

小型汎用情報端末を活用した列車動揺検査手法の開発

○ 篠田 憲幸 (交通安全環境研究所・日本大学)

[土] 佐藤 安弘 [土] 緒方 正剛 (交通安全環境研究所)

[機] 綱島 均 [機] 松本 陽 (日本大学)

Development of the inspection method of carbody vibration using information terminal

○Noriyuki Shinoda (NTSEL, Nihon University), Yasuhiro Sato, Seigou Ogata (NTSEL)

Hitoshi Tsunashima, Akira Matsumoto (Nihon University)

One of the methods to monitor the state of the track using operating trains is the method to inspect carbody vibration. As the effective use of small-sized all-purpose information terminals, including sensors and communication functions, may be useful, such terminals have been permanently installed on the driver's console of a regional railway to make measurements. Inspections have been carried out several times a year to date, and daily vibration measurement data have been accumulated so that such big data may be useful. Such data may enable a new approach to introduce a method for the track management as shown below.

キーワード : 情報端末, 軌道管理, GPS 速度, 車体振動, 自位置検知, 軌道狂い

Key Words : Information terminal, Track management, GPS speed, Car-body vibration, Position identification, Track irregularity

1. はじめに

人口減少による輸送人員の減少及び若年労働者が減少している中、メンテナンス業務の省力化は鉄道事業者にとっては喫緊の課題である。従来の軌道メンテナンスは、軌道検測や動揺検査及び保線係員の巡視による検査結果に基づいて、補修作業が実施されている。しかし、これらの検査は費用や人手を必要とするため、その確保が難しい地方鉄道では十分な軌道検査が行えない事業者が少なくない。

この課題に対し、列車の動揺測定により軌道管理を低廉な費用で行う取り組みがなされている。軌道異常を検出するための3軸加速度計及びレートジャイロ、GPS 受信機、各センサの信号をコンピュータに入力するインターフェースの機能を持つ装置により、軌道状態の診断が行われるようになっている。^{1) 2) 3)}

また、小型汎用情報端末(以下小型端末と称す)の小型化高性能化は著しいものがあり、これの機能を持っている小型端末を活用した列車動揺検査手法の構築を行うこととした。ある地方鉄道事業者(以下A鉄道事業者と称す)においてはこの小型端末の活用が有効であると考え、列車の運転台に常設して測定を行っている。従来は、年に数回程度

の検査により管理していたが、毎日の動揺測定データが蓄積されビッグデータとして扱えるようになったので、A鉄道事業者のご協力により、これらのデータを活用して新たな軌道管理手法の構築の取り組みを行うこととした。

なお、小型端末は、BIGLOBE 社製の小型汎用情報端末(BL-02)⁴⁾(外形写真及び表示画面例 図1 参照)を用いた。

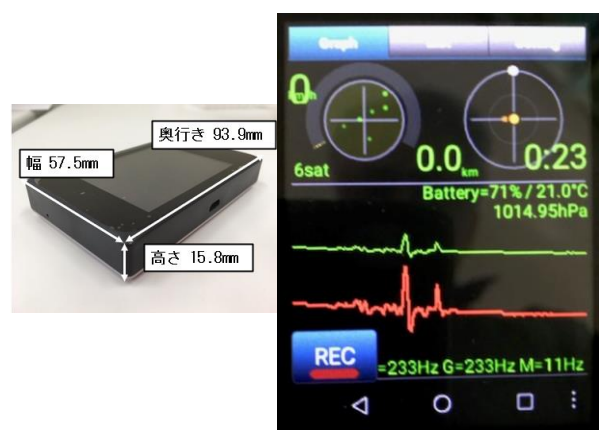


図1 小型端末の外形と表示画面例

2. 小型端末を用いた軌道管理手法の構築

2.1 軌道管理手法の概要

本研究における軌道管理手法を図2に示す。このうち、軌道管理システムは、動揺測定部と解析部に分かれている。動揺測定部では、小型端末が搭載している3軸加速度計により車体動揺、GPSセンサにより位置情報や走行速度、3軸の角加速度を測定している。

