

60kg レール頭面形状の適正化に向けた断面測定と評価

鉄道総研 正会員 ○小木曾 清高
 鉄道総研 飯田 忠史
 JR 東日本 正会員 藤森 啓之

1. はじめに

JIS 60kg レールは、東海道新幹線の重軌条化を目的として 1968 年に設計されたが、その頭部断面形状は 50kgT レールを踏襲している¹⁾。この 50kgT レールの頭部断面形状は、新幹線円錐踏面に適合するように設計されており、新幹線円弧踏面を採用した 100 系以降の新幹線車両では、レール頭部断面形状と車輪踏面形状の不適合による問題点も指摘されている²⁾。これに対し本稿では、将来的な 60kg レール頭部形状の変更を見据えて、新幹線の本線におけるレール頭部断面形状を測定し、走行安定性への影響を検討した。

2. レール頭面形状

2. 1 レール断面測定方法

新幹線の本線上において、レール敷設からの累積通過トン数の異なる 3 区間(約 5.3 億トン、約 4.6 億トン、約 2.3 億トン)を選定し、Miniprof を用いてレール頭面形状を測定した。各区間の測定では直線区間で 500m おきに 3 箇所を選び、各箇所において左右レール別に 10m 間隔で 3 断面を測定した(図 1)。そして、測定データを平均化したレール頭面形状を算出し、レール頭部の中央(頭頂面)における曲率半径を算出した。

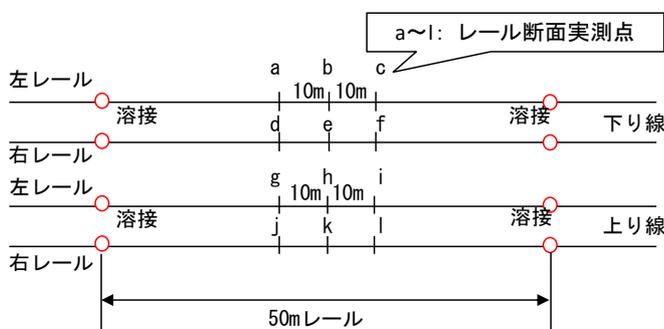


図 1 各測点でのレール断面測定位置

2. 2 平均断面の算出

使用中のレール頭頂面形状は、同一区間であっても列車の走行状態の影響を受けるため、測定位置により異なる。そこで、本検討では同一区間で複数のレール頭面形状を測定し、まくらぎ方向に離散幅が等間隔のレール形状データに変換して、各断面の平均形状を求めた。

2. 3 レール断面測定結果

累積通過トン数別に測定した各区間における、レール頭頂面の曲率半径について、図 2 に示す。60kg レールの設計断面において、頭頂部の曲率半径は 600mm であるが、累積 5.3 億トンの箇所におけるレール断面の曲率半径は、上下線および左右レールの別によらず頭頂面～ゲージコーナ側では設計断面より小さくなっており、平均すると R=300mm 前後であった。累積 4.6 億トンの箇所では頭頂面の曲率半径は 5.3 億トンと比較して大きくなる傾向がみられるが、設計断面より小さく、この傾向は累積 2.3 億トンの箇所でもほぼ同様であった。なお、曲率半径の違いについては、測定時の累積通トンだけでなく、列車の走行状況やレール削正状況の違いによる影響もあると考えられる。

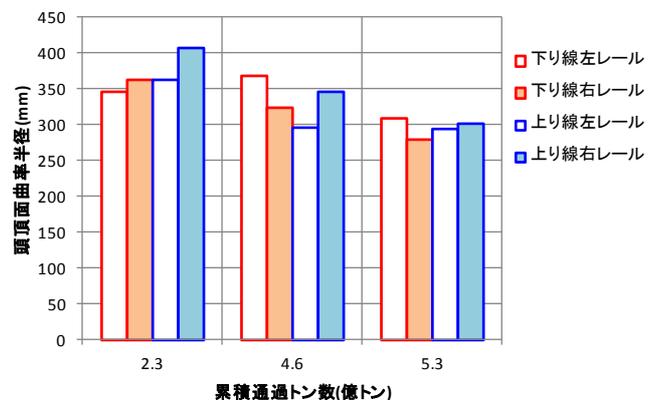


図 2 平均化したレール頭頂面の曲率半径

キーワード 新幹線, 60kg レール, レール頭部断面形状, 走行安定性, 等価踏面勾配

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

3. 走行安定性の評価

3. 1 評価方法

ここでは、特に直線区間における走行安定性を検討するため、評価指標として等価踏面勾配 γ_e を用いた。本指標は、車輪の踏面勾配とレール頭面の曲率によって生じる幾何学的な接触勾配を、線形定数で近似したものである。具体的には、まず式(1)(2)の連立1次微分方程式より、すべりが無い場合の輪軸単体に左右方向の初期変位を与えてレール上を転がしたときの応答を逐次計算する。次に、得られた輪軸左右変位の応答から1軸蛇行動波長 S_1 (図3)を算出し、式(3)へ代入して γ_e を求める。算出に用いた各記号の説明を図4に示す。

