

1 次差分法による慣性測定の低速時高低検測精度補償

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 南木 聡明
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 矢澤 英治
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 松田 博之

1. はじめに

鉄道総研では、慣性測定法の欠点を補った「慣性正矢法」による小型軌道検測装置の開発を進めている。現在、台車装架型（台車枠に設置）については実稼動を開始し¹⁾、また車体装架型（車体の床下に設置）についても営業線における試験検測から概ね実用精度に達していることが確認されている²⁾。一方、慣性測定法の短所である低速時の精度低下については、時速約20km/hまでの精度を保証するに留まっており、検測下限速度を更に引き上げることが求められている。そこで本稿では、慣性正矢法の低速時における検測精度補償について検討した。

2. 低速時補償手法の検討

慣性正矢法は、加速度計出力と変位計出力から軌道変位を求める測定法である。そのため、測定される加速度が走行速度の低下によりセンサーの最小検出感度よりも小さくなると測定精度が低下する。したがって、列車停止時から検測を行うことはできない。

そこで本稿では、レール変位検出装置をもう1組付加する検測補償手法を検討した。図1はそのイメージを示したものである。慣性正矢軌道検測装置にはジャイロが内蔵されている。そこで、このジャイロ信号と2組の変位計出力を利用した差分法により軌道変位を求め、低速時の検測精度を補償することとした。またこの手法は、加速度によらない測定系のため列車停止時からの測定が可能となるという利点もある。

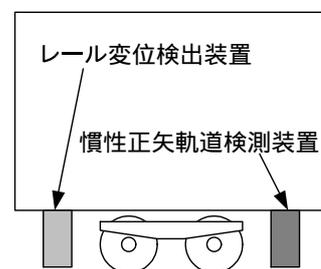


図1 レール変位検出装置付加イメージ

3. 1次差分による補償精度の検証

前述の補償手法のうち、本稿では1次差分により高低変位を求める手法について検証する。図2は、検証に用いた軌道検測車を示したものである。2つの高低変換器の設置間隔は2.25mであることから、式(1)により2.25m 1次差分 $V_{2.25}$ を求め、それをフィルタにより変換し10m弦高低変位を求めた。そして、同時に測定した偏心矢測定系による10m弦高低変位との比較からその精度を確認した。

$$V_{2.25} = 2250 \times \tan(((a - b) / 2250) - \phi) \quad \text{式(1)}$$

図3は、2.25m 1次差分から10m弦正矢へ変換した波形と、この車両の偏心矢測定系から10m弦正矢へ変換した波形とを示したものである。なお図中の区間は、駅停車前後の低速時の例である。図より、2つの波形は高い精度で一致しており、その誤差の標準偏差は0.2mmと新幹線の精度目標である0.3mm以下を満足している。過去に行われた同様の試算では、誤差の標準偏差は0.6~1.0mmであった³⁾ことから、今回の結果にはジャイロの精度向上が大きく寄与していると考えられる。

一方、1次差分による補償では、車体構造を簡素化するために車体のたわみを補正するレーザー基準を省略したい。しかし、車体のたわみによる誤差は走行速度に伴い増加することが懸念される。そこで、走行速度と2つの波形の誤差の標準偏差との関係を、1ロット100mに区切り確認した。その結果を図4に示す。

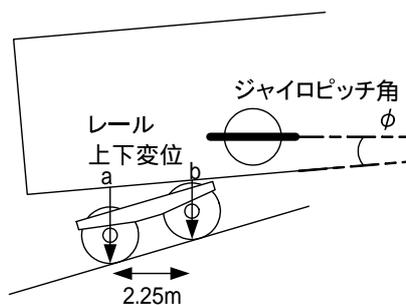


図2 今回の検測車による1次差分検測

キーワード 軌道検測、慣性測定法、慣性正矢法、1次差分法、10m弦正矢高低、検測精度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所(軌道管理) TEL:042-573-7278

