

ポータブル軌道検測器の開発

東海旅客鉄道株式会社 正員 永沼泰州
東海旅客鉄道株式会社 正員 奥村隆之

1. はじめに

保線作業における糸張り検測の装置化を目的として、LIGHTREC（ライトレック）と呼ばれる軌道検測装置が開発され、一般部および分岐器の軌道狂い検査等に活用されている。ライトレックは従来装置と比較して大幅な軽量化を実現したが、それでも軌間ゲージのように気軽に持ち運べる測定器具ではない。このため、むら直しのように機動性が求められる作業の仕上がりチェックには、依然として糸張り検測が行われている。そこで、測定項目は限定されたとしても、とにかく安価・軽量で、堅牢・高精度なポータブル軌道検測器が必要と考え、技術開発を開始した。本稿では試作機の概要、測定原理、測定精度等について報告する。

2. コンセプトと測定原理

開発にあたり、(a) 安価・軽量・堅牢で気軽に持ち運べること、(b) むら直し後の10 m弦高低狂いが精度良く測定できること（再現性誤差 ≤ 1 mm）、(c) 軌間・水準・平面性も測定可能であること、の3点をコンセプトとした。可動部が無く、持ち運びやすい弦長で所望の検測精度を確保するため、測定原理には2点で検測可能な1次差分法を選択した（図-1）。1次差分法は、傾斜角 θ を用いて軌道実形状 $x(\xi)$ における2点間 L の高低差 $y(\xi)$ を式(1)により測定する方法で、軌道検測車における「長波長高低狂い」の測定原理として良く知られている。通常、 θ は微小なので、 $l \cong L$ とみなしてよい。

$$y(\xi) = x(\xi) - x(\xi - l) \cong L \tan \theta \quad (1)$$

(1) 式をフーリエ変換して、1次差分法の周波数特性は式(2)となる。

$$H_{FD}(\omega) = Y(\omega)/X(\omega) = 1 - e^{-j\omega L} \quad (2)$$

$L=1.25$ mの場合の振幅特性 $|H_{FD}(\omega)|$ を図-2に示す。図中に2.5 m弦正矢法の振幅特性 $|H_{VS}(\omega)|$ も併記した。正矢法の半分の弦長にもかかわらず、1次差分法は長波長域で高い検出能力を有していることがわかる。

検測車やトロで走行しながら傾斜角を連続測定する場合、前後方向加速度の影響を避けるために運動計測装置(IMU)が不可欠であるが、これは非常に高価である。そこで、傾斜角計測を静止状態で行う「間送り測定」とすることで、安価な傾斜角センサの利用を可能とした。10 m弦正矢は通常数m以上の波長で評価されるため、1 m程度の間送り間隔なら測定精度に問題は生じない。

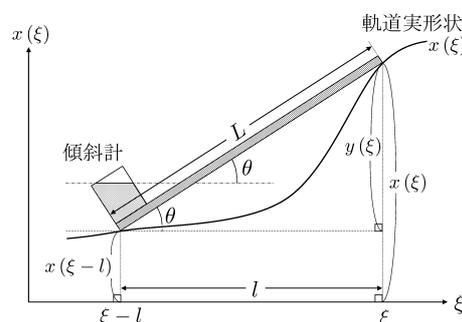


図-1 1次差分法の測定原理

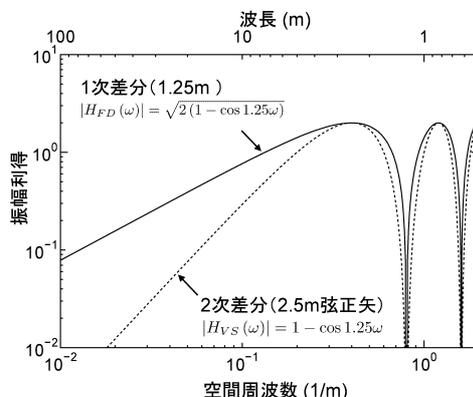


図-2 1次差分法の振幅特性

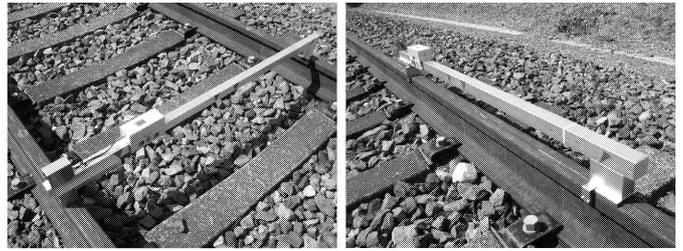
3. 試作機の概要

試作機の外観を図-3に示す。水準検測用と高低検測用の傾斜計を兼用するため、まくらぎ方向に使用する「軌間・水準・平面性検測モード」と、レール長手方向に使用する「高低検測モード」を使い分けることにした。微小な高低差検出のため、傾斜計には高い分解能が求められるが、選定したセンサ（液体封入式の静電容量型傾斜計）の検出精度は 0.001° 以下であり、10

