

15. プローブ車両による軌道の異常検出

—可搬型プローブシステムの開発と営業線での試験例—

交通システム研究領域 ※ 佐藤 安弘
日本大学生産工学部 網島 均

吉永 純 大野 寛之

1. はじめに

鉄道施設や車両においては、定期検査や巡回、監視などにより、所定の状態が保全され、列車運転の安全性が担保されている。こうした検査等は、専用の検測車両や機器による精密測定か、保守員の巡回による目視や簡易計測が主体である。しかしながら、高価な検測車を導入できない事業者もある一方で、保守員による計測作業は人件費等の負担が大きく、いずれも計測の頻度には限界がある。

本来、車輪・レール系の状態は、列車の通過や天候等により常時変化しているため、レール摩耗、軌道不整、摩擦係数、脱線係数などの状態を高頻度で監視できれば、安全性の向上や保守の合理化につながるため、その意義は非常に大きい。

このため、営業車両に各種センサを取付け、軌道状態を監視する「プローブ車両」の研究を日本大学などと共同で進め、昨年度、レール波状摩耗の検出、信号システムの状態監視への適用及び実証実験について報告した¹⁾。また、営業車両による脱線係数の常時観測の研究を東京地下鉄などと共同で進めてきた²⁾。プローブ車両の研究においては、その実用化に向け、営業車両に簡単に設置可能な「可搬型プローブシステム」を開発した³⁾。今回、同システムを用いて実車走行試験を行い、営業列車による軌道状態の診断について検討したので報告する。

2. 可搬型プローブシステムの開発

2. 1. 軌道の管理とプローブ車両

軌道の管理は、通常は、軌間、水準、10m 弦高低、10m 弦通り及び平面性の 5 項目の軌道変位検測により行われ、各社の定める所定の基準値に従って整備されている。加えて、車体振動加速度による動揺管理や乗心地レベルを考慮した管理を取り入れ

ている鉄道事業者もある。さらに、新幹線では、騒音・振動の低減や著大輪重の低減を目的として、床下騒音レベルや軸箱上下振動加速度を利用した管理も取り入れられている⁴⁾。

軸箱振動加速度は、センサを車輪近傍の軸箱に取付けて測定するため、常時測定を可能とするには、耐久性や耐環境性のあるセンサ及び信号伝送が必要となる。また、乗心地レベル等の測定は、市販の乗心地記録計等が利用できるが、車両動揺の発生した現場の特定に手間が掛かることがある。

プローブ車両は、専用の検測車とは別に、営業列車の運転室内などの比較的取付けが容易で環境の良好な位置に、振動加速度計やマイクロホンなどの汎用センサを取付け、所定の信号処理によって、有意な信号とノイズを分離して、軌道の状態を推定するものである。さらに、GPS 受信機を搭載することにより測定車両の位置情報を取得し、マップマッチング技術を用いて、軌道異常の発生位置を地図上に図示可能とするものである。

2. 2. 可搬型プローブシステム

今回開発した可搬型プローブシステムは、波状摩耗を検出するための騒音計、軌道変位を検出するための加速度センサ及びレートジャイロ、位置を検出するための GPS 受信機、解析用のコンピュータ及び各センサの信号をコンピュータに入力するためのアナログ入力ターミナルで構成される。図 1 にシステムの構成を示す。各センサから出力される信号は、アナログ入力ターミナルを通じてデジタル信号に変換され、コンピュータに入力される。また、GPS 受信機による位置情報及び加速度センサによる加速度信号に基づいて、現在位置と速度を演算するとともに、各センサからの信号を処理することにより、軌道状態を推定し、コンピュータ画面に表示した地

