

地方鉄道を対象とした軌道状態診断システムの開発と運用

小野 寛典* (日本大学大学院) 綱島 均 (日本大学)
高田 哲也 (京三製作所) 緒方 正剛 (交通安全環境研究所)

Development and Operation of a System for Diagnosing the Condition of Regional Railways Tracks

Hironori Ono*, (Graduate school of Nihon University)

Hitoshi Tsunashima, (Nihon University)

Tetsuya Takata, (KYOSAN ELECTRIC MFG. CO., LTD)

Seigo Ogata, (National Traffic Safety and Environment Laboratory)

Monitoring the condition of railway tracks effectively increases the safety of railways. A system that uses a compact on-board sensing device was previously developed for monitoring the track condition of railways. In this study, long-term measurements were conducted using the developed system, and temporal changes in track irregularities were evaluated from car-body acceleration data. As a result, the progress of track deterioration and the evaluation of track maintenance could be evaluated from the car-body acceleration data.

キーワード : 鉄道, 軌道, 状態監視, 車体動揺, 軌道不整
(Railway, Track, Condition monitoring, Car body acceleration, Track irregularities)

1. 緒言

鉄道は車輪が軌道によって案内されることから、軌道の状態が鉄道の安全性に大きく影響を与える。そのため鉄道事業者は軌道を適切に管理する必要があり、保線係員による検査や専用の軌道検測車による計測を基にした保守を行うことで安全性を確保している。しかし、これらの従来から行われてきた方法では、地方鉄道の軌道維持管理を行うことが困難になってきている。

このような問題に対して、営業車両に車体動揺計測装置を設置し、車体の振動加速度を計測して軌道の状態をモニタリングする軌道状態診断システムが開発されている⁽¹⁾。

本研究では、開発したシステムを用いて長期間計測を行い、得られた車体動揺データから軌道状態の時間的変化を評価した。

2. 軌道状態診断システム

2.1 軌道状態診断システムの概要

軌道状態診断システムの概要を図 1 に示す。本システムでは営業車両の振動加速度を計測する計測部と取得した振動加速度データを解析する解析部に分けられる。計測部では 3 軸センサ、レートジャイロ、GNSS 受信機などからなる車体動揺計測装置を営業車両に搭載する。運行と共に車両から電源を供給することで常時、車体振動加速度を計測するこ

とが可能である。取得した振動加速度を、携帯回線を通じてサーバーへと伝送する。解析部では、サーバーへ送られてきた振動加速度情報をもとに診断が行われる。本システムにより軌道の状態を逐次監視することで軌道異常などを発見でき、鉄道事業者へとフィードバックを行うことで保守計画に活用することが可能となる

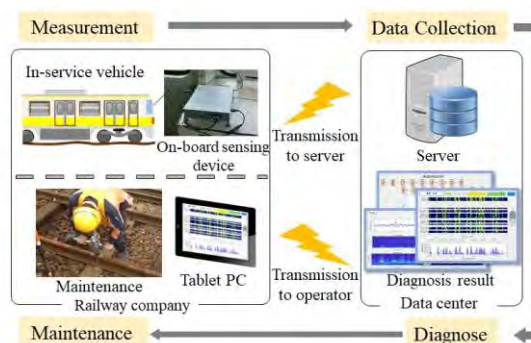


Fig. 1 Track condition monitoring system

2.2 軌道状態診断システムで使用する評価値

車体動揺計測装置で計測したデータに対し軌道不整の解析結果を可視化する「軌道状態図」が提案されている⁽²⁾。本研究においても軌道状態の診断に「軌道状態図」(後述)を

用いる。

車体動揺と軌道不整には高い相関があるため、計測した車体振動加速度から 10[m]区間の片側最大振幅値を算出し評価に用いた。ここで、特徴量として使用した片側最大振幅値とは、当該区間において最も大きい振動加速度の半振幅の絶対値である。図 2 に片側最大振幅値の求め方を示す。

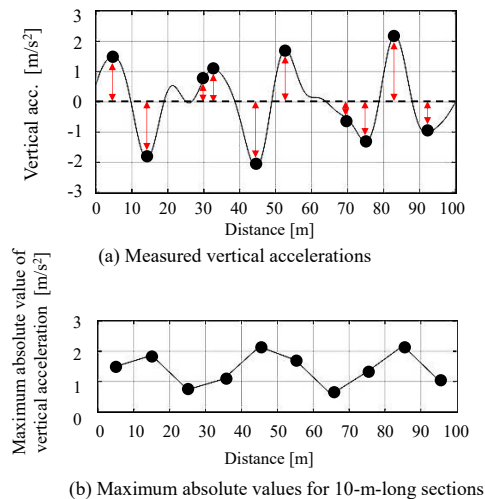


Fig. 2 Maximum absolute values of the car-body vertical acceleration

3. 車体動揺の計測

地方鉄道において、2020年10月から2022年8月まで車体動揺計測装置を営業車両に設置し、常時計測を行う実車走行試験を実施した。ただし、車両の全般検査及び車体動揺計測装置のソフトウェア更新の理由により2022年1月~2022年6月のデータはほとんど計測できていない。本研究では、この試験で得た上下振動加速度と左右振動加速度を用いて軌道状態の評価を行った。

