニタリング画像

(2) 装置以外における仕組み構築

線路設備モニタリング装置を車両に搭載し、データを測定することになるが、営業列車で測定するためには、無人測定の技術を確認する必要がある。営業列車は人身事故や踏切事故等に対応すべく、途中折り返し運転や後続列車の通過待ち等を行うため、それらに対応する仕組みが必要である。さらに、無人測定には異常値を検出した場合の自動除去機能も必要である。

そこで、地上に非接触通信デバイスを取り付け、その検知結果や装置に搭載した加速度センサーにより、無人で電源制御、走行パターン認識を行う技術を確認した。また、滑走、空転、後進時に生じる異常値を装置内演算装置で除去する仕組みを考案した。

営業列車で測定収録することにより、ビッグデータを取得することができる（例えば、山手線は1日に同一編成が15周以上する）。一方、実務で用いるためには、これらビッグデータに埋もれず、ビッグデータから必要な情報を選び出すスクリーニング技術が必要となる。

このようなデータクレンジングやスクリーニング作業を当社の保線技術者が行うよりも、専門の会社で一元かつ集中的に実施することが効率性やノウハウの蓄積の面からも良いと考え、グループ会社に線路設備モニタリングセンターを2016年12月に設立した。センシング技術や通信技術等の進展によりデータ自体を取得することは、以前と比較して相当容易になってきたが、IoTを実務に落としこむためには様々なノウハウの蓄積が必要である。

また、線路設備モニタリングセンターでは、装置自体の監視や保守も行っている。営業車両の床下は想像以上に過酷な環境であり、「モニタリング装置」の「モニタリング」が必要であったため、開発段階では想定していなかった装置の監視装置を追加して、安定稼働を図っている。

軌道変位データでは、過去データとの位置合わせが最も良好で（車両は空転・滑走するため、測定の都度位置がずれる）、異常データが最も少な

く測定距離が最も長いデータを、自動的にランキングし、ベストデータを抽出するシステムを編み出した。さらに、エッジ処理機能を持たせ、早急に修繕が必要な軌道変位が測定された場合に、速報できる仕組みを確認した。

軌道材料モニタリングデータでは、走行の都度収録する画像の中から最も品質の高いものだけを記録媒体に保存する機構を創出し、高頻度保存と記録媒体の小型化といったトレードオフを解決した。また、収録する部材は膨大で、数億個になるものもある。

そこで、部材の標高データとパターンマッチング技術で軌道材料不具合の自動抽出を非常に高い精度で実現した。さらに、不具合の自動抽出が難しい材料は、オペレーターが画像を目視確認するためのノウハウを確認するとともに、標準化することで経験の浅いオペレーターでも30日程度で対応可能なマネジメント体制を構築した。

また、遠隔監視の結果を線路の目視点検として取り扱うために、点検が必要な延長の測定有無を自動的に確認できるシステムを開発したことに加え、オペレーターの確認結果を保線技術が最終判断する仕組みを導入することで、点検結果の信頼度を高めた。

3. 技術の効果

本件を実用化したことで、大きく分けて6つの効果が現れることとなった。

(1) 機能維持

軌道の劣化状態を可視化や補修目安の到達時期予測に加え、緊急補修が必要な場合はメール通知されるため、タイムリーに補修することができ、お客さまの乗り心地が向上した（図－3、4）。

(2) コストダウン

CBMの導入により軌道の補修工事費用を削減できた。



図-3 アラートメール

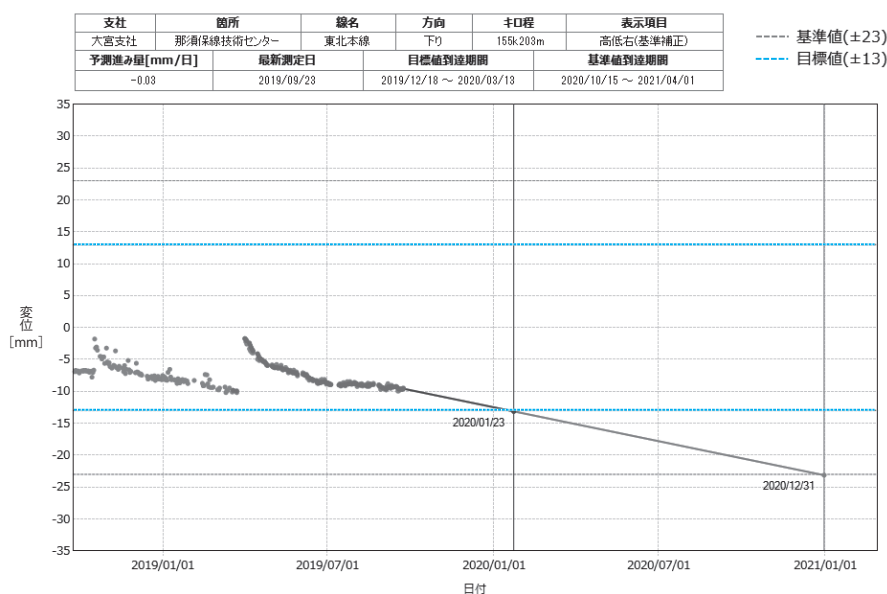


図-4 軌道変位の劣化予測システム

(3) 施工性

軌道補修工事の仕上がり状態を載荷状態で評価できるようになったため、工事品質の向上が図られた。また、大型補修機械の施工評価を行うことができるようになったため、その結果から、仕上がり不良が、施工に起因するものなのか、環境条件によるものなのか判別できるようになり、施工管理が効率化できた。本技術導入前はこれらを実施できていなかった。

(4) 効率化

軌道の目視点検を最大で「週1回」から「3か月に1回」と12倍効率化することができ、熟練技術者によらず、オペレーターによる効率的な目視点検方法確立した(写真-7)。

また、大型補修機械の運用計画を自動策定できるようになったため、計画策定の手間が大幅に減った。従前は、熟練技術者が年間計画策定に1週間程度、月間計画策定に1週間程度(年に2回程度)かかっていたものが、それぞれ1日程度で実施できるようになった。



写真－7 オペレーターによる目視点検

(5) 担い手

軌道の目視点検を効率化したことによって、要員の効率化が可能となった。また、目視点検の見落としや個人差も解消され、熟練の技術者でなくとも均質な点検ができ、点検の品質も向上した。さらに、列車間合いで実施する点検頻度が減ったため、安全性が向上するとともに、スクリーニングされたモニタリングデータを屋内で確認できるため、作業環境も改善した。

(6) 最適化

高頻度の軌道変位データを用いることで、大型補修機械の運用計画を最適化でき、その施工結果も自動的に評価できるようになったため、補修工法選択の支援ができるようになった。

4. おわりに

保線業界も労働力不足に直面しており、当社だけでも今後20年で20%程度の生産性向上が必要である。また、鉄道の安全性と安定性への社会的要求は益々高まっており、本技術の社会的意義は極めて大きい。当社に限らず、保線部門の生産性向上は鉄道会社にとって喫緊の課題である。さらに、列車荷重を直接受ける線路を保守管理している保線部門が担っている役割は極めて重要であり、更なる品質向上が求められている。

ここ数年のセンシング技術やデータ処理技術、ひいては人工知能技術の進展はかなり大きく、線路設備モニタリングの技術は生産性向上や品質向上に大きく寄与する潜在力が十分にあり、更なる発展が期待できる。