

鉄道営業車両を用いた軌道モニタリングによる

早期異常検知システムの開発

東京大学 (研究当時)	正会員	松村遼右
東京大学	フェロー	藤野陽三
東京大学	正会員	水野裕介
東京大学	正会員	長山智則
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	片岡慶太

1. 研究背景と研究目的

鉄道においてメンテナンスの重要性は非常に高く、その中でも特に軌道の歪みは脱線・転覆などの大事故につながりかねないため、道路舗装などと比べてはるかに厳しい管理が必要である。従来から JR や大手私鉄では軌道検測専用車を用いた検測や、中小私鉄ではトラックマスターと呼ばれる手押し車による検測が行われてきたが、これらのシステムを用いた検測は多くとも年数回程度であり、軌道状態の突発的な変化を捉えることは不可能である。また鉄道事業者も、軌道狂いのみの管理でなく、乗客サービスの観点から車両動揺を考慮した軌道状態の管理へと転換傾向にあるが、現在用いられている車両動揺測定装置は大型で扱いに手間がかかる。

そこで、営業列車に搭載でき、常時モニタリングを可能とする安価かつ簡便なシステムとして、東京大学橋梁研究室により TIMS (Train Intelligent Monitoring System) が開発された。これは列車の上下・左右方向加速度を 3 軸加速度計で測定し、軌道状態とその変化を検知するシステムである。しかしこのシステムは中小私鉄を対象として開発されたものであり、実用化・汎用化のためには、測定結果の再現性や軌道状態検知能力の更なる検証、システムの小型化などの課題が残っていた。

本研究では、より小型の装置を用い、配線・電源システムも単純化された新たな TIMS を用いて都市部の営業列車における計測を実施し、軌道検測手法としての有用性を示し、都市鉄道で計測を行った際の問題点の解決を目標とした。

2. 計測システムの概要

システムは図 1 のように 3 軸加速度計、GPS 受信機、A/D 変換機、及び PC からなる。従来のシステムでは中小私鉄を対象としているため、GPS 衛星からの電波の受信状態が悪い山間部でも適用できるよう、3 軸加速度計に加えてサーボ型加速度計を用いて前後方向加速度を測定していたが、都市鉄道では GPS 衛星からの電波の受信状態も良いため、3 軸加速度計と GPS 受信機からの情報のみを用いて位置同定が可能となった。また、配線や電源システムも従来と比べ単純化され、全体としてコンパクトなものとなった。



図 1 システムの設置状況 ↑

3. 営業列車における計測の実施

計測は、東日本旅客鉄道株式会社の全面的な協力のもとに、山手線と湘南新宿ラインにおいて実施した。山手線は内回り・外回り 3 周ずつの計測を 2 回 (計 12 周)、湘南新宿ラインは大崎—小田原間を 2 往復する計測を 2 回 (計 4 往復) 行った。

4. 車両加速度の再現性の確認とその向上方法の検討

再現性の確認では、距離軸上に変換した加速度の長さ 100m での RMS 値を計算し、RMS 波形に対

キーワード 営業列車 常時モニタリング 加速度 再現性 軌道狂い ピークノイズ

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部社会基盤学科 橋梁研究室 (TEL) 03-5841-6097

して動的計画法を用いた波形マッチング (DP マッチング) で位置同定誤差の補正を行った上で、同一区間を複数回測定した結果を比較した。相関係数や平均誤差を計算した結果、加速度の再現性が全体的に高いことが確認された。表 1 はその一例である。しかし、局所的には RMS 値が大きく異なる箇所が存在した。

再現性低下の要因の 1 つとして、警笛・無線などによるピークノイズの混入が判明した(図 2)。サンプリング周波数を変更した計測の結果、このピークノイズはエイリアシングによるものと分かったため、アンチエイリアシングフィルターの導入によってこの問題は解決可能である。また、計測時の走行速度が大きく異なるとやはり再現性が低下するため、実用上では走行速度の差が大きい場合は比較の対象外とする必要があることが分かった。また、研究開始当初懸念されていた列車のすれ違いによる再現性の低下は、ほとんど存在しないことが確認された。

