

ロングレール交換箇所における車体左右動の実態調査とその対策

軌道技術研究部 軌道管理研究室

研究員 木村 寛淳

1. はじめに

新幹線のロングレール区間でレール部分交換（以下、「レール交換」）を行うと、旧レールから新レールへの境界部でレール頭部断面形状（以下、「レール断面」）に急激な変化が生じるため、車輪の乗り移り時に大きな車体左右振動加速度（以下、「左右動」）が発生することがある。本問題に関する既往の研究では、溶接部の凹凸が起点となる単発的な左右動が発生すること¹⁾、溶接部を通過後、新レール区間では 270km/h で 6～8Hz 程度の左右動が持続すること²⁾が示され、またレール交換直後の左右動は大きい、時間の経過とともに落ち着くといわれている。

そこで、新旧レール境界部における左右動を抑制するためのレール断面取付け法を検討するため、レール交換前と交換後約 2 ヶ月間における、列車進入側の溶接部前後を中心としたレール断面調査結果と、同一編成の営業列車による左右動測定を実施した結果に基づき、左右動の発生要因および抑制対策を検討したので報告する。

2. 測定概要

本測定に先立って、過去に実施されたレール交換前後の左右動データを用いて、軌道構造と線形等が、左右動に及ぼす影響を検討した結果、バラスト軌道の直線区間では、スラブ軌道あるいは曲線区間と比較して左右動が交換後に大きくなる傾向にあった。そのため、①バラスト軌道、②直線区間、③同一土木構造物（今回は高架橋）という条件に合致する 2 区間（以下、「区間 A」「区間 B」）を測定箇所として選定した。

測定項目は、レール交換前後における①左右動、②レール断面とした。測定時期は、レール交換後のレール断面と左右動の経時変化を分析するため、レール交換 1・7・14・28・56 日後を基本とした。測定方法等については、左右動はデジタル動揺計（W0051）を用いて同一営業列車で測定した。レール断面測定には Mini Prof を使用し、レール交換前後のレール断面を正確に把握するため、レール交換前は列車進入側のレール切断予定箇所を 0m とした -2m（列車進入側）～ +5m（列車進出側）間を 0.5m 間隔で測定し、レール交換後は溶接部前後 0.5m 間を 0.05m、溶接部前後 0.5～1m 間を 0.1m、1～2m 間を 0.5m、2～10m 間を 1m 間隔で測定した。

3. 測定結果

3.1 左右動

図 1 に、区間 A におけるレール交換 1～56 日後までの左右動の経時変化を示す。同図より、レール交換 7 日後までは列車進入側の溶接部付近で大きな左右動が発生したが、14 日後以降は収束傾向にある。またレール交換区間全体では溶接部ほど大きな左右動は発生しないものの、レール交換区間前後と比較して大きな左右動が 56 日後まで収束しなかった。一方、区間 B では区間 A ほど大きな左右動は発生しなかった。