動揺測定部で得られた動揺測定値と位置情報などのデータは、携帯電話回線などによって解析部に伝送される。解析部のサーバーで振動加速度やGPS情報などのデータを整理して、表1のようなデータを作成する。解析部において、位置同定や様々な手法によるデータ解析を行い、判定結果がオンライン回線でスマートフォンやタブレットを通じて鉄道事業者へとフィードバックされる。鉄道事業者では、これらの診断結果を基に軌道メンテナンスの優先順位を決めての作業が可能となる。

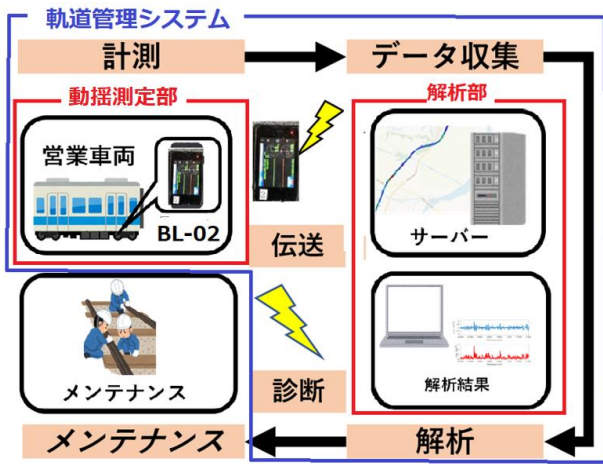


図2 軌道管理手法の概要図

表1 小型端末の出力データ内容

項目	時刻	緯度	経度	GPS速度	加速度X軸
単位	分：秒	度分	度分	m/s	m/s ²
データ	27:47.5	37.322245	139.92003	26.788	0.311
	加速度Y軸	加速度Z軸	角速度X軸	角速度Y軸	角速度Z軸
	m/s ²	m/s ²	deg/s ²	deg/s ²	deg/s ²
	0.0253	0.0152	-0.00496	-0.0012	-0.00167

2.2 車両動揺測定方法について

小型端末は、列車の運転席に常設されており、車両電源が入れば測定を開始し、折り返しする毎に動揺測定データのフォルダーが作成され、車両電源を切ると、それらのデータがサーバーにパケット通信で送付される。測定に際しての詳細は以下の通りである。

(1) 動揺測定位置（小型端末の設置位置）について

本来、鉄道事業者が行う動揺検査は、台車中心床面上での測定が基本である。しかし、営業列車では乗客の邪魔に

もなり、台車中心床面上には小型端末を設置できない。

そのため、今回は図3に示すような運転台に設置して測定を行っている。本来の車両動揺の保守基準は、台車中心の床面の位置での測定が基本であるため、運転台での測定値は補正が必要である。

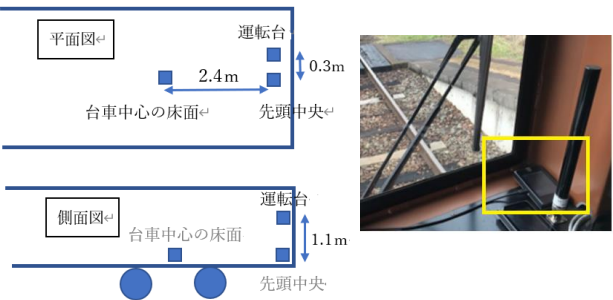


図3 小型端末の設置位置と状況図

(2) 動揺測定の位置同定について

車両動揺測定は時間基準でデータが取り込まれるが、データ処理を行う場合は位置同定が重要である。位置同定については、車速パルス、GPSの緯度経度情報、IMU等を活用するものなどがあるが、小型端末ではGPSの緯度経度情報とGPSの搬送波のドップラ効果をもとに測定する移動速度（以下、GPS速度と称す）が測定可能である。GPSの緯度経度情報による位置特定では、位置検知の誤差が5m～20m程度生じる確率が高い。そのため、GPS速度データから移動距離を算出して、位置同定をすることとした。GPS速度は、距離変化分を数cm単位で測定することが可能であるため精度が高いものである。^{5) 6)}

