

ロングレール交換箇所における車体左右動揺発生要因とその対策

○ [土] 木村 寛淳 [機] 芳賀 昭弘 [土] 清水 惇 (鉄道総合技術研究所)
[土] 柳谷 勝 (西日本旅客鉄道)

Influence factor and control method of carbody lateral vibration at the replacement boundary of continuously welded rails.

○Hiroatsu Kimura, Akihiro Haga, Atsushi Shimizu, (Railway Technical Research Institute)
Suguru Yanagitani, (West Japan Railway Company)

Carbody lateral vibration might be existed by the change in wheel/rail interface caused by the replacement boundary of continuously welded rails. In this study, we analyzed generating factor and control method of carbody lateral vibration. As a result, it was thought that a local change of the equivalent tread gradient at a replacement boundary of continuously welded rails. Therefore, we proposed that the equivalent tread gradient changes gently at the replacement boundary as control method of carbody lateral vibration.

キーワード：車体左右動揺，レール頭部断面形状，ロングレール交換，車輪／レール接触，等価踏面勾配，新幹線
Key Words：carbody lateral vibration, rail head profile, continuously welded rail replacement, wheel/rail contact, equivalent tread gradient, Shinkansen

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動揺(以下、「左右動揺」)が発生することがある。本問題に関しては、車輪接触位置でのレール頭部の断面曲率半径(以下、「レール曲率半径」)のばらつきが影響している可能性があることを示した¹⁾。

本稿では、左右動揺発生要因のその後の検討と、発生要因に基づく左右動揺抑制対策を検討したので報告する。

2. 測定概要¹⁾

測定対象は、直線区間のバラスト軌道の 2 区間(以下、「区間 A」「区間 B」)とした。測定項目は、左右動揺、レール頭頂面凹凸(以下、「レール凹凸」)、レール断面とし、レール交換 1・7・14・28・56 日後を基本として測定した。レール凹凸(レール踏面粗さ測定器・1m ストレッチ使用)およびレール断面(レール断面形状計測器・Mini Prof 使用)は、列車進入側溶接部とその前後 10m 間を詳細に測定した。

3. 測定結果¹⁾

3.1 左右動揺

区間 A では、レール交換 1 日後に列車進入側溶接部で比較的大きな左右動揺が発生したが、14 日後には左右動揺は収束し、56 日後まで変化はなかった。一方、区間 B では、区間 A ほど大きな左右動揺は発生しなかった。

3.2 レール凹凸

左右動揺が発生した区間 A でのレール凹凸量は、最大 +0.28mm であり、その後の凹凸量の変化はなかった。また、区間 B についても区間 A と同様の傾向であり、凹凸量の経時変化はそれ程なかった。そのため、レール凹凸が左右動揺に与える影響は小さいものと考えられる。

3.3 レール断面

(1) 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、片側レール全体の平均断面形状の一例を図 1 に示し、この形状のレール曲率半径を 60kg レール・50kgN レールの設計形状とあわせて図 2 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 1 の縦軸原点をレール頭頂面、負方向をレール底部方向とした。GC 側の円弧部と比較すると、交換前レールのレール曲率半径は

300mm 前後であり、50kgN レール設計形状に近い形となっていた。

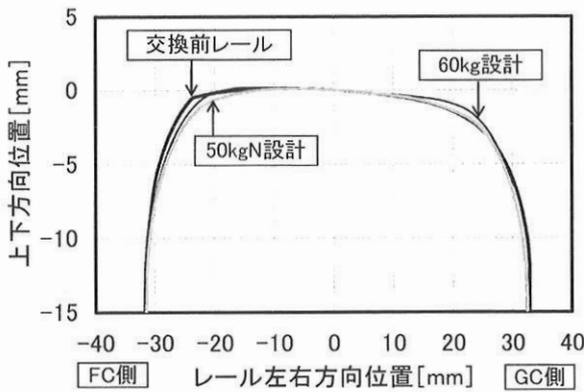


図 1 レール交換前のレール断面 (平均)

