

在来線慣性正矢軌道変位測定装置の低速域における測定精度向上

東日本旅客鉄道株式会社	正会員	○吉田 尚
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	葛西 亮平
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	元好 茂
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	小西 俊之

1. 概要

JR 東日本では、CBM を通じたスマートメンテナンスの実現のため、線路設備モニタリング装置の導入を進めている。同装置は、軌道変位を測定する『軌道変位モニタリング装置』と、軌道材料状態を判定する『軌道材料モニタリング装置』から構成される（図1）。軌道変位モニタリング装置は、（公財）鉄道総合技術研究所において開発された慣性正矢法を採用した装置であり¹⁾、営業列車に搭載することで高頻度に軌道変位データが取得できるようになった。

慣性正矢法では、加速度の積分を行うことから、加速度とノイズの差が小さくなる低速時には精度が低下する問題がある。そこで、軌道変位モニタリング装置は慣性正矢装置に加えて差分装置を搭載し、慣性正矢法と同時に差分法による測定を行うことで、差分法により 50km/h 以下の低速域における測定精度を補償し、0km/h からの測定を可能としている²⁾。しかし、今後搭載を進める中で、差分装置の搭載スペースが無い車両が出てくる可能性がある。

そこで本稿では、差分装置の省略を見据えて、慣性正矢法による低速域の測定範囲拡大のために、測定装置の演算回路を見直した結果について報告する。



図1 線路設備モニタリング装置外観

2. 開発の概要

軌道変位モニタリング装置は、図2に示すように台車を挟んで2つの検出ユニットを搭載している。

キーワード 線路設備モニタリング装置、慣性正矢法、積分回路

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 TEL 048-651-2389 FAX 048-651-2289

慣性正矢装置、差分装置ともにレール変位検出器を搭載しており、慣性装置には加えてジャイロと加速度計が搭載している。

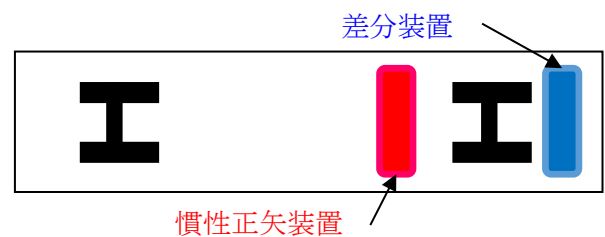


図2 軌道変位モニタリング装置の測定装置の概要

慣性正矢法は、加速度が変位の2次微分になっているという力学の法則を利用し、軌道変位による加速度を検出してそれを2回積分することにより軌道変位を求める方法である。

高低、通り変位においては、車体に取り付けられた慣性正矢装置内に搭載されている加速度計（図3）から得られた加速度を2回積分することにより、軌道変位による車体の変位を求め、レール変位検出器により車体とレールとの相対変位を測定し、両方の値を加算することによりレールの変位を求め、それに10m 弦変換フィルタの処理を行って10m 弦正矢量を求めている。

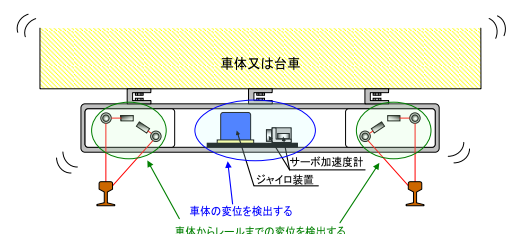


図3 慣性正矢装置の機器構成概要

慣性正矢装置では、2回積分をアナログの積分回路により実装しており、安定化のためのハイパスフィ

ルタ (HPF) 処理を同時に利用できる演算装置となっている³⁾。HPF 処理はカットオフ周波数を固定してしまうと、同一区間を測定しても、走行速度に応じて変位の波長成分が変化してしまうことから、図4のような速度可変のフィルタ特性となっている。具体的には速度は電圧として入力されるが、新幹線にも対応可能なレンジで設定されていたため、在来線の速度に合わせてレンジを変更することで、速度電圧の分解能を高め、低速域における測定精度を向上する効果が期待された。

