

列車動揺検査における GPS 速度を用いた位置同定手法の提案

○ 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 朝山 翔太 (日本大学)

Proposal of position identification method using GPS speed in carbody vibration inspection

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

Hitoshi Tsunashima, Akira Matsumoto, Shouta Asayama (Nihon University)

One of the methods to monitor the state of the track is the carbody vibration inspection. A small-sized all-purpose information terminal, including sensors and communication functions, has been permanently installed on the driver's console of a train to carry out this inspection. However, when GPS latitude / longitude information is used for position identification, an error of approximately 10 m may be produced, which may make it difficult to identify a significant vibration point. Therefore, a method for position identification is proposed using the GPS-based speed measured by the Doppler effect of the GPS carrier wave.

キーワード : 小型汎用情報端末, 振動加速度, GPS 速度, 位置同定, 通り狂い, ヨー角加速度

Key Words : small-sized all-purpose information terminal, Vibration acceleration, GPS speed, Position identification, Alignment, Yaw angular acceleration

1. はじめに

最近の小型汎用情報端末(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, 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 inputs するインターフェースの機能を持つ小型端末を使えば, 列車動揺検査が簡単に行えると考え, 小型端末を利用した軌道管理手法を検討することとした。^{1) 2)}

現在, ある地方鉄道事業者(以下 A 鉄道事業者と称す)において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 (BL-02)³⁾ (外形写真及び表示画面例 図 1 参照) を用いた。

この動揺検査を行うにあたって, 課題となるのが位置同定である。マヤ車などの軌道検測車には, 車速の回転パルスと絶対位置を検出するための RFID など位置同定が行われている。しかし, 車速の回転パルスを信号として入力することは車両の一部改造を伴うことや, RFID の導入コ

ストの点からいっても, 費用が掛かるという課題があった。

特に今回は低コストの小型端末を運転台に設置して測定を行うため, これらの位置同定手法を使うことができない。

そのため, 小型端末から採取できるデータで, 著大動揺か所が把握できるような位置同定手法を検討し, 検証を行ったので報告する。

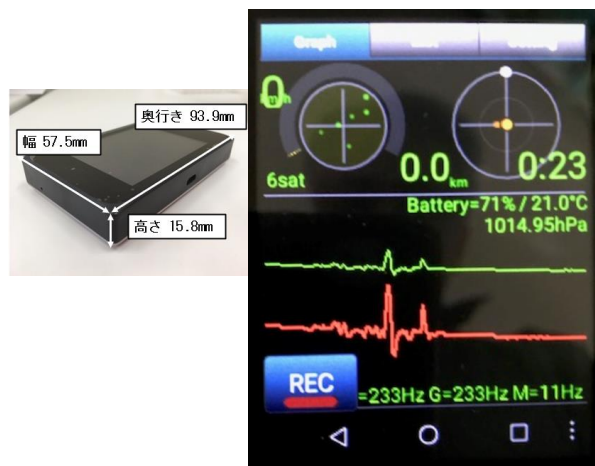


図 1 小型端末の外形と表示画面例

2. 位置同定手法について

列車の位置同定を行う手法としては、GPS の緯度経度情報を使う方法、IMU などによる自位置検知、前述したような車輪の回転パルスと RFID などの絶対位置検知手法との組み合わせなど様々な取り組みがなされてきた。

その中で、現在動揺検査として測定している小型端末からは表 1 のようなデータを採取することができる。

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

これらのデータから位置同定を行うには、緯度経度情報を用いるか、GPS 速度により位置同定を行うという手法が考えられる。

カーナビゲーションなどでは、GPS の緯度経度情報をもとに位置情報を取得する方式が採用されており、この方式は、安価で一般の列車への搭載も容易であり、この緯度経度データを国土院の地図などに落とし込んで位置同定を行えるようになっている。しかしこの方式では、図 2 に示すように位置検知の誤差が 30m 程度生じる場合がある。



図 2 緯度経度情報による列車の走行軌跡

緯度経度情報から算出する速度については、時刻差から求められた距離(疑似距離)であり、L1(1575.42MHz) の C/A コード (coarse/acquisition code) を用いるために、分解能は 300m 程度となっている。