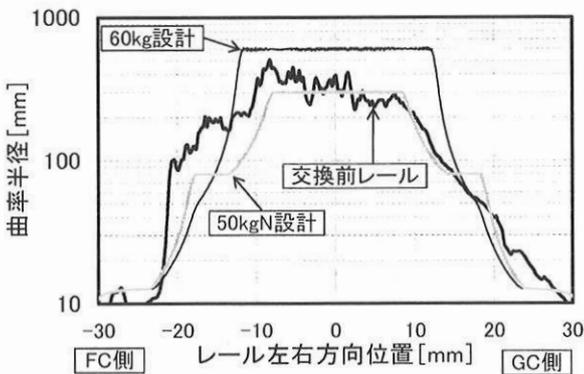


図 2 レール交換前のレール曲率半径 (平均)

(2) レール交換後

レール交換後の新旧レール断面について、レール長手方向のレール曲率半径の変化を解析した。なお、ここで用いるレール曲率半径は、レール断面中心±10mm 間の範囲の左右レール平均とした。図 3、4 に、区間 A、B のレール交換前、レール交換 1 日後と 14 日後 (区間 B は 13 日後) のレール長手方向のレール曲率半径の経時変化を示す。区

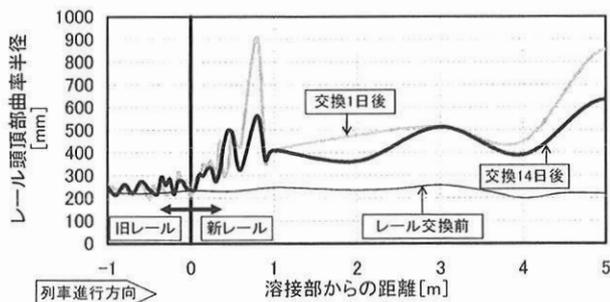


図 3 レール交換前後のレール曲率半径の変化 (区間 A)

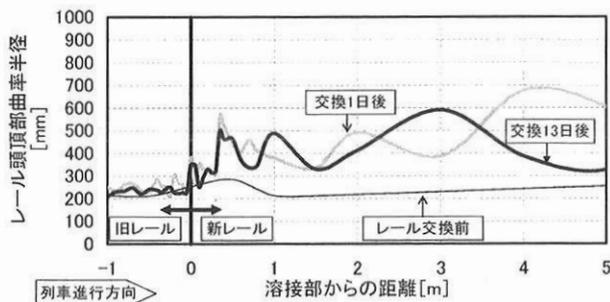


図 4 レール交換前後のレール曲率半径の変化 (区間 B)

間 A では、レール交換前はレール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。一方、区間 B では、レール交換 1 日後においても、区間 A ほど局所的な変化はなく、列車進行方向に緩やかに変化する形状となっていた。

4. 左右動発生要因

左右動は、レール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、車輪形状と測定したレール断面を用いて、レールと車輪との接触計算²⁾を行った。これにより得られる蛇行動安定性の評価に用いられる等価踏面勾配と左右車輪の接触点間距離から、左右動発生要因を分析した。なお、左右動を測定した車両の車輪形状は測定していないため、当該車両形式の、転削後の様々な走行距離の車輪踏面形状を測定し、その結果に基づいて左右動測定時の車輪形状を、車輪摩耗形状推定ツール³⁾を用いて推定した。

4.1 左右車輪接触点間距離

図 5 に、区間 A の結果を示す。レール交換前の接触点間距離は位置にかかわらず 1505mm 前後であるのに対し、レール交換 1 日後では溶接部前後で最大 30mm 程度縮小しており、左右動が収束した 14 日後では最大 20mm 程度の縮小となり、接触点の移動幅が小さくなった。図 6 に、区間 A のレール照面状況の現地写真とレール交換 1 日後の現地測定結果を示す。レール交換 1 日後には旧レール側では FC 側、新レール側では GC 側に照面が存在していたが、14 日後には GC 側にあった照面が FC 側に移動しており (接触点間距離の拡大)、またレール交換 1 日後のレール照面測定結果も、図 5 とほぼ一致する結果となった。図 7 に、区間 B の結果を示す。区間 B ではレール交換 1 日後に最大 15mm 程度の縮小であり、区間 A の左右動収束時期である 14 日後よりも縮小幅が小さく、急激な接触点間距離の変化はなかった。