なお、従来の列車の動揺検査では、線路構造略図という1次元の管理図で地点が管理されている。また、軌道検測車による測定結果も、キロ程という1次元で結果が出力されるので、GPS速度による1次元管理は親和性を持っていると考える。

(3) 列車動揺の波形処理について

小型端末で測定される上下及び左右の振動加速度の代表値については、区間内の振動波形の中から最大の片側振幅もしくはp-p値の全振幅を読み取るピーク値、対象区間内の振動加速度瞬時値二乗和平方根を求める実効値(RMS値)などの代表値がよく知られている。

列車動揺の整備基準値は全振幅となっているが、今回の解析は、片振幅値を使っている。理由はどの地点で著大振動が発生したかを特定でき、軌道の保守管理に反映できる点で有用であり、測定器の設置位置や作業前後の振動の比較を容易に行うことができるからである。

(4) 動揺測定と軌道狂いの関係性について

動揺検査と軌道検測については、おのおの基準値が設定されている。A鉄道事業者の整備基準値は表2のとおりである。今回の解析では、軌道狂いと動揺値の関係性について検証することとした。なお、A鉄道事業者の測定区間の年間通トンとは約50万トンである。

表 2 軌道検測と動揺の整備基準値

高速軌道検測車(動揺値)の整備基準値			列車動揺の整備基準	
	高低	通り	(その他の旅客列車)	
整備目標値	19mm	19mm	上下動	全振幅0.30g
整備基準値	30mm	30mm	左右動	全振幅0.30g

3. 小型端末を用いた測定結果

(1) 動揺検査の再現性

A 鉄道事業者において 12 時 04 分に B 駅から C 駅に向かう列車の測定データにより検証を行った。軌道検測車での測定が行われた 5 月 19 日を中心に 4 月, 6 月, 7 月, 10 月と 8 回のデータを重ね合わせた。上下動と左右動について重ね合わせた結果をそれぞれ図 4 及び図 5 に示す。

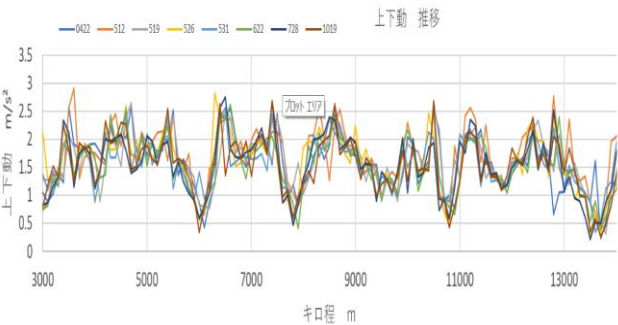


図 4 上下動の波形の重ね合わせ

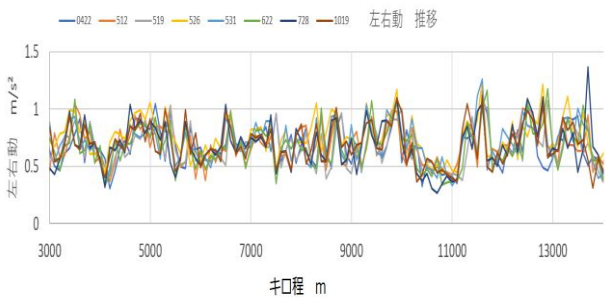


図 5 左右動の波形の重ね合わせ

なお, 8 回の走行速度はほとんど同じであり, 速度の違いによる動揺値の影響は無視できると考える。上下動・左右動とも同じような値をとっており, 動揺検査の再現性については問題ないと考える。

(2) 軌道狂いとの関係性について

5 月 19 日に測定された軌道検測車のデータと同日測定を行った動揺検査の値について関係性を確認した。

上下動については高低狂いを, 左右動については通り狂いとの関係性を検証した。100m 区間における上下動と高低狂いの最大値を表したものが図 6 であり, 左右動と通り狂いの最大値を表したものが図 7 である。