4. 上下振動加速度による軌道状態の診断結果

4.1 上下振動加速度による軌道診断結果

図3に上下振動加速度の著大値が計測された地点を示す。路線を青線、駅を水色の四角で示しており、計測した振動加速度をオレンジまたは赤で示している。

図3よりCD、DE、HI駅間においてが著大な振動加速度が計測されていることがわかる。特に、2022年7月に一部区間で軌道整備を実施したCD駅間に着目して考察を行う。

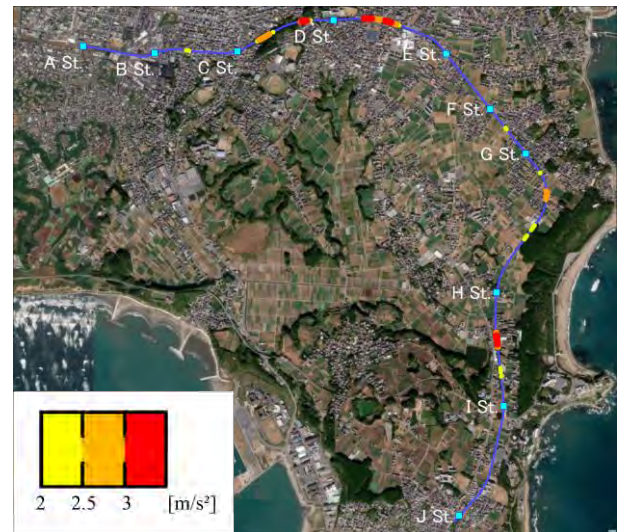


Fig. 3 Locations where high accelerations were observed

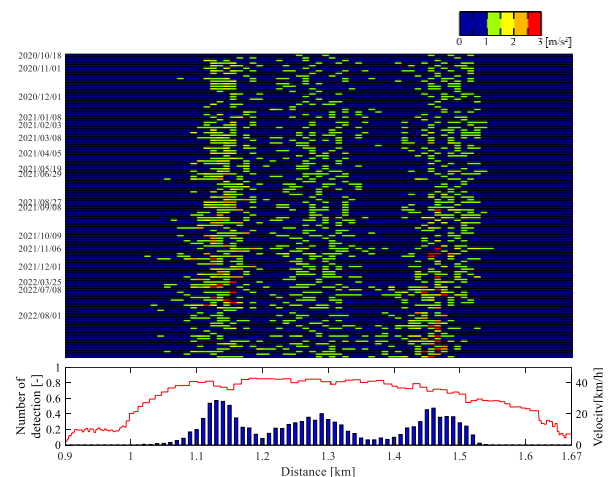


Fig. 4 Track condition diagram of vertical acceleration

4.2 軌道状態の診断

図4にCD駅間の軌道状態図を示す。図4の横軸はキロ程であり、図の上段は前述の片側最大振幅値に基づいて作成したカラーマップである。縦軸は計測した日付であり、ここでは毎月最初に計測した日付を時間経過の目安値として表示している。

1日に複数回走行した場合は最も高い片側最大振幅値が計測されたデータを代表データとして表示している。図の下段は各走行データの片側最大振幅値が閾値である1.0[m/s²]を超過した回数を走行回数で正規化し、閾値超過頻度を示したヒストグラムである。また参考値として、全走行データの平均走行速度を赤線で示している。

図4から1.1~1.2kmと1.4~1.5kmの区間で著大な振動

Table 1. Longitudinal level irregularity between 1.1 and 1.2 km

Distance [km]	1.100	1.115	1.120	1.130	1.145	1.170	1.180
Track irregularity [mm]	9.7	-7.5	7.5	-7.3	16.3	-7.6	9.3

Table 2. Longitudinal level irregularity between 1.4 and 1.5 km

Distance [km]	1.405	1.420	1.430	1.440	1.445	1.475	1.490	1.495
Track irregularity [mm]	-10.9	-9.6	-10.9	-18.6	-19.4	-9.5	-10.9	23.5

加速度が高頻度で発生しているわかる。次に、実際にこの区間において高低不整が発生しているか確認する。表 1, 2 に 1.1~1.2km と 1.4~1.5km 区間の軌道検測結果における整備目標値を超過した位置と不整量を示す。なお、検測は 2020 年 9 月に実施した。