以上より、レール交換境界部で左右動が発生した区間では、溶接部を境として、車輪とレールとの接触点間距離が急激に縮小している (接触点が GC 側へ移動することから、接触点間距離の列車進行方向の急激な変化が左右動発生要因のひとつであると考えられる。

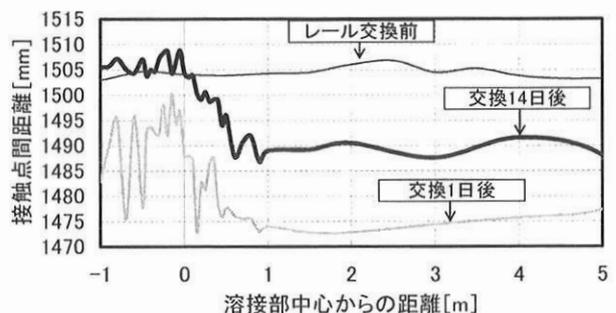


図 5 左右車輪接触点間距離 (区間 A)

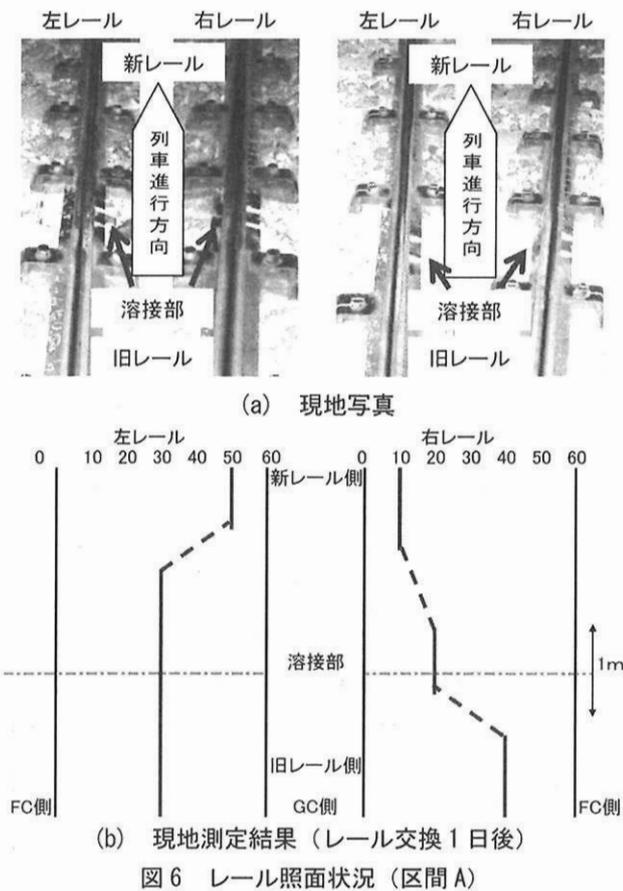


図 6 レール照面状況 (区間 A)

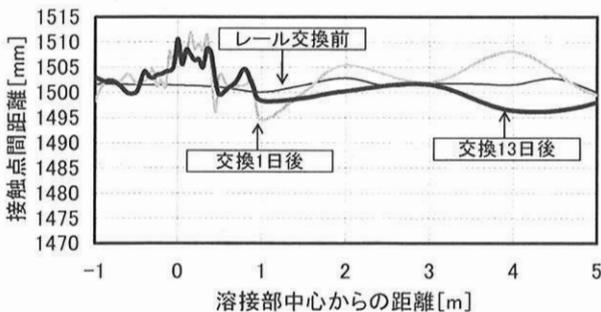


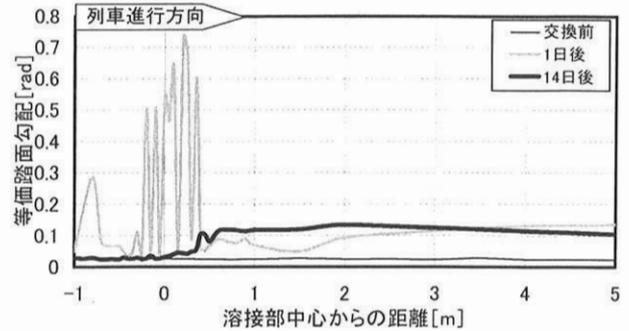
図 7 左右車輪接触点間距離 (区間 B)