上下動については図 6 に示すように, 高低狂いと上下動の関係性が見られた。

また, 上下動を横軸に高低狂いを縦軸として関係を示したものを図 8 に, 左右動を横軸に通り狂いを縦軸として関

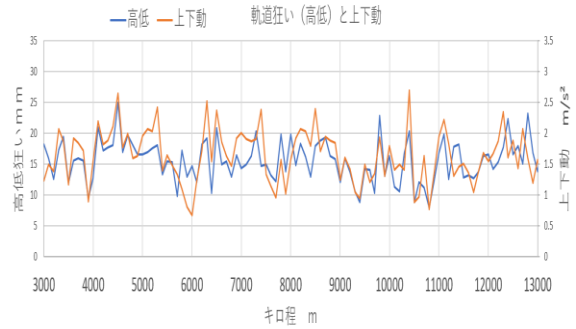


図 6 各地点での高低狂いと上下動

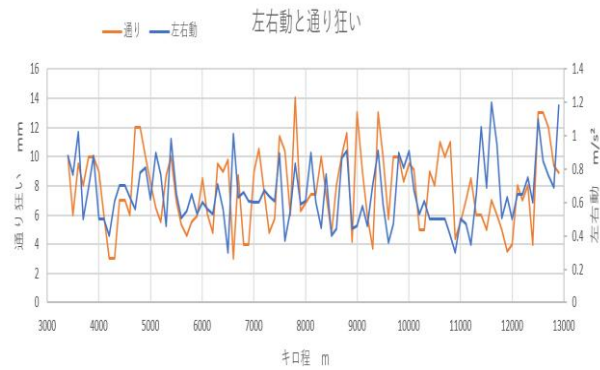


図 7 各地点での通り狂いと左右動

係を示したものの図 9 に示す。

上下動は片振幅で計測しているのので, 1.5m/s^2 を超過すると全振幅での整備基準値に達する。ただしこれは台車中心床面上の基準値であり, 過去の検証で運転台で測定すると台車中心床面上に比べ 2 割程度大きくなっていたため, 動揺値は 1.8m/s^2 を超過する箇所について検証した。

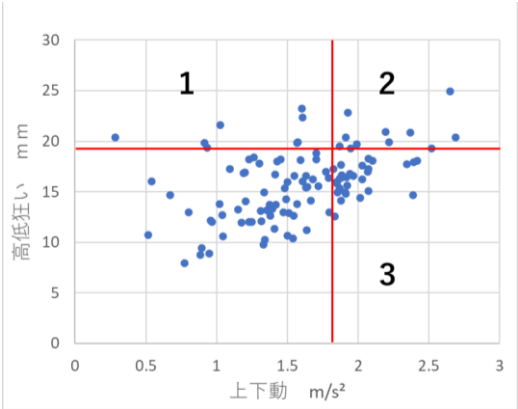


図 8 高低狂いと上下動の関係

上下動が 1.8m/s^2 を超過する箇所で高低狂いが整備目標値 19 mm を超過する箇所は 12 か所あった。ただし, 高低狂いが 19mm に達していない箇所が 28 か所あり, 高低狂いが 19mm 以上で上下動が 1.8m/s^2 に達していない箇所が 6 か所あった。

したがって上下動の動揺測定値を管理すれば, 高低狂い

の目標値を超過した箇所を把握することができるが、目標値に達していない高低狂い箇所を拾うこともあることが確認できた。

一方、左右動についてみると、図7に示すように各位置での左右動と通り狂いについても関係性が高いことがわかる。A鉄道事業者の線路においては、図9に示す通り片振幅が 1.5m/s^2 を超過する箇所はなかったこと、通り狂いについても目標値 19mm を超過する箇所は皆無であった。ただし、上下動も左右動も動揺値が大きいのに軌道狂いがさほどでもない箇所が散見されていた。この原因については特定できておらず、今後の課題だともいえる。