表 1, 2 から両区間共に軌道不整が連続して発生しており、軌道状態が悪いことがわかる。よって軌道状態が悪い区間を特定できていると考えられる。次にこの区間の時間経過による振動加速度の推移について考察する。

4.3 時間経過による振動加速度の推移

軌道の長期的な変化を見るため、当該区間における振動加速度の中で最大となる値を、1 走行データあたり 1 点抽出し、プロットした。1.1~1.2km と 1.4~1.5km の区間における時間経過による振動加速度の推移を図 5, 6 に示す。また、軌道整備については、1.1~1.2km 区間では 2022 年 7 月に整備目標値を超過した大部分の区間 (1.110~1.145km) で道床補充と突き固め作業を行っているが、1.4~1.5km 区間では一部区間 (1.470~1.500km) でしか軌道整備を行っていない。

図 5 では計測開始時から徐々に振動加速度が大きくなっているが、2022 年 7 月以降は小さくなっている。この時期に軌道整備をおこなっていることから、軌道整備の効果が確認できる。一方、図 6 では、計測開始時は比較的小さな振動加速度だったが 2021 年 10 月以降、著大な振動加速度が多く発生している。これは軌道状態が急激に悪化したと考えられる。地方鉄道では軌道検測が頻繁に行えないため、従来の軌道検測だけではこのような急激な軌道状態の悪化は把握できないことがわかる。また、軌道整備を一部区間しか実施していないため振動加速度が小さくなっておらず、軌道整備の効果が不十分であるとわかる。

5. 左右振動加速度による軌道状態の診断結果

5.1 遠心加速度の影響

列車の左右振動加速度は軌道の通り不整と相関がある^③。しかし、左右振動加速度は曲線走行時の遠心加速度による定常成分が含まれるため、遠心加速度による定常成分を除

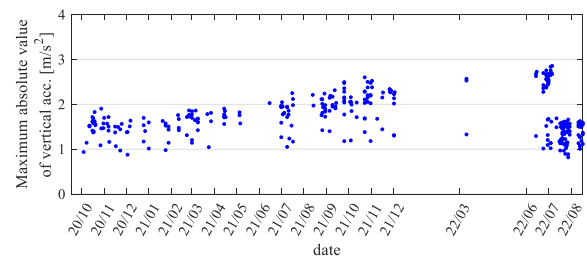


Fig. 5 Changes in maximum vertical acceleration between 1.1 and 1.2 km

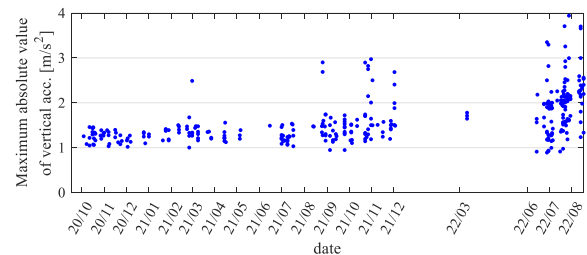


Fig. 6 Changes in maximum vertical acceleration between 1.4 and 1.5 km

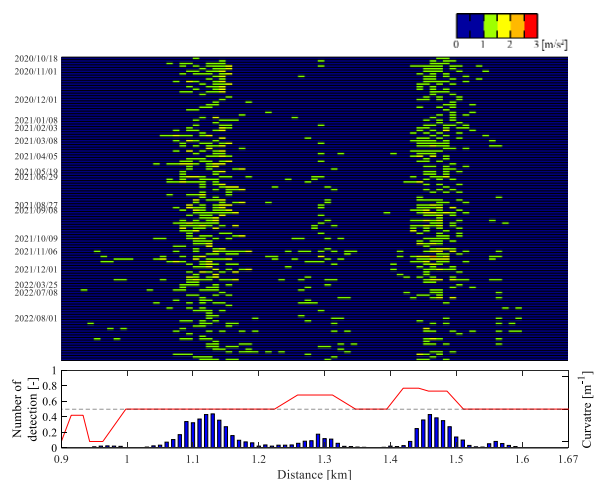


Fig. 7 Track condition diagram of lateral acceleration

Table 3. Alignment irregularity between 1.05 and 1.15 km

Distance [km]	1.055	1.060	1.075	1.080	1.125
Track irregularity [mm]	-8.3	7.6	-8.1	9.8	-8.0

Table 4. Alignment irregularity between 1.4 and 1.5 km

Distance [km]	1.440	1.455	1.465	1.490	1.495
Track irregularity [mm]	11.3	-13.2	11.0	15.1	-9.2

