

IV-345

勾配区間を走行する軌道検測車の水準狂い誤差についての理論検討

鉄道総合技術研究所 正会員 竹下 邦夫

1. はじめに

在来線用の軌道検測車は山間部の勾配線区を走行することが多く、このような勾配線区で水準狂いに異常なドリフト誤差が発生することが知られている。このようなドリフト誤差は水準狂いの検測に用いるジャイロ装置の基本原理解に起因するものである。ここではこのドリフト誤差の発生原因を座標変換手法を用いて明らかにするとともに、このドリフトを補正する簡便な方法について提案する。

2. 絶対座標系と検測車座標系の関係

軌道狂いは地上に敷設したレールに発生する狂いであり、したがって地上に固定した座標系(ここでは絶対座標系と呼ぶ)で定義される。検測車での軌道狂いの検測は検測車に設置された各種のセンサで行われるため、検測車に固定した座標系(ここでは検測車座標系と呼ぶ)での検測となる。検測車での軌道狂い検測は検測車座標系の値を絶対座標系へ変換することが基本原理となり、この変換は検測車が3次元の複雑な動きをするため、オイラー変換と呼ばれる3次元の座標変換式を用いる必要がある。ここでは絶対座標系を (X_a, Y_a, Z_a) とし、検測車座標系を (X_m, Y_m, Z_m) として、オイラー変換式を検測車にあわせて簡略化した次の式を用いる。

$$\begin{pmatrix} \omega_{za} \\ \omega_{ya} \\ \omega_{xa} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ \sin\theta \cdot \sin\psi & \cos\psi & -\cos\theta \cdot \sin\psi \\ -\sin\theta \cdot \cos\psi & \sin\psi & \cos\theta \cdot \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{zm} \\ \omega_{ym} \\ \omega_{xm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで ω_{za} は X_a 軸回りの回転角速度、 ω_{ya} は Y_a 軸回りの回転角速度、 ω_{xa} は Z_a 軸回りの回転角速度を表し、 ω_{zm} は X_m 軸回りの回転角速度、 ω_{ym} は Y_m 軸回りの回転角速度、 ω_{xm} は Z_m 軸回りの回転角速度を表すものとする。また ψ は X_a 軸回りの両座標間の回転角、 θ は Y_m 軸回りの両座標間の回転角を表す。なお X は左右方向を Y は前後方向、 Z は上下方向を表すものとする。

3. 水準狂いの演算式

水準狂いは絶対座標系での値であり、 C_a を水準狂い、 θ_a を角度で表した水準狂い、 G_s を標準軌間(=1,067mm)として次のように表される。

$$C_a = G_s \cdot \theta_a = G_s \int \omega_{ya} dt \quad (2)$$

また式(1)より ω_{ya} は次のように表される。

$$\omega_{ya} = \sin\theta \cdot \sin\psi \cdot \omega_{xm} + \cos\psi \cdot \omega_{ym} - \cos\theta \cdot \sin\psi \cdot \omega_{zm} \quad (3)$$

この式(3)において、 θ 、 ψ は小さな角であることを考慮して近似式とし、式(2)に代入して次式を得る。

$$C_a = G_s \left(\int \omega_{ym} dt - \int \sin\psi \cdot \omega_{zm} dt \right) = C_m - G_s \int \sin\psi \cdot \omega_{zm} dt \quad (4)$$

ここで C_m は従来の検測車で検測されるドリフト誤差を含んだ水準狂いを表す。この式を用いて勾配を-20%とし、左カーブと右カーブが連続している線区を図1のように想定し、シミュレーションした結果を図2に示す。この図より勾配の曲線区間でドリフト誤差が発生することが確認できる。

キーワード：軌道検測車、ジャイロ装置、水準狂い

〒183 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL 0425-73-7278 FAX 0425-73-7296

4. 誤差の補正方法の提案

式(4)より ψ と ω_{zm} の値が得られれば、誤差を含まない水準狂いを求めることができる。これらの値は検測車のピッチング角とヨーイング角に関するものであるため、ジャイロ装置としてローリング角とピッチング角、ヨーイング角の3軸の角度を検出できるものを用いればよいことになる。これはジャイロ装置がかなり高価になることを示している。ここではこの補正を簡便に行う方法について検討する。

