

レール継目部における横圧変動評価のための通り変位波形の検討

(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 古川 敦

1. はじめに

レール継目部に生じる輪重・横圧の評価のため、筆者らはレール継目部の軌道変位形状を表現するのに適した関数形の検討を行い、これまでに輪重評価のための高低変位（継目落ち）形状の結果について報告した¹⁾。本報告は、同様の手法により、横圧評価のための通り変位（継目角折れ）形状に適した関数形について導出し、合わせてレール継目部の通り変位の管理目標値を試算したものである。

2. 対象とする通り変位および関数

(1) 通り変位

在来線定尺区間の代表的な通り変位波形として、在来線A、Bの2区間、合計105箇所の継目を選定した。なお、通り変位の指標には4m弦正矢を用いることとした²⁾。

(2) 関数

レール継目部の通り変位形状を表現できる関数として、式(1)～(5)の5つの関数を選定した。これらの関数は、いずれも変数 α 、 β により決まる関数であり、 α は振幅に、 β は波長（波形の広がり）に相当する変数である。

$$\text{関数 A: } f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \times \frac{\exp\left\{-\frac{(x-m)}{\beta}\right\}}{\left[1 + \exp\left\{-\frac{(x-m)}{\beta}\right\}\right]^2} \quad (1)$$

$$\text{関数 B: } f(x) = \frac{\alpha}{\beta\sqrt{2\pi}} \times \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\beta^2}\right\} \quad (2)$$

$$\text{三角関数: } f(x) = \frac{\alpha}{2} \times \left\{1 + \cos\frac{\pi(x-m)}{\beta}\right\} \quad (3)$$

$$\text{6次関数: } f(x) = \alpha \times (x-m-\beta)^3 \times (x-m+\beta)^3 \quad (4)$$

$$\text{4次関数: } f(x) = \alpha \times (x-m-\beta)^2 \times (x-m+\beta)^2 \quad (5)$$

（ここで α 、 β は変数、 m は継目中心位置）

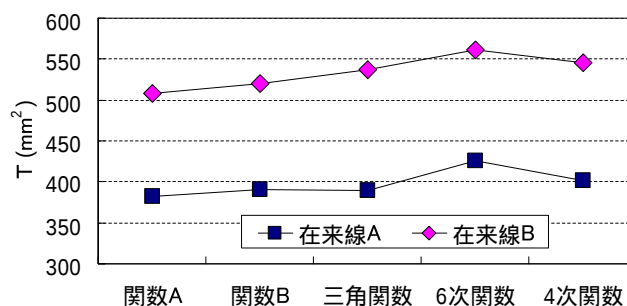


図1 波形形状の適合度の比較

3. 通り変位と関数との適合度評価

レール継目部の通り変位形状に最も近似する関数を、以下の(1)、(2)により評価した。

(1) レール継目部の波形形状の適合度

(a) 評価の手法

レール継目部の通り変位の波形形状と関数との適合度を以下の手順により評価した。

継目毎に関数値と通り変位値の差の二乗を継目前後2.5m間合計し、その値が最小となるよう前述の各関数の変数 α 、 β を求める（式(6)）

各継目の式(6)の最小値 $S_{\min}$ を全継目分合計し、これを関数の適合度 T と定義する（式(7)）

各関数の適合度を比較し、その値が最も小さい関数を波形形状との適合度が最も高い関数とする。

$$S_{\min} = \min \left\{ \sum_{i=j-n/2}^{j+n/2} (f(x_j) - m(x_j))^2 \right\} \quad (6), \quad T = \sum_{k=1}^N S_{\min} \quad (7)$$

ここに、 $f(x_j)$; 関数値、 $m(x_j)$; 高低変位値、 n ; 評価範囲（継目中心前後2.5m）のデータ数、 N ; 全継目数

(b) 評価の結果

前述の評価手法により、各関数の波形形状の適合度を比較した。図1は、各関数の式(7)の値を線別に示したものの

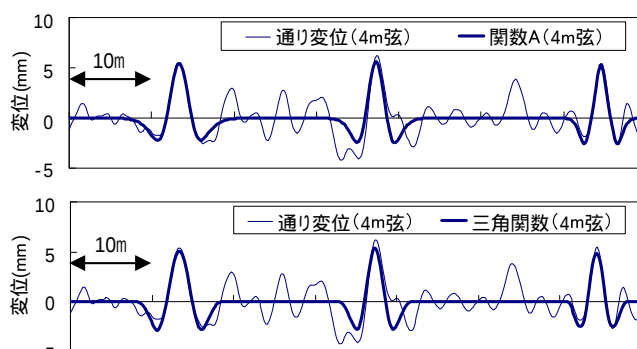


図2 4m弦通り変位波形（在来線B）と関数波形との比較

((上)関数A、(下)三角関数)

キーワード 軌道変位、レール継目部、4m弦正矢、横圧評価、車両運動シミュレーション

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

である。この図から、在来線A、Bともに関数Aが最も値が小さく、通り変位との適合度が高いことがわかった。

また図2に、在来線Bの通り変位波形と関数Aおよび三角関数の関数波形とを重ね合わせたものを示す。このように、継目中央および両端の擬似波形の形状は、関数Aのほうが通り変位波形と類似していることがわかる。