4.2 等価踏面勾配

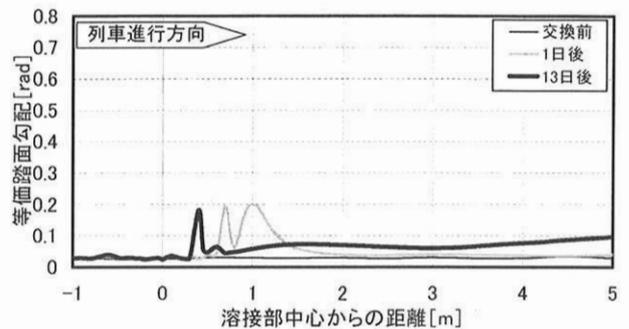
発生する左右動は、レール車輪間の接触に起因する問題であるため、これら接触の状態を示す指標が必要となる。そこで、本稿では、高速車両での安定性解析に用いられる等価踏面勾配を指標とした。図 8 に、区間 A、B の等価踏面勾配の結果を示す。区間 A では、比較的大きな左右動が発生したレール交換 1 日後には、溶接部付近での等価踏面勾配の変化が局所的に大きくなり、レール交換前あるいは左右動が収束した 14 日後には、等価踏面勾配の変化が緩やかになっている。一方、左右動が発生しなかった区間 B では、レール交換後の溶接部付近での等価踏面勾配の変化が、区間 A のレール交換 1 日後と比較して緩やかになっている。

以上より、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定量的に評価する

には、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。



(a) 区間 A



(b) 区間 B

図 8 溶接部中心からの距離と等価踏面勾配の関係

5. 左右動抑制対策

5.1 左右動抑制対策レール

上述した左右動発生の実態調査および分析結果より、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 レール設計形状に近い
 - 左右動発生時には、レール長手方向のレール曲率半径の変化が局所的に大きい
 - 左右動発生時には、左右車輪の接触点間距離が列車進行方向に急激に縮小し、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、左右車輪の接触点間距離と等価踏面勾配の変化が列車進行方向に緩やかに推移している
- そのため、列車進入側の新旧レール接続箇所 (溶接部) 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)
 - 列車進入旧レール側のレール断面を 50kgN レール設計形状にする (溶接作業性向上)

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

- ①全長 15m で、5m 以上のレール断面変化区間を有し、その間で緩やかに形状が変化する
 - 現行の規程や実レール交換作業を勘案し、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が想定されるため、全長は 15m とする

- ・60kg レール設計形状側は事前に溶接して新レールと接続する一方、50kgN レール設計形状側はレール交換作業時にレールを切断して長さを調整することが想定されるため、50kgN レール設計形状の長さは 2m とする
- ・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 あれば緩やかに乗り移ることができるため、形状変化部の長さは 5m とする
- ②レール高さは一定とし、一方の端部のレール断面は 50kgN 形状、他方の端部は 60kg 形状とする
 - ・現状のレール種別は 60kg レールであるため、60kg レールを基本として加工する

図 9 に、左右動抑制対策レール全体のイメージを示す。

①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、その間をレール断面が緩やかに変化する形状変化部 (図 10) 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 11)。このような形状とすることで、左右動の抑制が期待できる。また、②より、列車進入側旧レールとの溶接部が 50kgN レール設計形状となるため、芯だし作業と溶接後のグラインダー仕上げの時間短縮と精度向上が期待できる。

5.2 左右動抑制対策レール敷設の効果

上述した左右動抑制対策レールを本線に敷設した。図 12 に、レール交換前後の左右動の変化を示す。レール交換前と比較して、レール交換後に顕著な左右動は発生せず、加えて溶接作業時間の低減も図れ、左右動抑制対策の設計意図に沿った結果となった。

