

プローブ車両による軌道の状態診断に関する研究

日大生産工（院） ○原 久純 日大生産工 綱島 均
交通研 水間 毅 元交通研 松本 陽 交通研 森 裕貴

1. 緒言

車輪がレールで案内されて走行する鉄道にとって、レール状況を把握し、事故に至る前に補修していく予防保全が不可欠であり、そのためには軌道の状態を常時監視することが望ましい。しかし、軌道検測車などの検査用車両の走行により精密な軌道検査が可能になっているものの、一部の地方鉄道ではコストなどの点から走行頻度は非常に制限される。

このような問題に対して、簡便な方法により軌道状態の常時監視と診断が可能になれば、適切な保全時期、保全内容の計画によって、より確実な予防保全の実現が期待できる。常時監視を実現する一つの方法として、一般の車両に簡単なセンサ類を付加することにより、営業運転を行いながら軌道の状態診断を行うプローブ車両¹⁾²⁾が考案されている。しかし、このような保安形態を実現するには、センサより状態を計測し、得られる情報から特徴を抽出、異常を検出する必要がある。

本研究では、車室内での簡易な計測により軌道の状態診断が可能で、持ち運びが容易である可搬型プローブ装置を構築し³⁾、実際の営業路線において実車走行実験を行い、その有効性を検証する。

2. プローブシステムの構成

図1にプローブシステムの構成図を示す。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およびレートジャイロ、位置を検出するためのGPS受信機、解析用のコンピュータ、各センサの信号をコンピュータに入力するアナログ入力ターミナルで構成される。信号処理されたデータは、オンラインで解析され、軌道状態を逐次推定し、HDDに記録される。

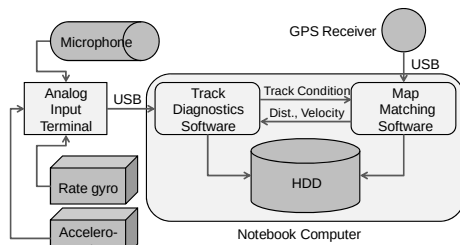


Fig.1 Configuration of Probe System

3. 車体振動による軌道異常の検出

軌道状態の変化を監視する目的では、軌道変位の絶対値が得られなくても、その傾向を得るには車体振動の大きさは有効である。このような観点から、本研究では、振動の振幅が軌道変位を示す指標になり得ると考え、RMS (Root Mean Square)値を用いる。

軌道状態と位置との関係を得るために、短時間のRMSを求める必要がある。測定値 $x(t)$ のうちの短い時間区間における $RMS\ x_{rms}(t)$ を次式で定義する。

$$x_{rms}(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^{t+N-1} x(\tau)^2} \quad (1)$$

レールの上下方向の変形である高低変位、左右方向の変形である通り狂い、上下・左右加速度を測定するほか、左右レールの高低差である水準変位を検出するために、ロール角速度を測定する。測定した上下加速度、左右加速度、ロール角速度についてそれぞれ $x_{rms}(t)$ を求める。なお、 $N=8$ とし、サンプリングタイムを $0.016s$ とした。

4. 車内騒音によるレール波状摩耗の検出

レール波状摩耗は、レールの頭頂部が数cmから十数cmの周期で摩耗する現象で、著しい騒音や振動を引き起こしたり、軌道材料を損傷させたりする原因となるため軌道保守の重要な課題の一つとなっている⁴⁾。波状摩耗のような周波数の高い振動は、騒音として捉えられる可能性があり、周期的な凹凸であることから、周波数情報から波状摩耗を検出する方法が考案され、特許が成立している⁵⁾。提案した方法より、車内騒音データに窓フーリエ変換を行い、スペクトルから波状摩耗の最大値をピークとし、時間変化を評価する。

5. 営業路線による走行試験

5.1. 試験方法

車室内において、台車から伝わる振動を測定する好ましい位置は台車直上の床面であるが、その位置は客室であるため実用を考慮し、構築したプローブ装置を乗務員室内の運転台の近くに設置した。GPS受信機を窓枠に固定し、営業路線を走行した。列車ダイヤは、試運転であるが、営業運転と同様の運転パターンとし、営業運転に使用されている一般の車両を使用した。

Study on Condition Monitoring of Railway Track by Probe Vehicle

Hisazumi HARA, Hitoshi TSUNASHIMA,

Takeshi MIZUMA, Akira MATSUMOTO, Hirotaka MORI

5.2. 軌道変位測定結果

比較的大きな車体上下加速度 RMS 値を計測した区間を図 2 に示す。縦軸は車体上下加速度 RMS 値、横軸は GPS と前後加速度から推定したキロ程である。車体上下加速度 RMS 値の大きい箇所（図 2 の○の箇所）において、軌道の異常が発生していると考えられる。ここでは、徒歩による現地調査を行った結果、浮きまくらぎと呼ばれる状態が確認された。また、ほぼ同時期に 2 回実施した測定結果を比較すると、同様の測定結果が得られたことから計測の信頼性が確認できた。

