

IV-292

1 次差分法による正矢狂いの検出手法

鉄道総合技術研究所 正会員 竹下邦夫

1. はじめに

在来線における現在の軌道狂い検測は、主としてマヤ34型高速軌道検測車により行われている。この検測車は3台車構造の車両で、10m弦正矢法により高低狂い、通り狂いを検測する。将来の軌道検測車について考えると3台車を必要とせず、しかも低コストで検測できる方法が望まれる。ここではこのような条件を満たす検測手法として1次差分法を選定し、1次差分法の検測結果から正矢狂いを求める方法を明らかにすると共に、ジャイロ装置として比較的安価なファイバジャイロ装置を用いた場合の試験結果について述べる。

2. 1次差分法による正矢狂い検測の理論検討

1次差分法は2点でのレール変位の差分から軌道狂いを検測する方法で、2点でのレール変位の他に車両の姿勢角の検出が必要となる。一般に姿勢角の検出にはジャイロ装置が用いられる。図1は高低狂いの場合の1次差分法の原理を示すもので、ジャイロ装置により検出される車体のピッチング角を $\phi(y)$ とし、レール変位の検出点間隔である弦長を l_1 とし、2点でのレール変位を $d_1(y)$ 、 $d_2(y)$ とすると1次差分値 $V_1(y)$ は次式で表される。

$$V_1(y) = d_1(y) - d_2(y) + \phi(y) \cdot l_1 \quad (1)$$

また、レールの絶対形状を $Z_0(y)$ として、1次差分値 $V_1(y)$ は次式で表される。

$$V_1(y) = Z_0(y) - Z_0(y - l_1) \quad (2)$$

式(2)をZ変換を用いて表すと次のようになる。

$$V_1(z) = H_1(z) \cdot Z_0(z) \quad (3)$$

$$H_1(z) = 1 - z^{-1} \quad (4)$$

ここで z は z 変換のパラメータを表す。式(4)に示した $H_1(z)$ は1次差分法の伝達関数となる。また同様に、正矢法の検測値 $V_{10}(y)$ は弦長を l_2 として、式(5)、(6)で表される。

$$V_{10}(z) = H_{10}(z) \cdot Z_0(z) \quad (5)$$

$$H_{10}(z) = -0.5 + z^{-1/2} - 0.5 \cdot z^{-1} \quad (6)$$

ここで、 $H_{10}(z)$ は正矢法の伝達関数となる。式(3)と式(5)より1次差分法の出力 $V_1(z)$ から正矢狂い $V_{10}(z)$ を求めるためには、次に示す演算を実施すればよいことになる。

$$V_{10}(z) = H_{10}(z) \cdot Z_0(z) = H_{10}(z) / H_1(z) \cdot V_1(z) \\ = H_{101}(z) \cdot V_1(z) \quad (7)$$

$$H_{101}(z) = H_{10}(z) / H_1(z) \quad (8)$$

ここでは一例として5m弦1次差分法を用い、得られる正矢狂いとして10m弦正矢を想定した場合、変換の演算式を式(4)、(8)より求めると次のようになる。

$$H_{101}(z) = (-0.5 + z^{-1/2} - 0.5 \cdot z^{-1}) / (1 - z^{-1}) = -0.5(1 - z^{-1}) \quad (9)$$

