㉑ 営業車両を用いた軌道状態監視システムの構築

交通システム研究領域　※森 裕貴　佐藤 安弘　大野 寛之
日本大学　綱島 均
京三製作所　浅野 晃

1．はじめに

車輪がレールで案内されて走行する鉄道にとって、軌道の安全管理は重要である。その状況を把握し、事故に至る前に補修していく軌道保守が不可欠である。軌道検測車などの検査用車両により精密な軌道検査が可能だが、導入コストや維持管理などの点から走行頻度は非常に制限される。このような課題に対して、営業車両に簡易なセンサを付加し、営業運転を行いながら軌道診断を行う方法が考えられる。我々は、車両と非接続で軌道の状態診断が行えるプローブ車両を提案[1)]、地方鉄道向けの実用化を想定した信頼性の高い小型レール状態診断装置を日本大学、京三製作所と共同で製作した。

本稿では、小型レール状態診断装置の概要について述べ、営業車両による測定、軌道の診断、事業者へのフィードバック、軌道保守への活用までのサイクルを実現し、事業者とともに軌道状態監視システムを構築したので、その概要を紹介する。

2．小型レール状態診断装置

2．1．装置構成

小型レール状態診断装置の外観を図１に、構成図を図２に示す。本装置は、軌道変位による影響を検出する 3 軸加速度センサおよびレートジャイロ、列車位置や速度を算出する GPS、各センサ信号を記録・解析するソフトウェア、記憶媒体（SSD）で構成される。

本装置は車両から電源を得られないことを想定し、電源駆動およびバッテリー駆動の2種類を用意しており、バッテリー駆動でも約 6 時間の連続計測が可能である。また、携帯回線を利用した計測データの伝送機能や、騒音計を装置に取り付けて車内騒音を測定し、波状摩耗の状態を診断することも可能である。

2．2．軌道の診断指標

鉄道の安全を確保する上で、軌道変位を把握することは最も重要な検査項目の一つである。車体振動と軌道変位は高い相関があるため、車体振動の大きさを測定することは、軌道状態の大まかな傾向を得るために有効である。本研究では、加速度の振幅が軌道変位の大きさと相関を持つとし、加速度の RMS（Root Mean Square）値を指標として用いる。

2．3．経時変化と速度補正

振動加速度 RMS 値は、その経時変化に着目することで、軌道保守へ活用することが可能である[2)]。ただし、振動加速度 RMS 値は走行速度の影響を受け、速度の増加とともに大きくなる特性を持っている。通常、運転曲線等により速度曲線はほぼ一定になるが、各走行のばらつきや運用の都合により、走行速度が異なる場合が存在する。そこで、次式により走行速度による影響を補正する。

$$A^* = A\sqrt{V_{ref}/V} \tag{1}$$

ここで、V は走行速度、A は振動加速度であり、V_{ref} は基準速度（運転曲線など）である。A^*は補正後の振動加速度であり、この値を診断に用いることで走行速度の差を考慮した統計処理を行うことができる。

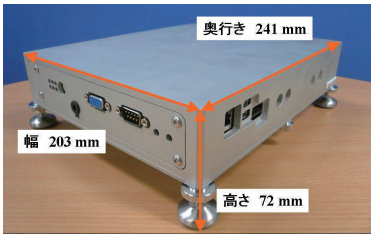

図１　小型レール状態診断装置外観

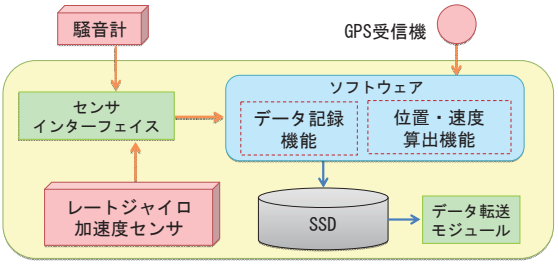

図２　小型レール状態診断装置構成

３．軌道状態監視システム

３．１．概要

軌道状態監視システムの概要図を図３に示す。本システムは、小型レール状態診断装置を用いた測定部、測定データを解析する診断部、そして、診断結果を実路線へフィードバックする行程で構築される。

診断部で解析された結果は事業者のもとに転送され、事業者はこの情報を参考に保守計画を立案することが可能になる。また、軌道状態の常時監視が実現されれば、管理基準値に対して異常に大きい振動が観測された場合、緊急に軌道を点検するなどの対応が可能になる。