式(4)において勾配角 ψ については、あらかじめ線路図等に示された値をそのまま用いることとし、 ω_{zm} について通り狂いから求める方法を試みる。曲線における10m弦正矢の値は、 H を正矢狂いとし、 R を曲線半径とすると式(5)のように表される。一方、半径 R の曲線を走行中の車両の旋回角速度 ω_{zm} [rad/s] は、検測車の走行速度を v [m/s] として式(6)のように表される。式(6)に式(5)を代入して式(7)を得、式(4)に式(7)を代入して式(8)を得る。また補正を行う区間において勾配は一定と仮定すると式(8)は式(9)となる。ここで式(9)の y は走行距離のパラメータであり、したがって積分は通り狂いを距離に対して積分すればよいことを表している。この式から補正を行う区間の勾配角をあらかじめ知ることが出来れば、通り狂いの値を用いて水準の補正が可能ながわかる。図2に示したドリフト誤差を含んだ検測結果に対して式(9)の補正を行った結果を図3に示す。この結果は図1と一致し、この補正方法が有効ながわかる。

$$H = \frac{10^2 \cdot 1000}{8R} \text{ [mm]} \quad (5)$$

$$\omega_{zm} = \frac{v}{R} \text{ [rad/s]} \quad (6)$$

$$\omega_{zm} = \frac{8}{10^5} H \cdot v \text{ [rad/s]} \quad (7)$$

$$C_a = C_m - \frac{8}{10^5} G_s \int \sin \psi \cdot H \cdot v dt \quad (8)$$

$$= C_m - \frac{8}{10^5} G_s \int \sin \psi \cdot H dy$$

$$C_a = C_m - \frac{8}{10^5} G_s \cdot \sin \psi \int H dy \quad (9)$$

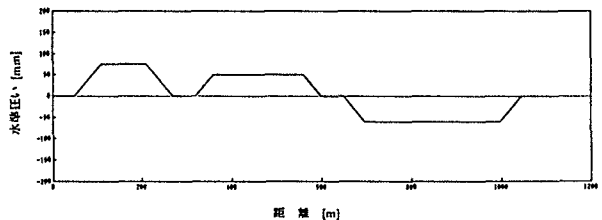


図1 シミュレーションに用いた水準波形

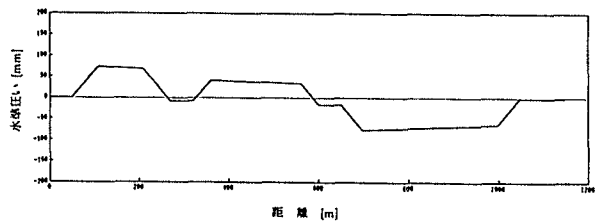


図2 ドリフト誤差の発生状況

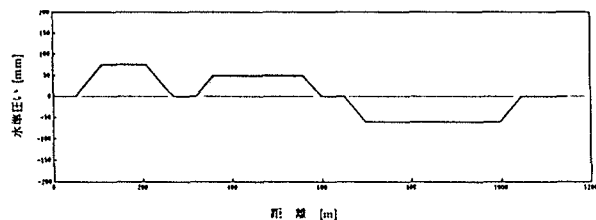


図3 ドリフト誤差の補正結果

5. おわりに

今回示したドリフト誤差の補正方法は、3軸の角度の検出ができるジャイロ装置を用いる代わりに通り狂いを用いる方法である。また勾配角については高低狂いなどの軌道狂いから求めることは困難なため別に入力する必要があり、したがって若干厳密性に欠ける簡便な方法である。さらに補正のため積分演算が必要となるためあまり長距離の補正には適さず、数km程度の区間での補正が限度ではないかと考えている。したがって、この補正方法を検測車に組み込むことは適切ではなく検測結果の地上処理において、必要な区間のみ行うことが適しているのではないかと考えている。