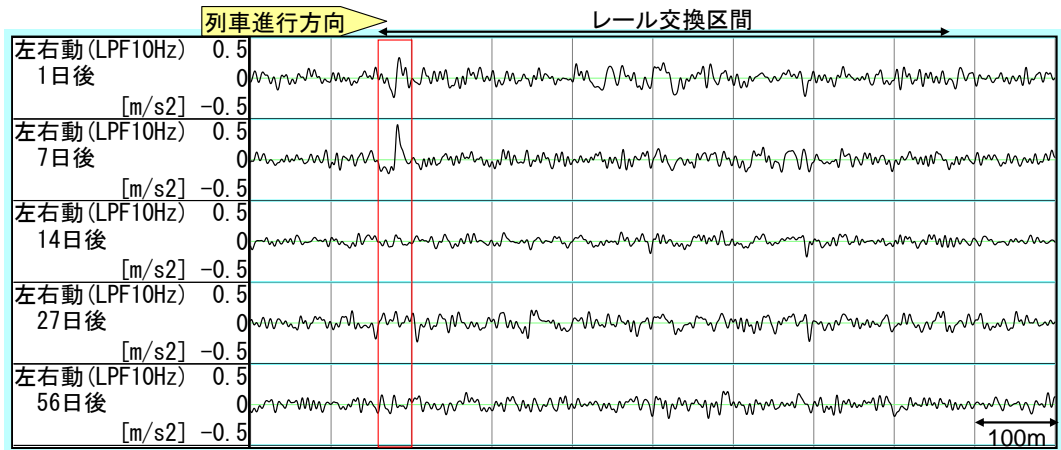


図1 左右動波形の経時変化（区間 A）

3. 2 レール断面（レール交換前）

レール交換前のレール断面は、測定区間や測定レール等による大きな差異が見られなかったことから、片側レール全体 15 測点の平均断面形状の一例を図 2 に示し、この形状の曲率半径を 60kg レール・50kgN レールの設計形状とあわせて図 3 に示す。両図では、横軸の原点をレール中心、正方向をゲージコーナー（以下、「GC」）側、負方向をフィールドコーナー（以下、「FC」）側とし、図 2 の縦軸の原点をレール頭頂面、負方向をレール底部方向とした。両図より、GC 側の圆弧部分で比較すると、交換前レールの曲率半径は 300mm 前後であり、50kgN レール設計形状に近い形となっており、文献(2)とほぼ一致する結果となった。

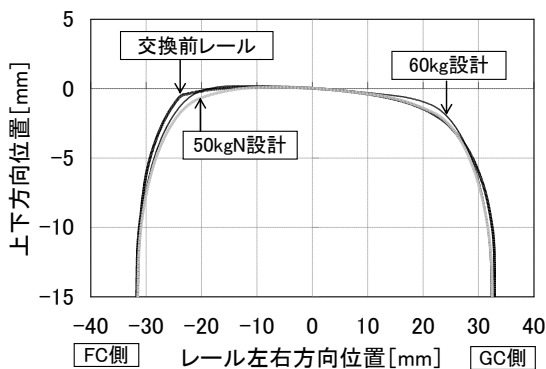


図2 レール交換前のレール断面（平均）

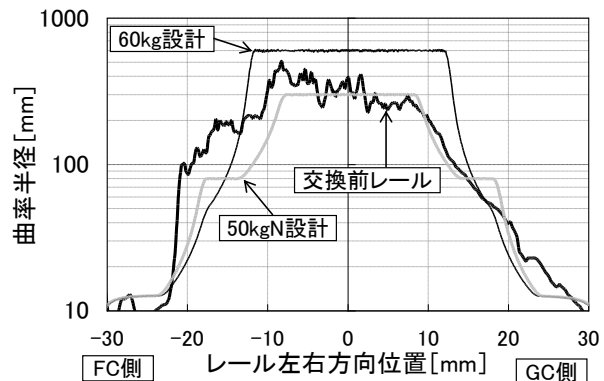


図3 レール交換前の曲率半径（平均）

3. 3 レール断面（レール交換後）

レール交換後の新旧レール断面については、レール長手方向の曲率半径の変化に着目した。なお、ここで用いる曲率半径は、レール中心 ±10mm 間の範囲の左右レール平均とした。図 4 に、区間 A のレール交換前、レール交換 1 日後と 14 日後のレール長手方向の曲率半径の経時変化を示す。同図より、レール交換前は曲率半径に変化はなく、レール交換 1 日後には溶接部付近で局所的に変化が大きかったものの、左右動が収束した時期（14 日後）には、列車進行方向に緩やかに変化する形状となっていた。

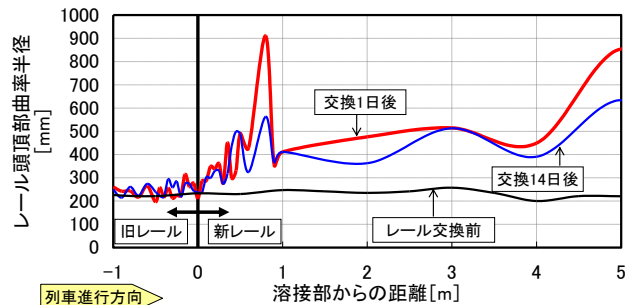


図4 レール交換前後の曲率半径の変化(区間 A)