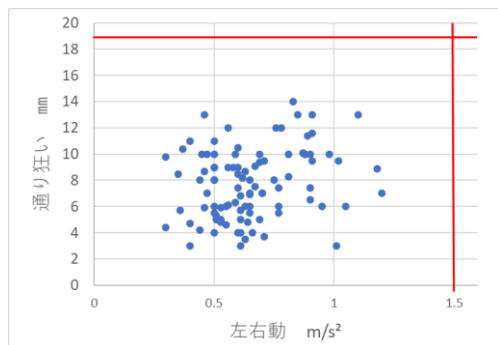


図9 左右動と通り狂いの関係

(2) 常時計測のメリット

常時計測のメリットとしては、自然災害・外的要因によるもの及び工事ミスなどに起因する軌道の急峻な変化をとらえることができることが挙げられる。軌道の急峻な劣化については今回抽出することはできなかったが、軌道補修を行えば軌道状態が急激に改善されるため、動揺波形に現れると考えた。そのため、マルチによる突き固め作業を行った箇所において、作業前と作業後で検証を行った。

図10に示すようにマルチ作業を行った前後で、上下動が大きく変化しており、毎日の測定により急峻な変化を動揺測定で把握することができる。また、図11に示すように軌道の経時変化を把握することにより、作業の補修周期が把握できるといったメリットが考えられる。

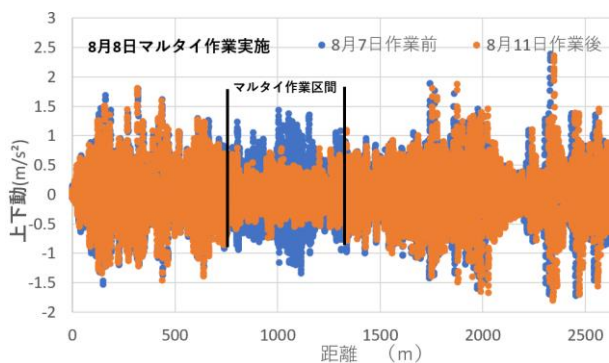


図10 マルタイ作業による上下動の変化

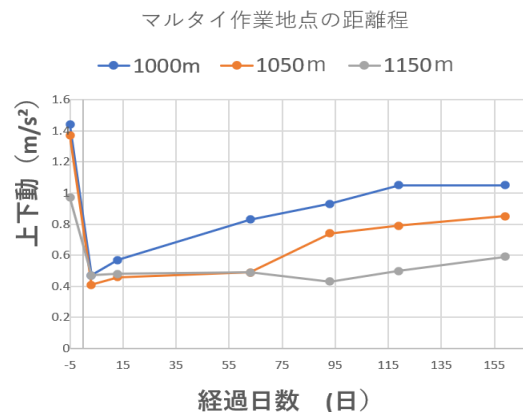


図11 保守後の経過日数に伴う上下動揺値の変化

4. まとめ

小型端末を用いて、列車の動揺測定を毎日実施してデータを採取解析することにより、軌道の状態監視を行うことが可能である。

次に、軌道検測の頻度は一般に低い(年1回程度)ので、毎日簡単に動揺測定が可能であれば、動揺検査を中心とした軌道管理を行うことが望ましいと考えている。ただし、上下動・左右動とも著大動揺が発生している個所の軌道狂いが大きくない箇所が散見されるので、これらの原因の究明が課題である。

参考文献

- 1) 森裕貴, 佐藤安弘, 大野寛之, 綱島均, 浅野晃: 小型レール状態診断装置による状態監視の活用例について, 交通安全環境研究所フォーラム, pp.125-126, 2015.
- 2) 田中博文, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した低コストな軌道状態管理に関する基礎的研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第22号, pp.39-46, 2018.
- 3) 篠田 憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 森裕貴, 綱島均, 松本陽: 小型情報端末を活用した地方鉄道における軌道管理手法の構築, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第24号, pp.39-46, 2020.
- 4) ビッグロブ株式会社ホームページ
<https://biz.biglobe.ne.jp/bl/index.html>, 閲覧日 2019.10.
- 5) 目黒淳一, 小島祥子, 鈴木徳祥, 寺本英二: GPS ドップラと慣性センサの統合による車両軌跡推定方法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.212-214, 2012.
- 6) 篠田憲幸, 森裕貴, 水間毅, 綱島均: GPS 速度の精度検証と列車動揺検査への活用について, 電気学会研究会交通・電気鉄道 リニアドライブ 合同研究会, pp.109-113, 2020.