図上の現在位置に逐次軌道状態を表示する。データはオフラインで解析できるようにするため、ハードディスクドライブに記録する。

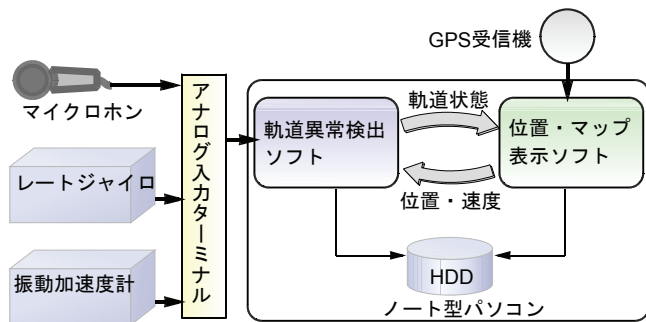


図1 可搬型プローブシステムの構成

実物は、これらセンサ類をトランクケース状に一体化して可搬型とし、解析用のコンピュータとともに、簡単に持ち運べるようにした。可搬型プローブシステムの外観を図2に示し、筐体の内部を図3に示す。可搬型とすることにより、任意の営業車両に簡単に設置して測定ができる。



騒音計

図2 可搬型プローブシステムの外観

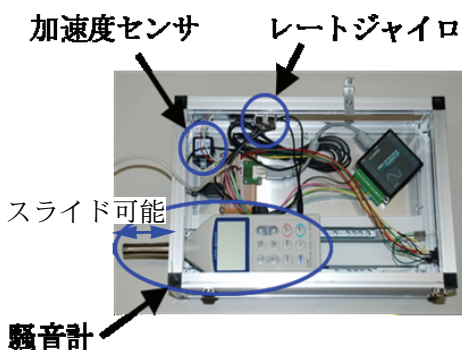


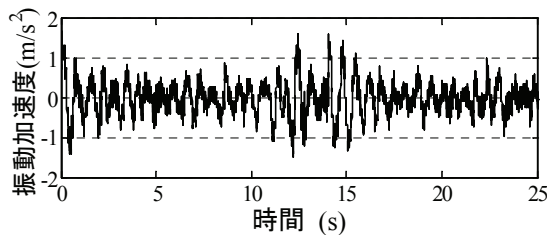
図3 可搬型プローブシステムの内部

3. プローブ車両における軌道変位の検出

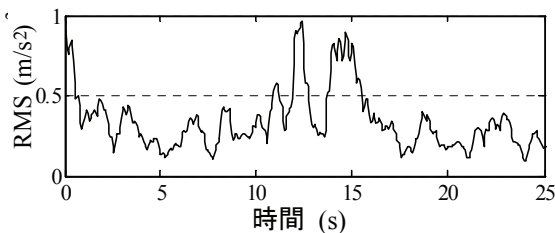
軌道変位に対する車両の応答特性は、車両固有の諸元、走行速度や荷重などの条件により変化する。

プローブ車両による軌道変位の検出を実現するため、実証実験に先立ち、乗務員室内に3軸振動加速度計を取付け、営業路線を走行し、床上振動加速度の測定を行った。

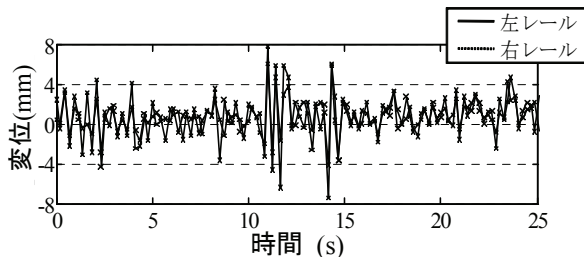
直線区間を70～80km/h程度で走行した際の上下方向振動加速度の測定結果を図4(a)に示す。上下振動加速度は、10～15秒の間に振幅の増大が見られる。図4(a)の振動波形からRMS値を求めたものを図4(b)に示す。また、別途測定された10m弦正矢法による5mごとの軌道高低変位検測値から、車両の走行位置に基づいて時間軸に変換した結果を図4(c)に示す。