キーワード: 軌道検測, 傾斜計, 1次差分, 10 m 弦正矢法

連絡先: 〒 485-08014 愛知県小牧市大山 1545 番 33 東海旅客鉄道(株) 技術開発部 Tel 0568-47-5371/ Fax 0568-47-5364

m 弦換算後でもサブミリの分解能が期待できる。耐衝撃性は $5,000 \text{ m/s}^2$ (500 G) で堅牢性にも不安はない。試作機は全長 1,615 mm, 防塵・防滴構造とし, 単三アルカリ電池 4 本で 10 時間以上稼動する。高低検測モードでは, 手元の表示機に開始地点からの距離と 10 m 弦高低の値が表示される。なお, 今回の試作機は傾斜角計測による高低狂い検測精度の把握が主目的なので, 軌間測定機構は省略し, 軽量化にも配慮しなかった。



<軌間・水準・平面性検測モード>

<高低検測モード>

図-3 試作機の外観

4. 10 m 弦正矢への変換法

測定された 1.25 m 間の 1 次差分データから 10 m 弦を求める方法はいくつか考えられるが, 今回は以下に述べる 3 つの方法について検討した。周波数領域での各演算の概要を図-4 に示す。

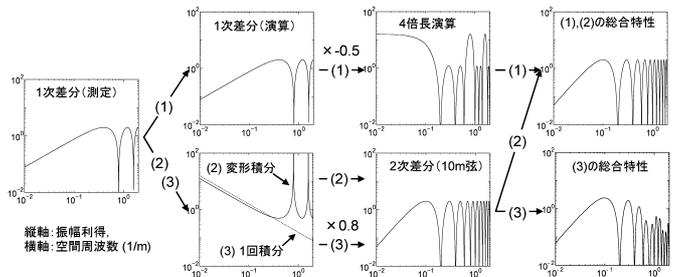


図-4 10 m 弦正矢法への変換

(1) 1 次差分 and 4 倍長演算

測定データに対して 1 次差分演算を行い, 係数 (-0.5) を乗じれば 2.5 m 弦正矢になる。従って, これを 4 倍長演算すれば 10 m 弦正矢が得られる。いずれの演算も安定である。

(2) 変形積分 and 2 次差分

1 次差分の完全な逆演算である変形積分により原波形を求めた後, 2 次差分演算により 10 m 弦正矢を得る。変形積分演算は不安定なので, 計算途中で得られる原波形は利用できないが, 通常の測定延長なら 10 m 弦演算には悪影響を及ぼさない。演算結果は (1) で得られる 10 m 弦と完全に一致する。

(3) 1 回積分 and 2 次差分

測定データを単純積分し, (2) と同様に 2 次差分演算で 10 m 弦を得る。変形積分に代えて単純積分を用いることによって短い波長は平滑化され, 滑らかな 10 m 弦波形が得られる。若干のドリフトと, 0.8 (変形積分と単純積分の直流利得の比) を係数として乗じることに注意すれば, 単純積分結果を原波形の近似値として利用することもできる。今回の試作機にはこの演算方法を採用した。

5. 測定精度の検証

試作機の高低狂い検測精度を確認するため, 研究開発施設内の実験線にて再現性試験を行った。傾斜角および 10 m 弦高低狂い (1 回積分と 2 次差分で算出) の測定結果を図-5 に示す。4 回測定した場合の差異は最大でも 1 mm 以下であり, 今回試作した測定器は目標としていた高低狂い検測精度を満足していることが確認できた。

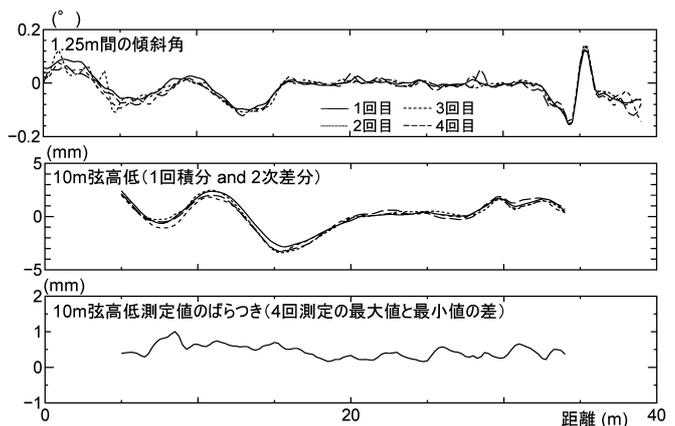


図-5 精度確認試験の結果

6. おわりに

安価な傾斜計を用いて 1 次差分法で高低狂いを計測するというアイデアにより, 気軽に持ち運べるポータブル軌道検測器が現実のものになりつつある。有道床軌道メンテナンスの大部分を占めるむら直し作業後に, 正確な高低狂いデータを記録できるメリットは大きい。今回は 10 m 弦への演算について紹介したが, 5 m 弦や偏心矢など他の指標も簡単に計算できる。今後は魅力ある製品に仕上げるべく, 軽量化やユーザビリティ向上などの改良を重ねたい。

参考文献

- 1) 吉村彰芳: 軌道狂い原波形の復元に関する理論的基礎の確立とその応用, 鉄道技術研究報告, 第 1336 号, 1987 年 2 月。
- 2) 永沼泰州: 変形積分器を用いた原波形復元の試み, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月。