4. 接触状態評価

発生する左右動は、レール断面曲率半径の局所的な変化によるレールと車輪との接触状況に起因すると考えられるため、走行安定性の評価に用いられる等価踏面勾配³⁾により評価した。なお、レール断面は実測値とし、車輪踏面形状は、左右動を測定した車両形式について、転削後の様々な走行距離の車輪を測定し、車輪摩耗形状推定ツール⁴⁾を用いて左右動測定時のものを推定した。

図5に、左右動測定を行った編成に近い車輪転削後走行距離5万キロの車輪データを用いた等価踏面勾配の計算結果を示す。なお、図5(a)は区間Aのレール交換前、レール交換1日後と14日後、図5(b)は区間Bの同時期の計算結果である。図5(a)より、比較的大きな左右動が発生する際には、溶接部付近での等価踏面勾配の変化が局所的に大きくなり、レール交換前あるいは左右動が収束した時期には、等価踏面勾配の変化が緩やかになっている。一方、図5(b)より、大きな左右動が発生しない場合には、溶接部付近での等価踏面勾配の変化が、区間Aのレール交換1日後と比較して緩やかになっている。このことから、レール交換後の溶接部を境とする左右動の発生要因となる車輪とレールの接触状況を評価するには、評価指標として等価踏面勾配を用いることが妥当であり、溶接部付近での等価踏面勾配の変化が列車進行方向に緩やかに推移すれば、左右動が発生しないものと考えられる。

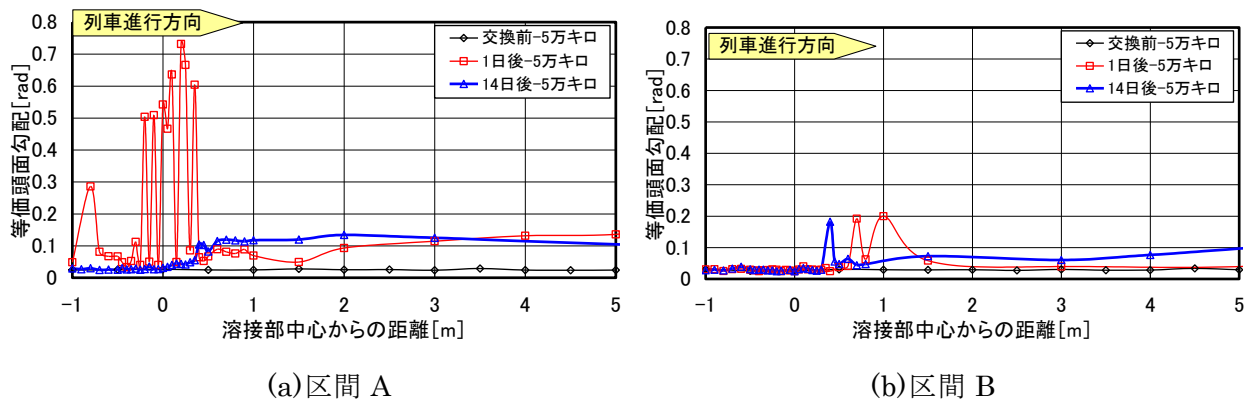


図5 溶接部中心からの距離と等価踏面勾配の関係

5. 左右動低減対策

これまでの調査・検討結果より、以下に示す事項がわかった。

- ・レール交換前の経年レールのGC側レール断面は50kgN設計形状に近い
- ・左右動発生時にはレール長手方向のレール断面曲率半径の変化が局所的に大きい
- ・左右動発生時には等価踏面勾配の変化が局所的に大きい
- ・左右動収束時には等価踏面勾配の変化が緩やかに推移している

以上のことから、新旧レール接続箇所での左右動抑制対策として、以下の2点が考えられる。

- ・列車進行方向に等価踏面勾配を緩やかに変化させる（左右動抑制）
- ・旧レール側のレール断面を50kgNレール設計形状にする（作業性向上）

そこで、現状の各種規程や実レール交換作業等を勘案し、以下の特徴を有する左右動抑制対策レールを提案する。

- ①高さは一定とし、一方の端部のレール断面は50kgN形状、他方が60kg形状である。
- ②全長15mで、5m以上のレール断面変化部を持ち、その間では緩やかに形状が変化する。

