

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

レール交換に伴う 車両の左右動揺を探る

新幹線のロングレール区間でレール交換を行うと、新旧レール接続箇所でのレールの頭部断面形状に差異が生じるため、車輪の乗り移りの影響により大きな左右動揺が発生することがあります。そのため、レールの頭部断面形状と左右動揺の調査結果に基づいて、左右動揺を抑制するためのレール交換境界部でのレールの頭部断面取り付け方法を提案しましたので、その概要を紹介します。

はじめに

一般に、レールは敷設後の列車通過トン数(☞参照)がある一定の基準に達する前に交換されます。例えば、**図1**に示すように、数~数十キロにわたってレールを溶接でつないだロングレール区間で、その一部を新レールに取り替える(以下、「レール交換」)場合、新レールの両端を交換しない旧レールと溶接します。ところが、この旧レールから新レールへの境界部を列車が通過した際に、車両が左右方向に大きく揺れることがあります(例えば、**図2**に示すレール交換1日後)。左右動揺の主な発生原因には、一般的にレールの曲がりや列車のすれ違いなどによる揺れが挙げられます。しかし、レール交換直後に発生するような左右動揺は、上記の理由では説明が難しく、有力な対策方法が望まれています¹⁾。

そこで、レールの頭部断面形状(以

下、「レール形状」と、車輪とレールの接触状態に着目して、レール交換に伴って新旧レール境界部において発生する左右動揺の発生要因を探るとともに、その対策を検討しました。

レール形状の違いによる影響

レール頭頂面は、車両の重量を直接支持する面で、車輪とレールが接触する重要な部分です。中央付近の曲率半径は、60kgレールが600mm、50kgNレールが300mm(**図3**)で、新幹線の本線では60kg、在来線の本線では50kgNレールが主に使用されています。一方、レール交換直前のレールは、敷設から十数年程度の時間が経過していることなどの影響により、レール形状が当初と異なっていると考えられます。**図4**に、レール交換直前と新品レールの形状の違いにより、車輪がレールに接する位置が異なるイメージを示し



木村 寛淳
Hiroatsu Kimura
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
[専門分野] 列車動揺管理、軌道保守計画



芳賀 昭弘
Akihiro Haga
車両構造技術研究部
車両運動研究室
主任研究員
[専門分野] 車両運動



清水 惇
Atsushi Shimizu
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
[専門分野] 列車動揺管理

☞ 通過トン数

線路を通過する全車両の総重量のこと。線路の構造やレールの取り替え基準になるなど、重要な指標のひとつ。

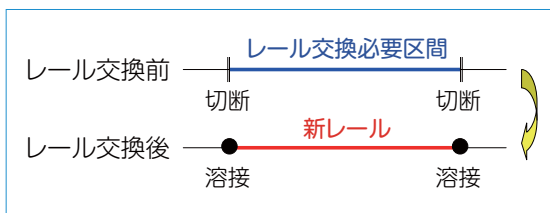


図1 レール交換工程概念図

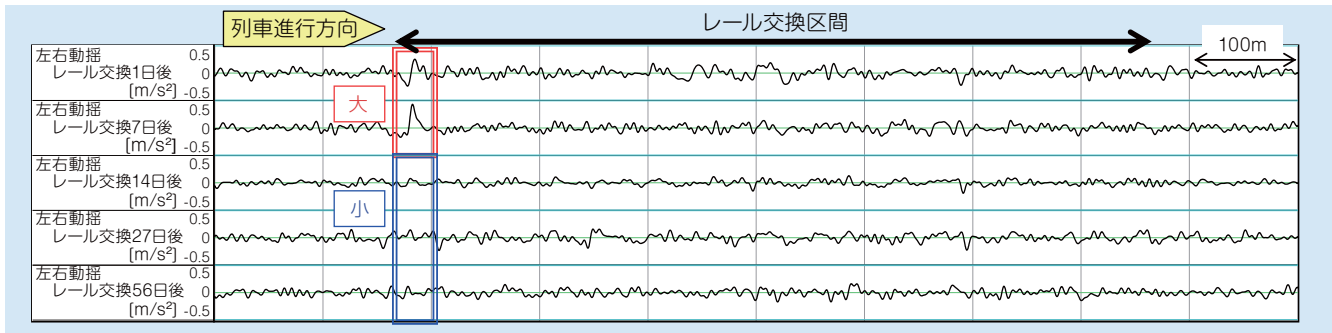


図2 レール交換区間における左右動揺波形の経時変化 (区間A)