小型端末を用いた軌道管理手法の構築にあたって、GPS の緯度経度を用いた位置情報では、正確な補修位置を測定することが精度的に困難であると考えられる。そこで 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)に着目し、この速度情報から移動距離を算出して、位置同定を試みることにした。以下に、GPS 速度について説明する。

GPS 衛星は非常に安定した一定の波長及び周波数の波を出力しているため、受信する搬送波の周波数はドップラ効果によって受信機の移動速度に合わせて連続的に変化し、その周波数変化分で移動体の速度(GPS 速度)を算出することができる。

GPS 速度の場合は、C/A コードではなく、搬送波の位相を利用しており、数 cm 単位で距離変化を測定することができるため、精度が高いといえる。⁴⁾⁵⁾

なお、列車の動揺検査では、従来の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ているので、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. GPS 速度の検証について

GPS 速度を用いる位置同定においては、GPS 速度の精度が位置精度に関わってくるので、GPS 速度の検証を行った。

GPS 速度の検証には、移動距離がミリ単位で測定可能なレーザドップラセンサとの比較により検証を行った。レーザドップラセンサは移動体にレーザを照射すると反射光は速度に比例した周波数を持った反射光が戻ってくる。しかし、レーザドップラセンサは床下に設置する必要があるため、営業車での計測は難しい。

そこで検証を図 3 に示すように、2 事業者での測定で 2 段階にわたり行った。

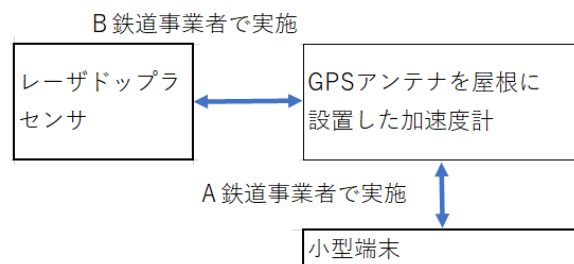


図 3 GPS 速度の確認方法

まず試運転の運用が可能であった B 鉄道事業者においてレーザドップラセンサと屋根上に GPS アンテナを搭載した多摩川精機製の振動加速度計(以下加速度計と称す)の GPS 速度情報を用いて比較検証を行った。



図 4 レーザドップラセンサの取り付け状況

B鉄道事業者の路線は、マルチパスを受けないGPS電波の受信状況が良い区間での測定であった。両センサの測定結果を図5に示すが、ほぼ一致しており加速度計のGPS速度を参照値とすることとした。

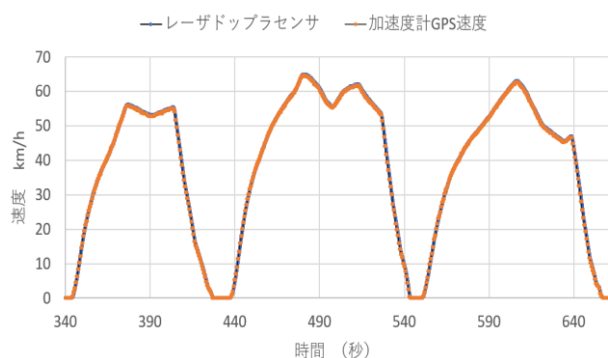


図5 レーザドップラセンサと加速度計の速度

A鉄道事業者において、加速度計と小型端末の比較を行った。速度の測定結果は図6に示すとおりである。この区間はトンネルやマルチパスが発生する森林などが点在している。

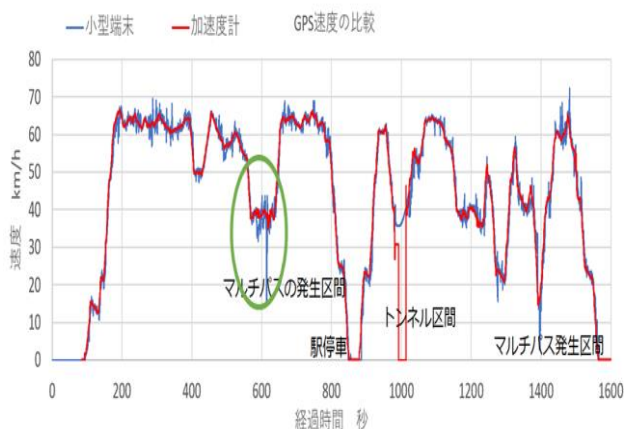


図6 小型端末と加速度計との比較結果

この結果を見ると、小型端末は列車の先頭方向のGPS衛星からの電波しか受信できないため、速度のふらつきが見られた。また、マルチパスの影響を受け大きな速度低下が見受けられた。トンネル区間については、小型端末は速度を保持していたが、加速度計は測定不能ということで0km/hとなっていた。