(2) レール継目部の最大変位量の適合度

(a) 評価の手法

レール継目部中心での最大変位量「みなしの頂点座標(X_i , Y_i)」と同x座標での関数の頂点「関数の頂点座標(X_i , y_i)」のy座標の値が近いほど適合度が高いと評価した。(図3参照)

(b) 評価の結果

図4は、在来線Aについて、関数の頂点 y_i と通り変位のみなしの頂点 Y_i とを関数毎にプロットし、その回帰直線(切片=0)を求めたものである。これらの結果から、関数Aの回帰直線の傾きが最も1.0に近くなった。このことは、関数Aの頂点が、全体的に通り変位のみなしの頂点に最も近く、他の関数よりも最大変位量の適合度が高いことを示している。なお、在来線Bも同様の結果となった。

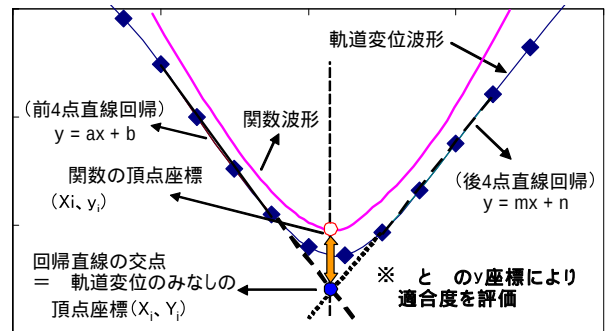


図3 最大変位量の適合度の評価手法

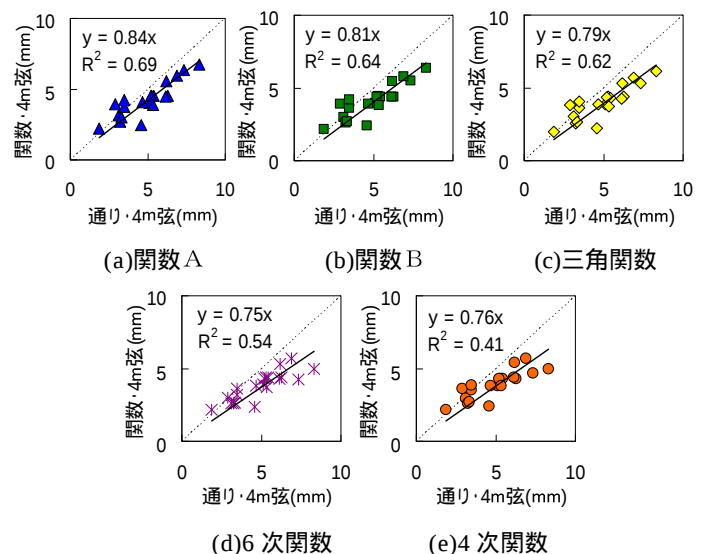


図4 4m弦通り変位と関数の最大変位量の比較（在来線A）

4. 4m弦通り変位の管理目標値

前述までの結果から、波形形状、最大変位量ともに関数Aの適合度が高いことがわかった。そこで、関数Aを入力波形とした時刻歴シミュレーション³⁾を行い、4m弦通りの管理目標値を試算した。

(1) シミュレーション条件

線形・・・R600m・C105mm、R300m・C105mm、R160m・C60mm

車両・・・在来線特急電車、速度・・・本則+10km/h

軌道変位・・・関数Aの通り変位を25m間隔で3箇所設定
ここに、関数Aの変数は $\beta=0.3$ （波長4m相当）を用いた。

（※変数 α は、4m弦通りにより変動）

(2) シミュレーション結果および考察

4m弦通り変位と外軌横圧との関係を図5に示す。ここで、管理目標値を在来線曲線用の9型締結装置の横圧限度60kNに相当する変位とすると、4m弦通りの目標値は8mmとなる。

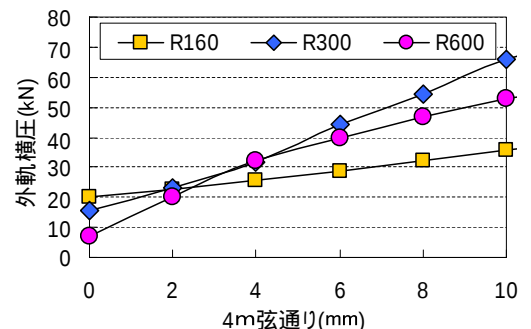


図5 4m弦通り変位と外軌横圧との関係

5. まとめ

本報告から、関数Aはレール継目部の通り変位形状に最も適合する関数形であり、その関数を入力波形としたシミュレーションにより、4m弦通りの管理目標値は8mmとなることがわかった。

参考文献

- 1) 南木聡明、古川敦：レール継目部における輪重変動評価のための軌道変位波形の検討、第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム（J-Rail2008）、2008.12
- 2) 泉英治、米澤秀剛：偏心矢データを用いた短い波長の軌道変位管理手法、新線路、2008.04
- 3) 宮本岳史、石田弘明、松尾雅樹：地震時の鉄道車両の挙動解析（上下、左右に振動する軌道上の車両運動シミュレーション）、日本機械学会論文集（C編）、1997.12