次に、マルチプルタイタンパによる補修作業を行う前後の 2009 年 12 月 13 日と 2010 年 1 月 13 日の測定結果を図 3(a)に、補修作業を行った後の 2010 年 1 月 13 日と 2010 年 7 月 28 日の測定結果を図 3(b)に示す。補修前後の RMS 値を比較すると、補修後の RMS 値が小さくなっていることが確認できる。また、補修を行った後とそこから約 6 ヶ月後の RMS 値を比較すると、補修から約 6 ヶ月後の RMS 値が補修前と同じ箇所（図 3(a),(b)の○の箇所）で軌道状態が悪化していることがわかった。

5.3. 波状摩耗測定結果

2010 年 1 月 13 日に 2 回の測定を行った車内騒音のスペクトルピークを図 4 に示す。図 4 より網掛けで示された曲線区間において高い値を示していることがわかる。また、2 回の測定結果が一致していることから、車内騒音により信頼性が高い波状摩耗の検出を行えることがわかった。

6. 結言

本論文では、開発した可搬型プローブ装置を用いて、営業路線において走行試験を行った結果、測定された車内騒音のスペクトルピークは、波状摩耗が発生している急曲線で高い値を示し、発生位置を明確に特定できることを示した。車体加速度の RMS 値は、現地調査の結果より軌道変位を検出できる可能性を示した。また、マルチプルタイタンパによる補修作業前後および補修から半年後の計測結果から、軌道状態の悪化を可搬型プローブ装置から診断できることを示した。

本研究は、研究成果最適展開支援事業フィージビリティスタディ探索タイプ平成 22 年度採択課題「レール状態診断システムの実用化」（独）科学技術振興機構の補助を受けた。

「参考文献」

- 1) H. Tsunashima, A. Matsumoto, T. Mizuma and H. Nakamura : Condition Monitoring of Railway System by “Probe Vehicle”, Technology, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 61, No. 2, 2007, pp. 98-104

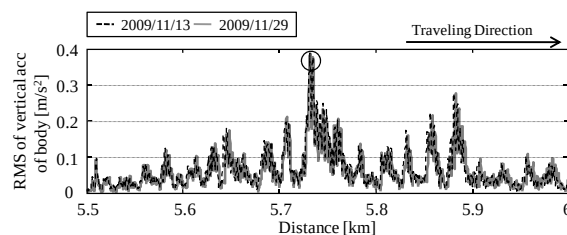
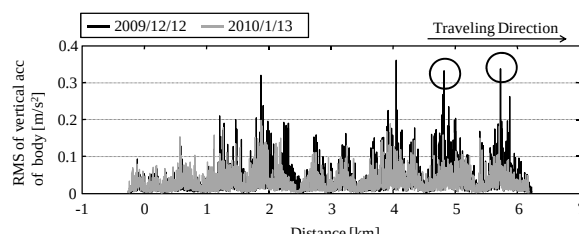
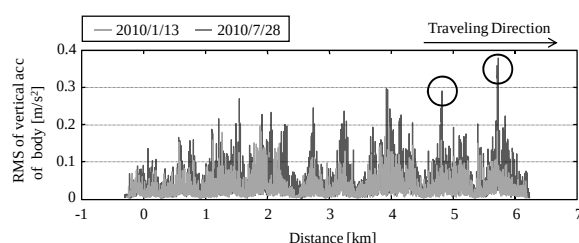


Fig.2 RMS of vertical acceleration of body



(a) RMS of vertical acceleration of body before and behind the repair works



(b) RMS of vertical acceleration of body after the repair works

Fig.3 Condition monitoring of rail track

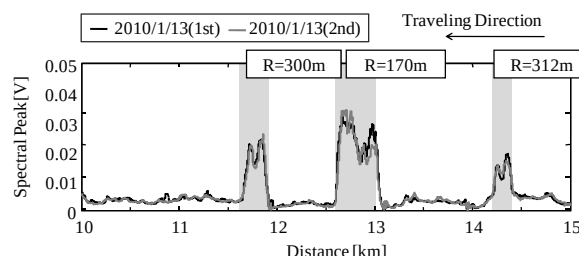


Fig.4 Spectral peak of interior noise

- 2) H. Tsunashima, A. Matsumoto, T. Mizuma and H. Nakamura : Condition Monitoring of Railway System by “Probe Vehicle” Technology, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 61, No. 2, pp. 98-104, 2007
- 3) 小島崇, 綱島均, 松本陽, 水間毅, 車上測定データによる軌道の異常検出（第 2 報, プローブシステムの開発と検証）, 日本機械学会論文集（C 編）, Vol. 754, No. 75, 2009, pp.1798-1805
- 4) A. Matsumoto et al. : Formation mechanism and countermeasures of rail corrugation on curved track, Wear, Vol. 253, No. 1, 2002, pp.178-184
- 5) 特許第 4521524 号, 軌道状態解析方法及び軌道状態解析装置並びに軌道状態解析プログラム, 2010