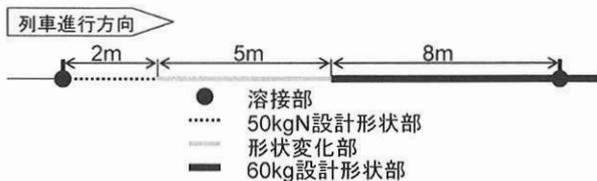


図 9 左右動抑制対策レール全体イメージ

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/レール接触状況を等価踏面勾配と左右車輪接触点間距離により評価した。そ

の結果、左右動発生要因は、溶接部付近でレール曲率半径の変化が局所的に大きいととも、等価踏面勾配が列車進行方向で局所的に大きく、左右車輪接触点間距離が列車進行方向で局所的に縮小することであると考えられる。そのため、左右動抑制対策として、等価踏面勾配が列車進行方向に緩やかに変化するレール断面を提案・作製し、本線敷設した。

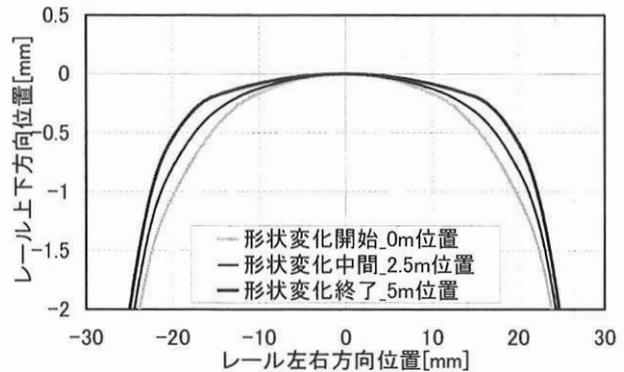


図 10 左右動抑制対策レール形状変化部断面変化

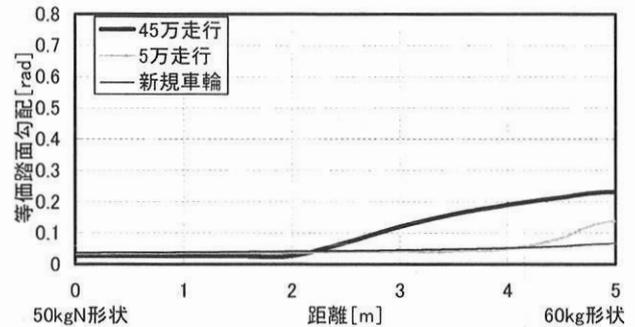


図 11 左右動抑制対策レール形状変化部等価踏面勾配

参考文献

- 1) 木村寛淳, 芳賀昭弘, 小野隆: ロングレール交換前後におけるレール頭部断面形状と車体振動加速度の実態調査, 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2010), pp. 625-628, 2010.
- 2) 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, No.6, pp.17-22, 2006.
- 3) 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.

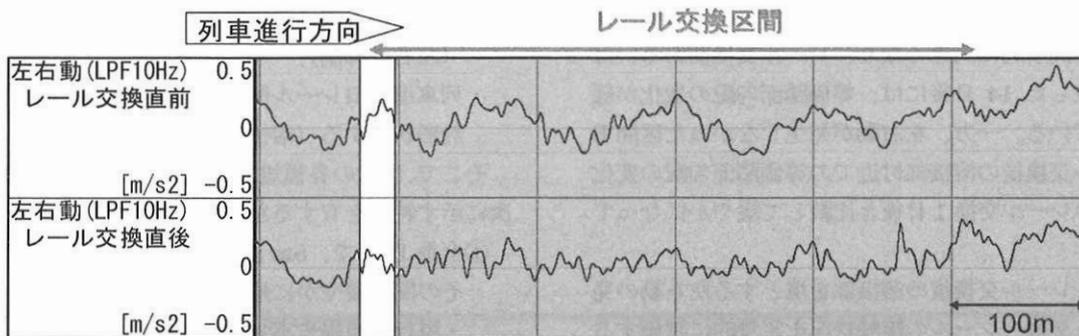


図 12 左右動抑制対策レール敷設前後の左右動測定結果