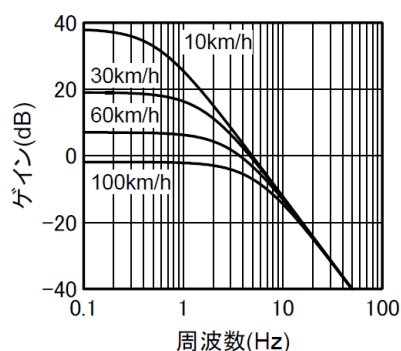


図4 速度と積分回路の周波数特性³⁾

そこで、在来線用に速度電圧のレンジを修正し、2回積分回路を改良することにより、慣性正矢法による測定を適用する速度帯域を表1のように拡大することを試みた。そして、改良した2回積分回路を既に導入されている軌道変位モニタリング装置に試験的に搭載し、その効果を検証した。

表1 改良前後の慣性正矢法速度帯域

改良前	50～288km/h
改良後	24～144km/h

3. 結果

2回積分回路の改良による低速域の精度を検証するため、約2週間の検証期間における快速列車の通過駅付近の測定データを用いて、以下の方法により再現性精度を評価した。

【前処理】

線形成分を残しつつ直流成分を除去するため、1000m以下の波長成分を残すフィルタを処理。

【評価方法】

- ① 通過する快速列車（中高速域）で測定した軌道変位の検証期間中の期待値を真値とする。
- ② 停車する普通列車の測定値と①の差を測定誤差とし、速度と対応付ける。

- ③ ②の測定誤差を速度2.5km/h刻みで階級を分け、階級別の測定誤差の標準偏差(1σ)を求める。これを速度依存の再現性精度と考える。

改良前後における再現性精度は図5に示す結果となった。慣性正矢法による測定では、再現性精度が0.5mmに収まることを目標としている。高低変位については、改良により目標を達成する最低速度が、62.5km/h→22.5km/hに改善され、表1の速度帯域で精度が保たれていることを確認した。

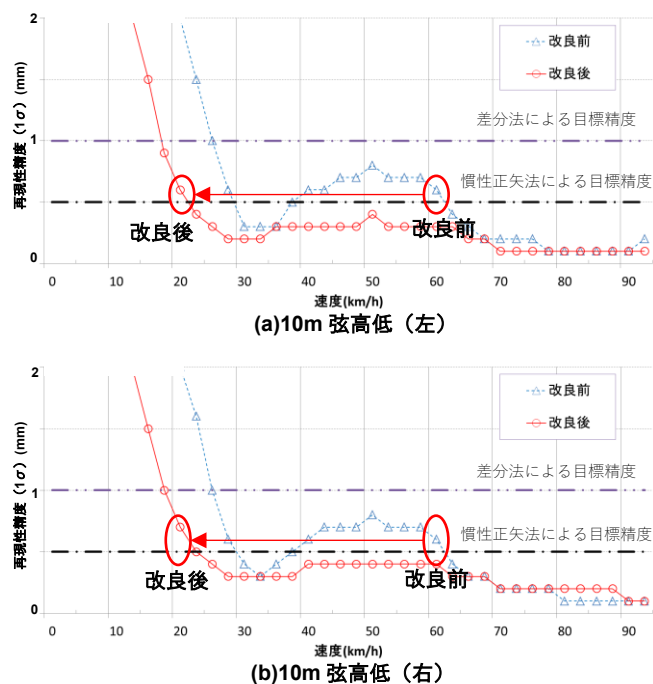


図5 改良前後の再現性精度比較

4. まとめと今後の課題

2回積分回路の改良により、慣性正矢法による速度帯域は、50km/hから24km/hまで下げられる試験結果を得ることができた。そのため、2回積分回路については、導入済みの装置も含めて全て今回試作した改良型に更新した。

今後は、通り変位も含めて再現性精度を確認し、差分法との最適な組み合わせ方法を検証し、装置の制御方式の変更を行う予定である。

参考文献

- 1) 三和, 矢澤, 佐野, 山口: 高頻度の検出で軌道の状態変化を診る, RRR, Vol. 73, No. 2pp. 12-15, 2016. 2
- 2) 坪川, 矢澤, 小木曾, 南木: 車体装架型慣性正矢軌道検測装置の開発, 鉄道総研報告 Vol. 26, 2012. 2
- 3) 矢澤, 吉田, 坪川, 岡井: 慣性正矢軌道検測装置用高精度演算ユニットの開発, 土木学会第59回年次学術講演会, 4-043, 2004