右上 相関係数	1 周目	2 周目	3 周目
左下 誤差の割合			
1 周目		0.9845	0.9890
2 周目	5.22%		0.9801
3 周目	6.61%	4.52%	

表 1 RMS 値の再現性と誤差の割合 (山手線一部区間)

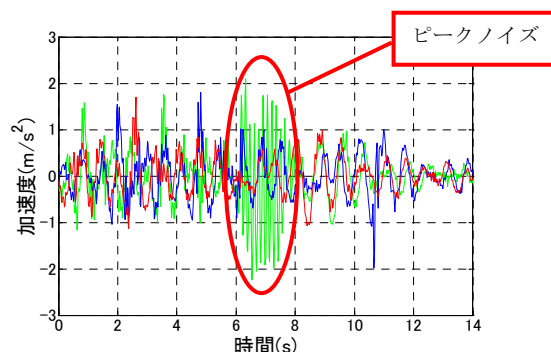


図 2 ピークノイズの混入事例

5. 軌道検測車で測定された軌道狂いとの比較

軌道の高低狂いと車両の上下方向加速度、軌道の通り狂いと車両の左右方向加速度の比較を行った。図 3 は一部区間を拡大したものであるが、車両加速度は軌道狂いを大きく反映していることが分かる。また、軌道狂いの大きい箇所 20 箇所と測定された加速度の大きい箇所 20 箇所を抽出した結果、約 6 割が同一箇所 (誤差 100m 以内) であることが確認された。

6. 軌道修繕工事の前後での車両加速度の変化

2 回の計測の間に軌道修繕工事が行われた箇所で、車両加速度が軌道状態の変化を捉えられているかを調べた。この調査では微小な変化も確認できるよう、長さ 20m の RMS 値で修繕前後の比較を行った。つき固めと呼ばれる上下方向の軌道修繕作業が行われた箇所では上下方向加速度に(図 4)、通り直しと呼ばれるレールの水平移動による線形の修正が行われた箇所では左右方向加速度に変化が見られ、全体で工事が行われた 12 箇所のうち 5 箇所で車両加速度の変化が確認された。

7. まとめ

本研究により、軌道モニタリングシステムは更に小型化・単純化され、加速度の再現性低下要因の発見と解決方法の提案、本システムの軌道状態検知能力の検証が実現された。

8. 謝辞

本研究は東日本旅客鉄道株式会社の全面的な協力のもとで行われました。ここに深く感謝の意を表します。

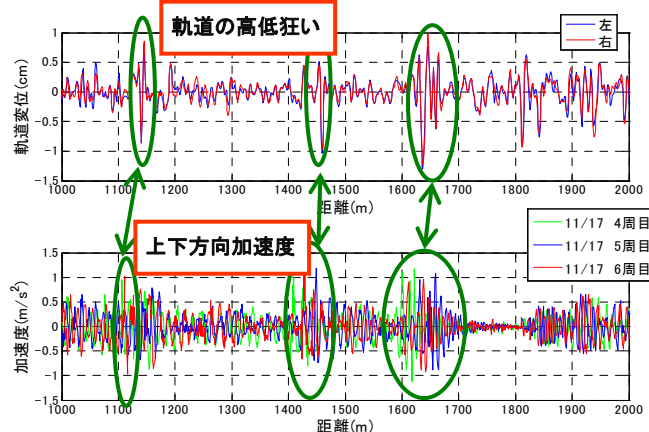


図 3 軌道高低狂いと上下方向加速度の比較

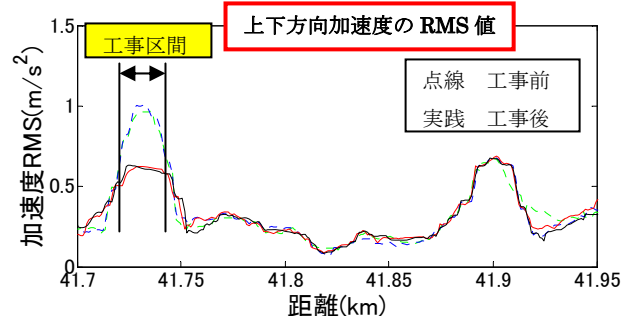


図 4 軌道修繕工事前後での変化