課題としてはトンネル区間とマルチパスの発生する区間である。トンネルについてはGPSの電波を受信することはできないので速度を検出することはできない。そのため、出力波形と累計距離からトンネルを把握して、入り口と出口でのGPS速度からトンネル内の速度を推定することとした。

しかし、マルチパスは衛星の配置状況によりランダムに発生する。マルチパスにより速度がばらついたり、速度が低くなるといった課題があった。したがって、このマルチ

パスの処理が重要になってくる。これらの点を補正するため、移動平均法による速度補正と、線路図表などによるマップマッチングを行うことを考えた。

4. 位置同定における補正手法について

(1) マルチパスの発生している区間の速度補正

サンプリング周波数80Hzで採取したGPS速度を積分することにより移動距離を求めた。マルチパスの発生している区間においては、測定した速度の移動平均をとる方法、多重解像度解析などの処理により補正する手法がある。

今回は移動平均を用いての速度補正を行った。実際に発生したマルチパスの区間の速度低減について補正を行った結果を図7に示す。移動平均を使う場合に注意すべき点は、移動平均を行う範囲である。

移動平均は、前後1秒、3秒、5秒、7秒、10秒で参照値の速度に近くなる秒数を求めた。図7に示すように、前後1秒、3秒では速度低下がはっきりわかり処理が不足していることがわかった。また、前後10秒の場合は、波形が前方へシフトしていることや速度変化の時に速度が高めに出るという結果となった。したがって、前後5秒の移動平均をとることとした。

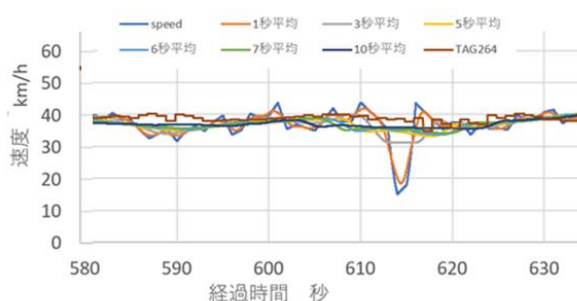


図7 経過時間600秒付近の拡大図

この速度補正を行うことにより、位置同定を行った上下動の波形は、図8のように参照データの加速度計のものと比べて、シフト量が青色から黄色となり13mの改善が見られたが、鼠色の加速度計に比べるとまだ10mの誤差が残った。

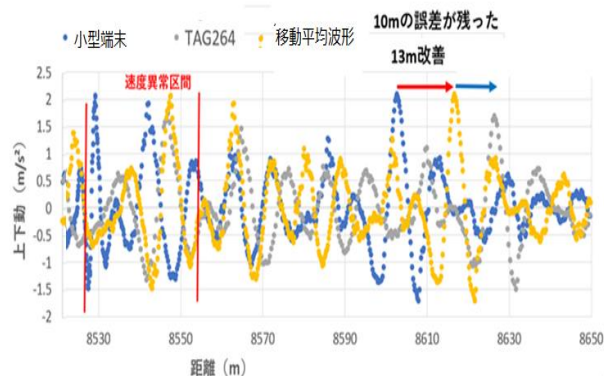


図8 移動平均による速度補正の効果

また、小型端末では停車前後については速度が測定できないということが確認できた。しかし低速の場合は、動揺測定値が小さいので測定対象外となるため大きな問題ではない。ただし、列車の出発地点が不明となり位置同定に狂いが生じることから、後述するマップマッチングで対応することとした。