①により、旧レールとの接続点（溶接部）が 50kgN 形状となるため、溶接後のグライNDER仕上げ時間の短縮と精度の向上が期待できる。また②により、列車進入側の端部を 50kgN 形状、他方の端部を 60kg 形状とし、その間を緩やかに変化するレール断面変化部（図 6）とすることで、等価踏面勾配の変化も列車進行方向で緩やかになる（図 7）。

ここで、レール断面変化部の長さは、摩耗車輪を含めた状況で車輪の乗り移り距離を検討した結果、5m とした。また、現状の規程等や実レール交換作業を勘案すると、レール交換作業時にレール切断して長さを調整することも想定されるため、全長を 15m とし、50kgN 形状側は長さ 2m とした（図 8）。

6. おわりに

レール交換後の左右動について実態調査を行い、レール交換境界部におけるレール断面と、車輪/レールの接触状況を等価踏面勾配により評価した。その結果、左右動発生時には溶接部付近でレール断面の曲率半径が局所的に変化するとともに等価踏面勾配の変化が局所的に大きく、左右動収束時には等価踏面勾配の変化が緩やかに推移することがわかった。そのため、左右動抑制対策として、等価踏面勾配の変化が緩やかに変化するレール断面を提案した。今後は、試作した対策用レールを現地に敷設することにより、その効果を確認する予定である。

参考文献

- 1) 中川正樹, 三輪昌弘: 溶接部の状態が乗り心地評価に与える影響とその改善策に関する検討, 第 12 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2005), pp.81-84, 2006
- 2) 三輪昌弘, 小林幹人: レール頭部断面形状の調査結果と車両の走行安全性との関係, 第 12 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2005), pp.363-366, 2006
- 3) 足立雅和, 下村隆行, 佐藤栄作: 車輪とレールの摩耗を考慮した接触状態解析手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.20, pp.17-22, 2006
- 4) 芳賀昭弘: 鉄道車両用車輪の摩耗傾向と寿命予測, 日本機械学会, Vol.113, No.1094, pp.32-34, 2010

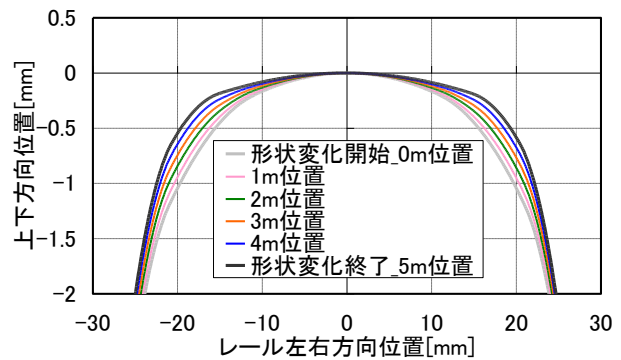


図 6 対策用レールの断面形状変化

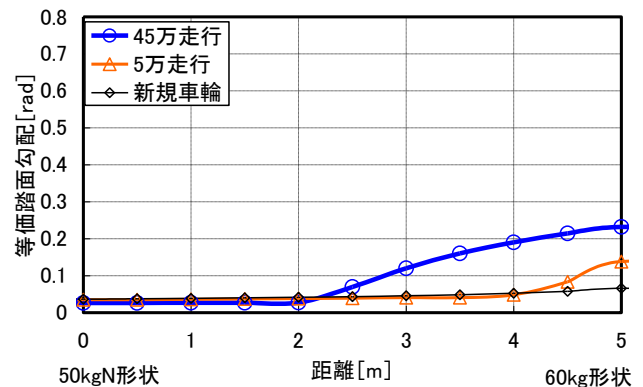


図 7 対策用レール形状変化部等価踏面勾配

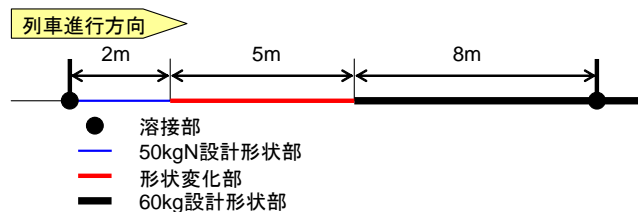


図 8 対策用レール全体イメージ