この場合の1次差分法と正矢法、および1次差分から正矢への変換の伝達関数は図2のようになる。

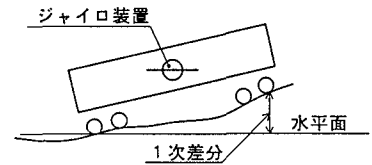


図1 1次差分法

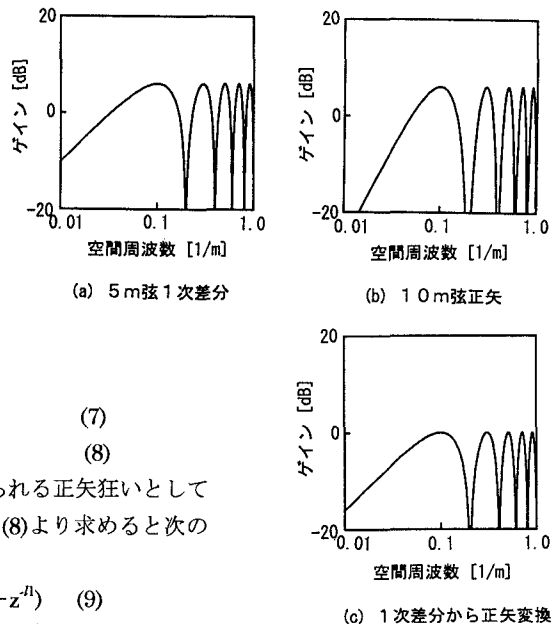


図2 正矢への変換の伝達関数

3. ジャイロ装置が発生する誤差の正矢狂いへの影響

1次差分法ではジャイロ装置を用いるために、正矢への変換演算の結果にジャイロ装置の発生する誤差が影響を与える。ジャイロ装置で発生する誤差を明らかにするため、ジャイロ装置の試験を実施した。試験はファイバジャイロについて行い、トロッキにジャイロ装置を設置して軌道上を走行させ、その再現性を調べた。その結果について式(1)の1次差分演算および式(7)の正矢への変換演算を行った。その結果を図3に示す。この結果から正矢に変換後の誤差は2.8mm程度とかなり大きな値であった。なお、使用したジャイロの分解能は仕様の上では 0.01° 以下である。

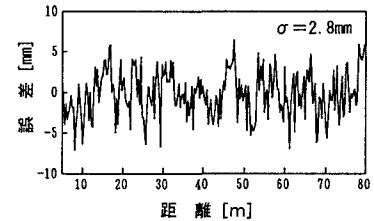


図3 ジャイロ誤差の正矢への影響

4. 現車走行試験

実際の検測車での検測精度を明らかにするため、現車走行試験を実施した。試験はJR東日本が所有するマヤ342002型軌道検測車を使用し、車上にファイバジャイロ装置を仮設し、レール変位にはマヤ車の変換器出力を利用した。得られた結果について再現性を求めると共に、マヤ車の3台車方式による正矢である高低狂いとも比較した。この現車試験の結果、ジャイロ装置に起因する誤差がかなり顕著にみられた。その結果の一例を図4に示す。この時の再現性誤差は3.9mmであった。この誤差は比較的短波長で発生していることから、ジャイロ出力に対して短波長成分をカットする事による誤差の改善効果を調査した。その結果から短波長成分をカットすることにより精度が向上することが明らかになった。図5はジャイロ出力に対して30m以下の波長成分

カットした場合の結果である。このような誤差の低減処理を行った場合、再現性精度で0.6mmを得、また現行マヤ車との比較誤差で1.0mmの精度を得た。

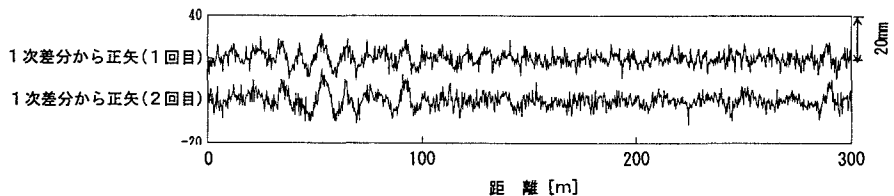


図4 2回走行による再現性（ジャイロ誤差を含む場合）

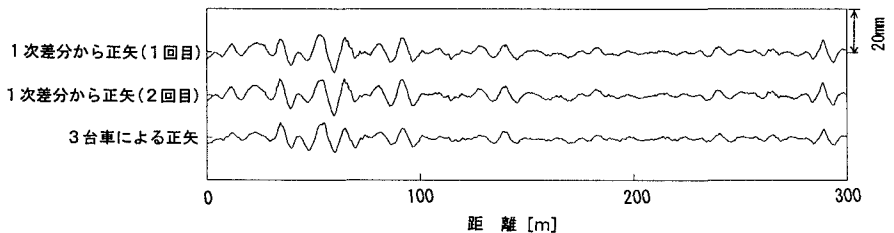


図5 2回走行による再現性とマヤ車との比較誤差（ジャイロ誤差の低減処理後）

5. あとがき

1次差分法を用いて、正矢狂いを求める演算法を示した。ここでは一例として5m弦1次差分法から、10m弦正矢を求める演算式を示し、現車試験により、その妥当性を示した。またジャイロ装置としてファイバジャイロを用いた場合の誤差について、短波長成分をカットすることで検測精度が向上することを示した。なお、今回の現車試験はJR東日本の軌道検測車により、実施させていただきました。試験にあたり多大な協力を頂いたJR東日本の関係の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹下邦夫：偏心矢法による軌道狂い検出法，鉄道総研報告，Vol.4，No.10，1990.10
- 2) 竹下邦夫：営業車による軌道狂い検測手法，鉄道総研報告，Vol.9，No.2，1995.2