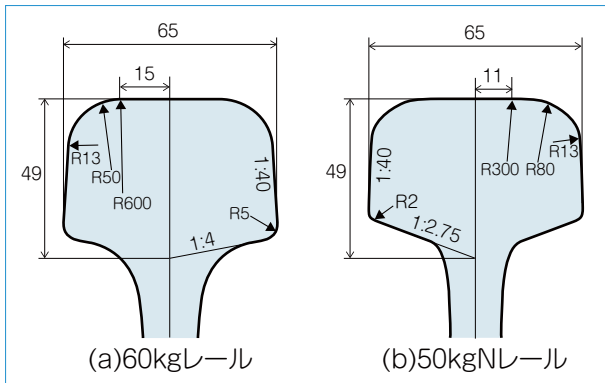


図3 レール形状²⁾

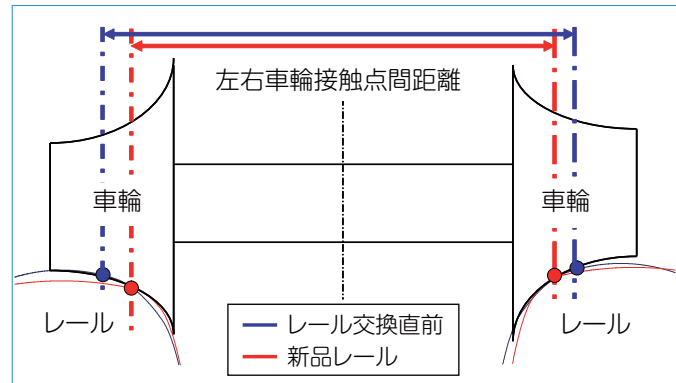


図4 レール形状の違いによる車輪接触位置イメージ

ます。レール形状が異なることでレール交換境界部では車輪がレールに接する位置が変化すると考えられ、これが左右動揺に影響している可能性があります。これを裏付けるため、まずレール交換に伴う変化と、時間の経過に伴う変化を調査しました。

レール交換作業の実態調査

レール交換作業は交換作業自体の他、溶接作業があり、レール形状が変化する主な要因として、①溶接前の新旧レールの位置決め作業（芯出し）、②溶接後のグラインダーによる仕上げ研磨作業、の2つの過程が挙げられます。①は新旧レールを段差なく溶接するためのレール頭頂面とレール頭部側面の位置を合わせる事前作業、②は溶接された新旧レール形状を最終的に滑らかに仕上げる作業であり、いずれも最終的なレール形状を形作る非常に重要な作業です。

左右動揺と軌道の実態調査

次に、レール交換前後の時間の経過に伴う左右動揺とレール形状の変化を調査しました。なお、比較検討するため、実態調査箇所として区間A、区間Bの2区間を選定しました。調査期間は、レール交換約2ヵ月後まで実施しました。

(1) 左右動揺

図2に、区間Aにおけるレール交換1～56日後までの左右動揺の経時変化を示します。速度は全て250km/h前後です。レール交換1日後と7日後に列車が進入する側の溶接部付近で比較的大きな左右動揺が発生しましたが、レール交換14日後以降は収束傾向にありました。一方、区間Bでは、区間Aほど大きな左右動揺は発生しませんでした。よって、以下では主に区間Aにおける調査結果について詳細に述べることとします。

(2) レール形状

(a) レール交換前

レール交換前のレール形状の一例を図5に示します。また、この形状の曲率半径を60kgレールと50kgNレールの設計形状とあわせて図6に示します。両図で、横軸の原点をレール中心、正方向を軌間内(GC)側、負方向を軌間外(FC)側とし、図5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ます。

交換前レールは60kgレールですが、図5より、GC側の円弧部分では、むしろ50kgNレールの形状に近いことがわかります。また図6からも、GC側の曲率半径は300mm前後となっており、このことから、交換前レール形状は50kgNレールの設計形状に近いことがわかります。