去し、軌道不整により発生した振動加速度のみで評価する必要がある。そこで車体動揺計測装置で計測した走行速度とヨー角速度から遠心加速度を算出し、左右振動加速度から減算する処理を実施した。

5.2 左右振動加速度による軌道診断結果

上下振動加速度による診断と同じ CD 駅間で診断を行った。図 7 に CD 駅間の軌道状態図を示す。図の説明については 4.2 節と同様だが、図 7 においては下段の赤線は参考値として台帳の曲率示している。

図 7 より 1.1~1.2km と 1.4~1.5km の区間で比較的大きな振動が発生している。実際にこの区間において通り不整が発生しているか確認する。表 3, 4 に 1.05~1.15km と 1.4~1.5km 区間の軌道検測結果における整備目標値を超過した位置と不整量を示す。表 3, 4 から両区間共に軌道不整

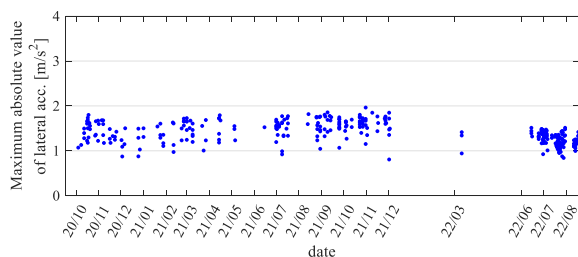


Fig. 8 Changes in maximum lateral acceleration between 1.05 and 1.15 km

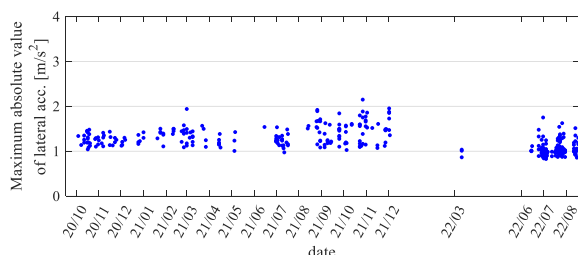


Fig. 9 Changes in maximum lateral acceleration between 1.4 and 1.5 km

が連続して発生しており、軌道状態が悪いことがわかる。よって軌道状態が悪い区間を特定できていると考えられる。次にこの区間の時間経過による振動加速度の推移を考察する。

5.3 時間経過による振動加速度の推移

1.05~1.15km と 1.4~1.5km の区間における時間経過による振動加速度の推移を図 8, 9 に示す。

図 8 では計測開始時から顕著な変化はないが、2022 年 6 月から振動加速度の値が小さくなっている。また、図 9 においても 2022 年 6 月以降振動加速度の値が減少している。

この区間では 2022 年 6 月に通り整正の軌道整備が実施されたという報告はなかったが、2021 年 11 月に通り整正の軌道整備が行われた記録がある。2022 年 1~6 月は計測できていないため、詳細な振動加速度の推移は把握できないが、このときの軌道整備の効果が確認できたと考えられる。

6. 結言

地方鉄道において、営業車両による動揺計測長期計測を行い、得られた車体動揺データから軌道状態が悪い区間の特定と、軌道状態の時間的変化を可視化した。その結果、軌道状態悪化の傾向を把握することが可能になった。また、軌道整備の効果を確認できることも明らかになった。

地方鉄道では頻繁な軌道検測が難しいため、急激な軌道状態の悪化や軌道整備効果の把握が困難である。そのため、営業車両による振動加速度から軌道状態を高頻度で把握することは重要であると考えられる。また、地方鉄道では軌道検測車が入線できず、軌道に荷重が負荷されていない静的検測しか実施していない鉄道事業者が少なくない。静的検測では軌道状態が実際の車両走行時と異なる。そのため静的検測だけでなく、営業列車による車体振動加速度も活用して軌道を管理する必要があると考えられる。

今後は計測した振動加速度と軌道整備後の軌道検測結果を突き合わせ、軌道整備の効果をより具体的に評価したい。また、過去の振動加速度の推移から軌道状態悪化の進行の予測などにも取り組みたいと考えている。

文 献

- (1) Tsunashima, H. and Hirose, R., Condition monitoring of railway track from car-body vibration using time frequency analysis, Vehicle System Dynamics, DOI:10.1080/00423114.2020.1050808, (2020)
- (2) Tsunashima, H., Odashima, M., Hayashida, Y., Mori, H. and Asano, A., Feature extraction and classification of track condition from car-body vibration, IAVSD2017, (2017).
- (3) Tsunashima, H., Hayashida, Y. and Odashima, M., Track Condition Monitoring using Machine Learning Technique for Regional Railways, TER-18-001-008.010.012-013.015-025, pp81-84, (2018)