(a) 上下振動加速度測定結果



(b) 上下振動加速度のRMS



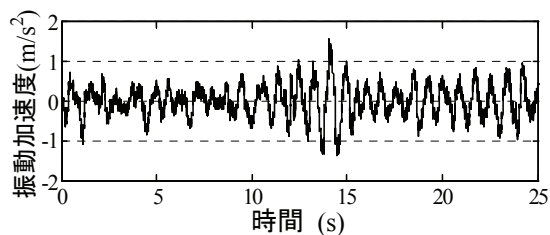
(c) 高低(地上検測結果)

図4 上下振動加速度及び軌道高低変位

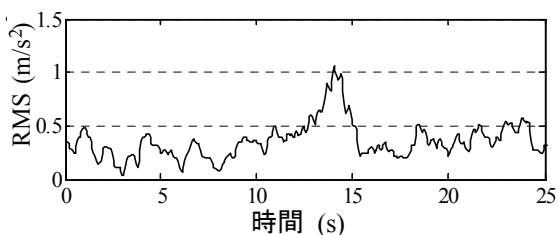
高低変位(図4(c))の大きい箇所、上下振動加速度RMS(図4(b))は高い値を示している。特に12s、14sにある2つのピークは一致していることから、上下振動加速度RMSから高低変位の大きい箇所を検出できる可能性が示唆された。

同様に、左右方向の振動加速度の測定結果を図5(a)に示す。図5(a)の振動波形からRMS値を求めたものを図5(b)に示し、通り変位、水準変位を時

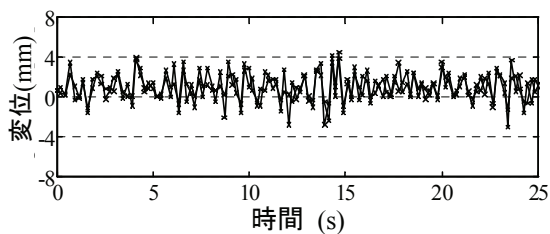
間軸基準に変換したものを図5(c)及び図5(d)にそれぞれ示す。左右振動加速度 RMS (図5(b))は、14s 付近で高い値を示しているが、レールの左右変位である通り (図5(c))には14s 付近で大きな変化が見られない。一方、左右レールの高低差である水準 (図5(d))は、左右振動加速度 RMS (図5(b))のピークと近い位置である12~15s で大きな変動が見られる。従って、この左右振動加速度の増大は、水準によって生じたものであると推測できる。



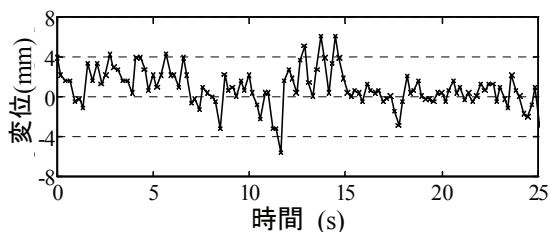
(a) 左右振動加速度測定結果



(b) 左右振動加速度の RMS



(c) 通り (地上検測結果)



(d) 水準 (地上検測結果)

図5 左右振動加速度及び軌道通り変位と水準

通りと水準は、いずれも車体・台車間に左右変位を生じ、左右振動とロール振動の双方に作用する可能性がある。各軌道変位を分離するにはレートジャイロも併用するなど、さらに検討が必要であるが、

軌道の異常箇所の特定には有効であると考えられる。

4. 営業列車による軌道状態の診断

可搬型プローブシステムを乗務員室内に設置し、GPS 受信機を車内窓枠に固定し、ある中小民鉄路線を走行した。図6にその様子を示す。



図6 車両へのプローブシステムの設置状況

測定項目の内、上下振動加速度の RMS 値を算出した例を図7に示す。同図の2.3キロ~2.4キロ付近の○印で示したピーク箇所に相当する位置を図8に示す。測定データの異常箇所を地図上に表示できるため、当該箇所の現地調査にきわめて便利である。なお、プログラム上で閾値 (例えば 0.1m/s^2) を設定すれば、閾値を上回った場合に注意 (黄色) または警告 (赤色) を表示し、列車走行位置の表示とともにリアルタイムに軌道異常を検出することが可能である。