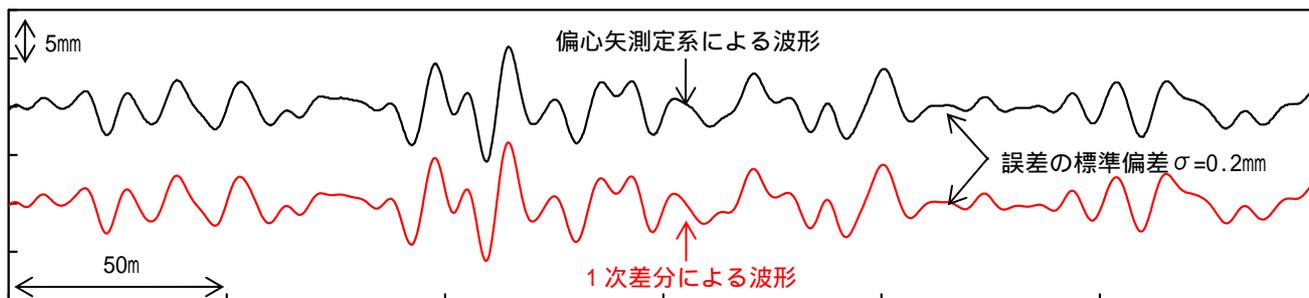


図3 10m弦高低の波形比較

走行速度の増加に伴い、誤差の標準偏差も増加傾向にあることが伺えるが、速度約50km/hまでは、新幹線での精度目標である標準偏差0.3mm以下を満たしていることがわかる。

以上より、1次差分は慣性正矢法の低速時における検測補償手法として実用可能であるといえる。また、新幹線の精度目標を勘案すると、速度約50km/hまでの間に1次差分から通常の慣性正矢測定に切り替えることが適切であると考えられる。

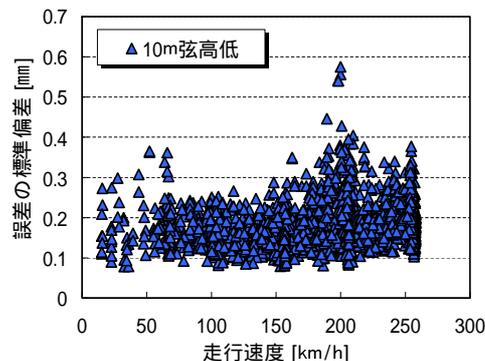


図4 速度と誤差の標準偏差との関係

4. 検測補償に適した装置間隔

図5は、各種1次差分から10m弦正矢へ変換する際の振幅特性を示したものである。図より、10m弦正矢の検測倍率が高い波長10m前後の振幅特性から、5m1次差分が10m弦正矢への変換が最も安定する。また、今回検証した2.25m1次差分は、波長10m前後の振幅特性が高くなり誤差をも拡大する。そのため、5m1次差分よりも精度確保には不利な条件となるが、その精度は新幹線での精度目標を十分に満足していた。したがって、2つの装置間隔を5mとすれば更に高精度な補償が期待できる。

なお、2組の装置間隔は5m以内に限られる。これは装置間隔が5mを超えると、図5(c)の例のように、10m弦正矢への変換の振幅特性は装置間隔とその整数分の1の波長で不安定になるためである。

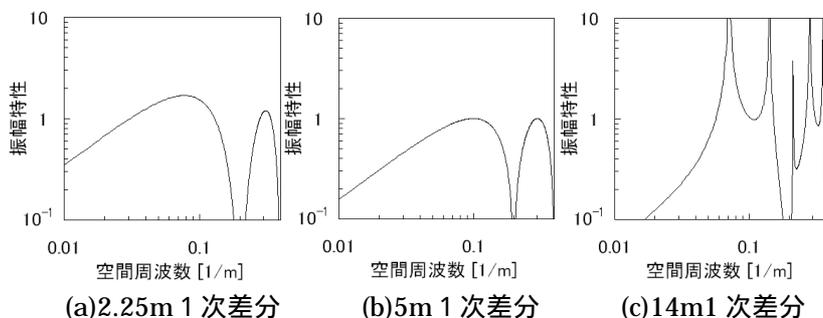


図5 1次差分から10m弦正矢への振幅特性

5. まとめ

慣性正矢法の低速時における検測精度補償として、1次差分により高低変位を求める手法を検討した。その結果、1次差分は低速時の高低変位の検測補償として実用上十分な精度が得られていることがわかった。なお、通り変位に対する補償精度の検証は文献4)にて別途報告する。

参考文献

- 1) 森高、松本、矢澤:九州新幹線車両による総合軌道検測実現に向けた技術開発、日本鉄道施設協会誌、2009.11
- 2) 南木、矢澤、松田:車体装架型慣性正矢軌道検測装置の試験検測、第16回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2009)、p271-p274、2009.12
- 3) 竹下:1次差分法による正矢狂い検測、平成8年鉄道連合シンポジウム(J-Rail96)、p331-p334、1996.07
- 4) 矢澤、南木、松田:2次差分法による慣性測定の低速時通り検測精度補償、土木学会第65回年次学術講演会(投稿中)、2010.09