(b) レール交換後

次に、左右動揺が発生した箇所付近におけるレール形状の実態を調査しま

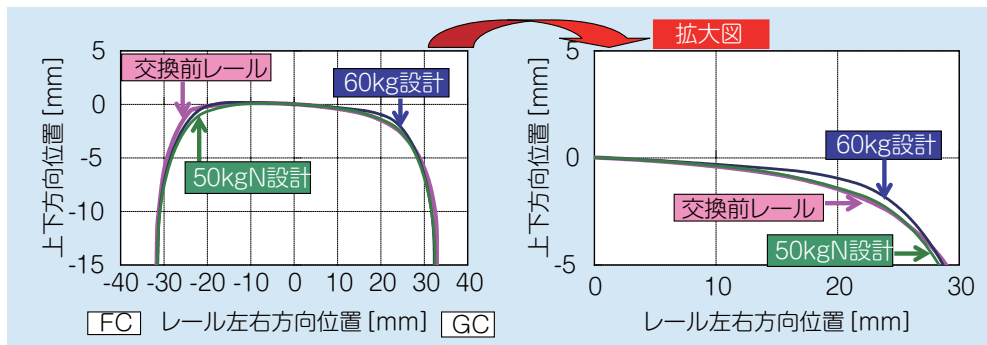


図5 レール交換前レール形状

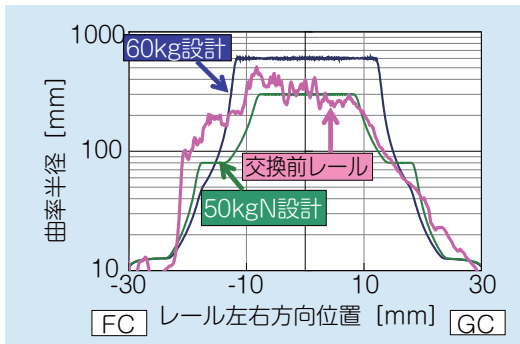


図6 レール交換前曲率半径

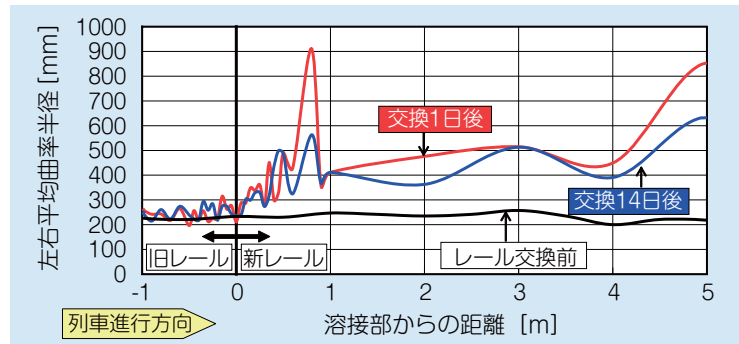


図7 レール交換前後の曲率半径の変化(区間A)

した。レール交換後の新旧レール形状については、列車が進行する方向の曲率半径の変化に着目しました。なお、ここで用いる曲率半径は、車輪が実際にレールに接触する範囲としました。図7に、区間Aのレール交換前、レール交換1日後と14日後の曲率半径を示します。

左右動揺が発生した区間では、レール交換前は列車進行方向で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列車進行方向に変化が大きく、左右動揺が収束したレール交換14日後には、列車進行方向で緩やかに変化する形状となっていることがわかります。

(3) 車輪とレールの接触状態

車輪がレール頭頂面のどこの位置で接触しているかを確認するため、レール

頭頂面の照面(☞参照)を観察しました。この観察により、車輪がどのような軌跡を描いて走行しているのか、すなわち、車両がどのような動きをしているのかを把握することができます。図8に、区間Aのレール交換1日後と14日後のレール照面状況の現地写真と、レール照面状況のイメージを示します。

レール照面状況は、レール交換1日後には旧レール側でFC側、新レール側でGC側に存在していた照面が、レール交換14日後には新レール側の照面がFC側に変化していることが確認されました。この照面の状況から、左右動揺が発生したレール交換1日後には、溶接部を境として、左右レールと車輪の接触位置が短い距離で急激に変化していることがわかります。一方、左右動揺が収束したレール交換14日後には、左右レールの照面の変化がレール交換1日後と比較して緩やかになっていくことがわかりました。

車輪/レール接触状態評価

これまでの調査結果より、レール交換直後に発生する左右動揺は、溶接部を境としてレール形状が異なるために、車輪とレールとの接触位置が変化することが原因と考えられます。そこで、車輪とレールとの接触状況を把握するため、測定したレール形状データと車輪形状データを用い、車輪/レールの接触計算を行いました。

先に示した図4に、左右車輪とレールの接触点間距離のイメージ、図9に、区間Aでの接触点間距離の計算結果を示します。レール交換前の接触点間距離は、溶接部からの距離にかかわらず1505mm前後でほぼ一定であり、安定した走行状態でした。左右動揺が発生したレール交換1日後では、溶接部を通過すると接触点間距離が最大30mm程度急激に縮小していました。また、左右動揺が収束したレール交換14日後では接触点間距離が最大20mm程度の縮小となり、接触点間距