$$dy_w / dt = v \cdot \phi_w \quad \dots (1)$$

$$d\phi_w / dt = \frac{(r_L - r_R)}{r_0} \cdot \frac{v}{2b} \quad \dots (2)$$

y_w : 輪軸左右変位, ϕ_w : 輪軸ヨー角度, v : 走行速度
 r_L, r_R : 左右車輪のレール接触位置における半径
 r_0 : // レール中立位置における半径
 b : 車輪接触点間隔/2

$$\gamma_e = 4\pi^2 \cdot \frac{br_0}{S_1^2} \quad \dots (3)$$

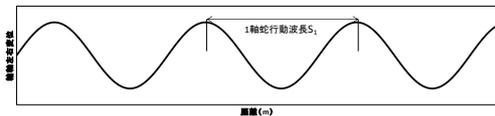


図3 1軸蛇行動波長 S_1

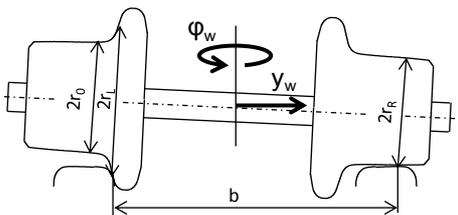


図4 記号の説明

この等価踏面勾配は、同一車両では大きいと曲線通過性能が良く、小さいと走行安定性が高いと評価できる。しかし、評価にしきい値はなく、あくまで相対評価として用いられる指標である。本検討では60kgレールと新幹線円弧踏面の組合せを基準とし、頭面形状を変化させた際の相対評価を行った。

3. 2 評価結果

図5に、累積通トン5.3億トンの平均レール頭面

および60kgレールと50Nレール設計断面を用いて算出した等価踏面勾配を示す。車輪踏面は、新幹線円弧踏面の設計形状、および営業車両の測定データに基づく摩耗形状を用い、車輪摩耗形状を推定³⁾した。

等価踏面勾配は、いずれのレール形状も車輪設計形状との組合せでは大きな差は見られない。しかし、車輪摩耗形状との組合せでは、60kgレール設計断面で約0.31となる。また、60kgレールで累積5.3億トンの断面においては、車輪摩耗形状では約0.12となる。一方、50Nレール設計断面は車輪摩耗形状でも車輪設計形状の場合とほぼ同じである。60kgレール累積5.3億トンの断面は2.3で示したように頭頂面の曲率半径が小さく、また50Nレールの頭頂面曲率半径は300mmであることから、走行安定性を一定レベルに保つにはレール頭部の曲率半径を60kgレールより小さくするのが有効と考えられる。

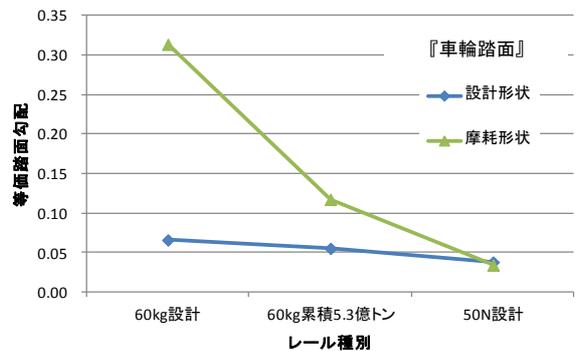


図5 レール種別による等価踏面勾配の傾向

4. まとめ

本検討結果より、下記のことが判明した。

- ① 新幹線のレール頭部断面の半径は60kgレール設計形状に対して小さく、使用状況により異なる。
- ② 直線区間の走行安定性は、新幹線円弧踏面の場合、レール頭頂面の曲率半径が小さくなると等価踏面勾配が小さくなる。

これらの知見をもとに、今後レール断面形状の適正化を検討していきたい。

<参考文献>

- 1) 渡辺, 杉山: 60kgレールと継目板の設計, 鉄道技術研究所速報, 1968.9
- 2) 三輪: 車輪・レール形状問題解決への期待, J-Rail2006, 2006.12
- 3) 芳賀: 鉄道車両用車輪の摩耗傾向と寿命予測, 日本機械学会誌, 2010.1