３．２．診断ソフトウェア

測定から軌道保守までを効率的に実施するためには、測定から診断までの期間短縮、視覚化による診断結果提示などソフト面でのインターフェースの整備が必要である。そこで、GUI（Graphical User Interface）を用いた軌道状態診断ソフトを製作した。

本診断ソフトは、自動的に位置情報と RMS 値を算出し、走行速度とともにグラフ化する。また、閾値により軌道状態を駅間マップに色別に表示している。さらに、過去の計測データとの経時変化を比較する機能を有している。これは、軌道状態を時系列で評価することにより、時々刻々と変化する軌道の劣化箇所（要監視区間）を把握することができ、軌道保守計画の策定に用いることが可能となる。管理基準値は鉄道事業者ごとに異なるが、各事業者の管理基準値に合わせた変更が可能となっている。

４．システム検証

小型レール状態診断装置による測定を鉄道事業者の協力を得て、2012 年 9 月から 2013 年 5 月まで複数回に渡り実路線の営業車両で行った。図４に 2013 年 2 月までの測定結果の一例を示す。上下加速度の RMS 値にいくつかのピークがみられ、また、一部区間では経時変化が大きく、軌道の状態悪化の進行が懸念される。そこで、診断部において要監視区間を設定し、その評価結果を事業者へフィードバックした。

事業者において 2013 年 2 月～3 月の期間で、要監視区間の情報を参考に、まくらぎ交換および突き固め等の軌道保守が実施された。軌道保守後の測定データを図５に示す。軌道の保守は数十 m から数百 m の距離で散発的に実施されたが、車体の上下加速度 RMS 値が効率的に低減していることがわかる。

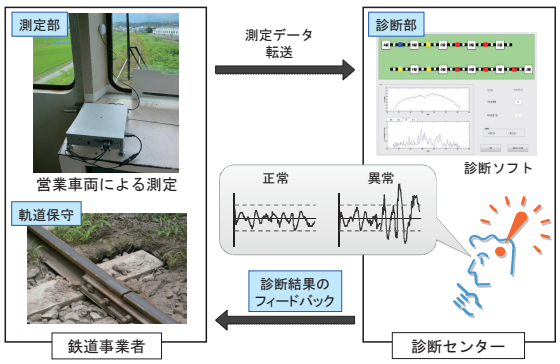

図３　軌道状態監視システム概要

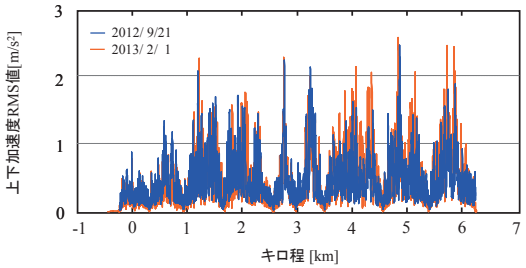

図４　測定結果の一例

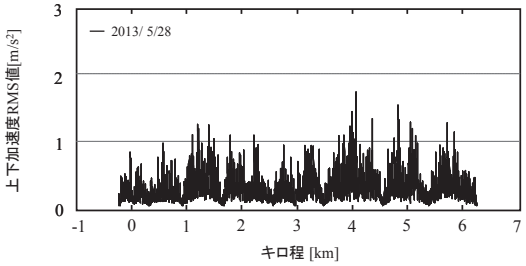

図５　軌道保守後の測定結果

５．まとめ

本稿では、地方鉄道向けの実用化を想定した、軌道状態監視システムの概要について説明した。営業車両を用い、車両の大改造を伴わない装置で構成することで、導入コストを抑えつつも高頻度な測定が可能となり、軌道保守に十分活用できるシステムとなった。

本プロジェクトの最終目的は、地方鉄道の軌道の保守管理を一元的に行うことである。現在、経営難にあえぐ地方鉄道を支援するため、経営資源を運行だけに集中させる上下分離方式が各地で採用されているが、予防保全で得られたデータをもとに、事業者間で知識や情報の共有が活発に行われれば、より効率的でより安全性の高い保守管理が可能になると考える。

参考文献

1) 綱島均，松本陽，水間毅，中村英夫，プローブ車両による軌道の状態診断，検査技術，Vol.12，No.5，pp50-55，（2007）
2) 森裕貴，大野寛之，佐藤安弘，竹内俊裕，綱島均，プローブ車両の現状と軌道の保守例について，交通研フォーラム 2011 講演概要，pp.109-110，（2011）