(2) マップマッチングによる位置同定

鉄道事業者の保有する1次元の線路平面略図を基本として、軌道検測車のデータの中から通り狂いを重ね合わせると曲線部の始終点が把握することができる。

一方、小型端末ではヨー角速度が測定でき、曲線部の始終点が把握できるのでこの値を参照値としてマップマッチングを行った。その結果を図9に示す。通り狂いと線路平面略図の曲線の始終点はほぼ一致していた。ただ、通り狂いの方がより現場の線形を正確に反映していると思われるので、通り狂いの値を用いて曲線の始終点を合わせることとした。図で見ると、ヨー角速度は距離が短くなっているため、曲線の始終点ごとに距離を比例配分して補正を行った。

これらの位置同定を行うことにより、急峻な軌道狂いの発生や、マルタイなどによる軌道状態の改善の確認が可能となり、軌道管理として今まで以上に動揺検査の有効活用が可能となる。また、小型端末は常時設置され、毎日計測されるため、この位置同定を自動化することにより、データ処理の省力化を図ることができる。

5. まとめ

小型端末による動揺検査を行ううえで重要な位置同定についての検証を行った。

GPS速度を基本としてマップマッチング等により位置

同定を行えば、管理上問題のない位置精度が取得できることがわかった。

ただし、トンネルやマルチパスの発生する受信状況の悪い区間においては速度を補正する必要がある。この補正方法として移動平均を使用したところ、精度向上することがわかった。

今後さらに位置同定の精度を向上させることが必要であるが、移動平均ではなく多重解像度解析などの手法を使うことにより、さらに正確な速度補正が可能かどうかの検証を行いたい。また、トンネル内での位置検知は、定尺レール区間であれば、継目検知が確実なので継目を検出できないかの検討も行っていきたい。

参考文献

- 1) 田中博文，蘇迪，長山智則：携帯小型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.
- 2) 篠田 憲幸，佐藤安弘，緒方正剛，森裕貴，綱島均，松本陽：小型小型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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.109-113，2020.2)

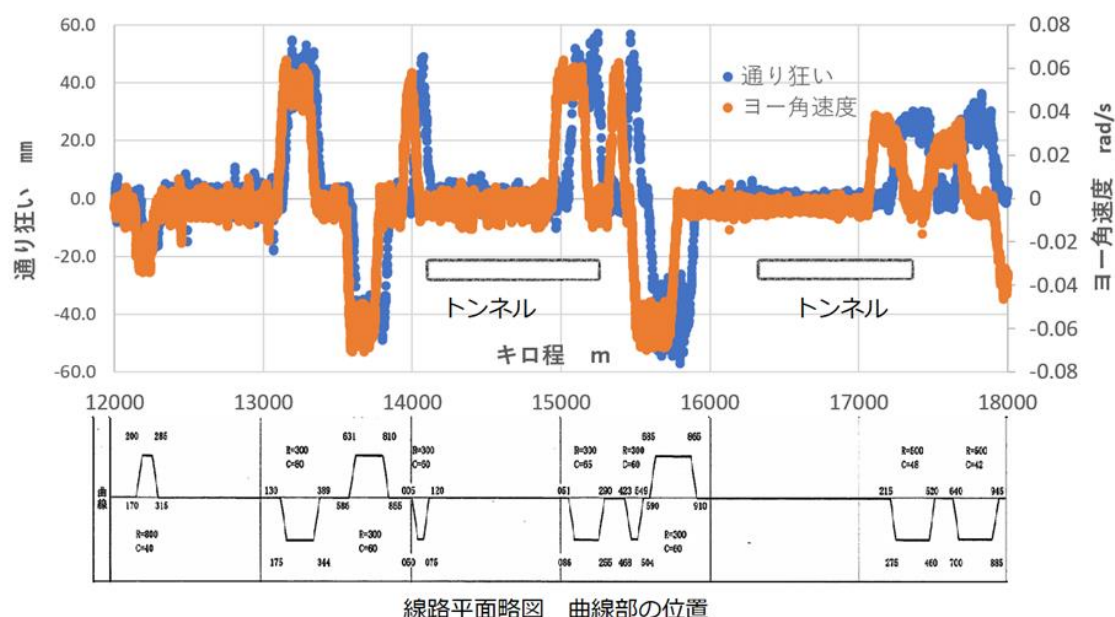


図9 線路平面図，通り狂い，ヨー角速度の位置合わせ