図7のようにデータが大きな値を示している複数箇所について、現況調査 (徒歩) を実施した。図8で示される箇所の状況は、図9のようになっていた。

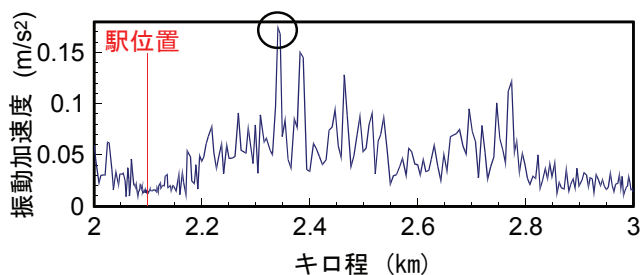


図7 上下振動加速度測定値 (RMS 値)



図8 地図表示による現場との照合



図9 現場状況例

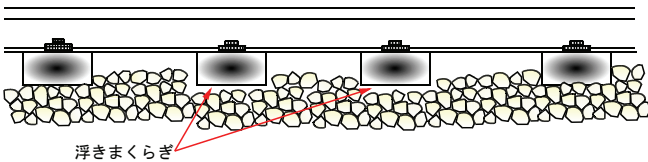


図10 浮きまくらぎ

現場は、道床碎石に土が多く混入しており、まくらぎの周囲には道床との間に隙間が見られること、列車通過時にまくらぎが大きく沈下することから、以下に説明する「浮きまくらぎ」の状態といえる。

有道床軌道では、レール継ぎ目部等レール/車輪間に作用する動的輪重が大きくなる箇所では道床が部分的に沈下し、列車がいないとき、図10のようにまくらぎと道床の間に隙間が生じる「浮きまくらぎ」という異常が生じることがある。

浮きまくらぎが生じると、列車が通りかかった際に、当該箇所でレールの沈下が相対的に大きくなるため、輪重変動が大きくなるとともに、レールのたわみに伴う曲げ応力が大きくなるので、放置しておく安全上問題を引き起こすおそれがある。なお、一般的な10m弦高低変位の検出では、検出特性上、

短波長軌道変位の抽出が困難な上、手検測ではレールに荷重がかからないためレールは沈下せず、浮きまくらぎが存在しても検出結果に異常値として現れない可能性がある。

今回、現地調査の結果、RMS値の大きい箇所全てで、浮きまくらぎ等軌道の異常が見つかった(測位精度は10m程度)ことから、本プローブシステムにより、軌道異常を検出できることが確認された。

5. まとめ

プローブ車両の実用化に向け、営業車両に簡単に設置可能な可搬型プローブシステムを開発し、営業列車による軌道状態の診断について検討した。

その結果、可搬型プローブシステムを用い、車体振動加速度のRMS値を求めることにより、軌道の異常箇所の特定には有効であることを示した。そして、営業路線での実証実験及び現地調査の結果、RMS値の大きい箇所では軌道異常を検出できることを確認した。今後は、具体的な閾値の設定手法等について検討する必要があるものの、実用に向けては、本システムに蓄積される日々のデータから、統計的処理などにより傾向を算出し、適切な保全計画の策定に活用できることが期待される。

本システムは、軌道異常の検出のほか、異常箇所の地図表示機能により現場の特定が容易であること、騒音等による波状摩耗検出機能を有すること、可搬型で任意の営業車両に簡単に設置できることなどの特徴を有し、その実用化によって安全性の向上や保守の合理化につながると考えられるため、今後も取り組みを続けたい。

なお、本研究は、平成19年度まで独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」の補助を受けたものである。また、実車走行試験や現地調査に協力いただいた鉄道事業者各位に感謝します。

参考文献

- 1) 大野ほか; 平成19年度交通研発表会講演概要, pp41-44, 2007.
- 2) 佐藤ほか; 平成19年度交通研発表会講演概要, pp45-48, 2007.
- 3) 小島ほか; J-Rail'07, pp629-632, 2007.
- 4) 山村; 日本鉄道施設協会誌, Vol.46-9, pp33-36, 2008.