☞ (レール) 照面

レール頭頂面のうち、車輪との接触によりレールの金属光沢がある部分。

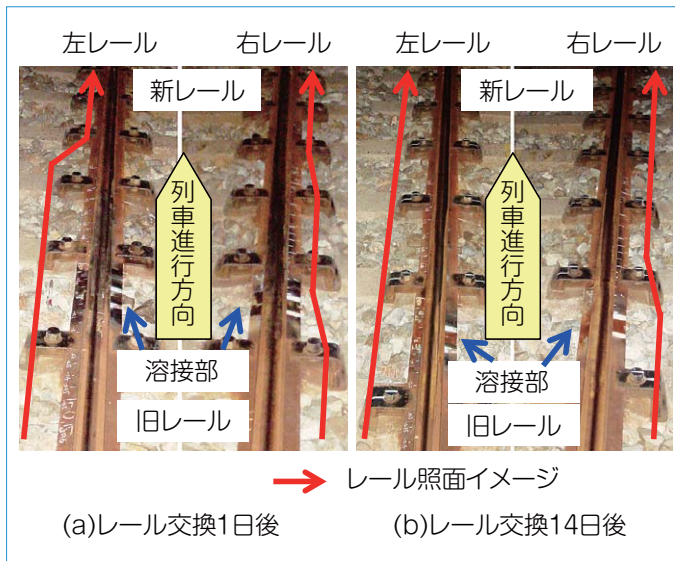


図8 現地レール照面状況(区間A)

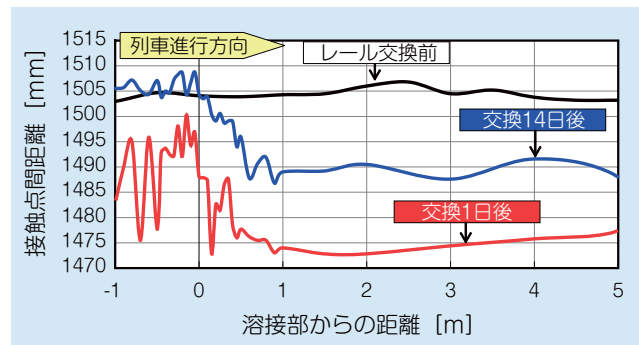


図9 左右車輪接触点間距離計算結果(区間A)

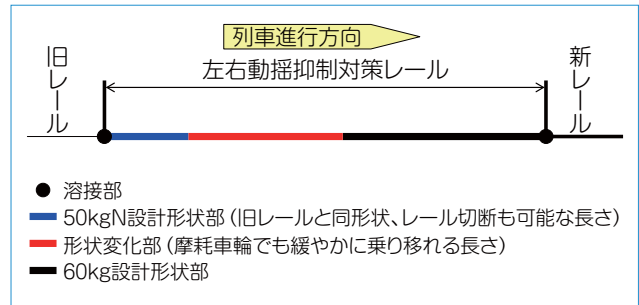


図10 左右動揺抑制対策の一例³⁾

離の移動幅が小さくなる結果となりました。これらの傾向は、先に示した実際の現地のレール照面の状況とほぼ一致する結果となりました。

左右動揺を抑制するには

レール形状に着目して、左右動揺の発生状況を調査した結果、以下に示す事項がわかりました。

【レール交換作業について】

- 列車進行方向への新旧レールの位置決めによる段差
- 溶接後の仕上げ研磨作業によるレール形状変化

【左右動揺発生・収束について】

- 左右動揺発生時には、列車進行方向のレール形状が溶接部を境として急激に変化するため、レール照面と接触点間距離が溶接部を通過するとFC側からGC側に急激に縮小している
- 左右動揺収束時には、レール形状の変化が緩やかになっているため、レール照面と接触点間距離の変化

が緩やかに推移しているしたがって、列車進入側の新旧レール接続箇所での左右動揺抑制対策として、具体的には以下の2点を考えることができます。

- 列車進行方向にレール形状を緩やかに変化させることで、接触点間距離の変化を緩やかにする
 - 列車進入旧レール側のレール形状を50kgNレール設計形状にする
- この考えに基づいて左右動揺を抑制するレール形状を検討した結果、図10に示すような、左右動揺抑制対策レールを考案しました³⁾。本レールは新旧レールの間に挟んで敷設するレールであり、列車進入側の端部を50kgN形状、列車進出側の端部を60kg形状とし、その間を車輪が緩やかに乗り移ることができる長さで、レール形状が緩やかに変化形状変化部とします。また、列車進入側の旧レールとの溶接部を50kgN形状(旧レールと同形状)とすることで、レール形状がほぼ同等となるため、レール

交換に伴う溶接作業のうち、芯出し作業と溶接後のグラインダー仕上げの精度向上が期待できます(特許出願中)。

おわりに

今回は、レール交換前後のレール形状と、車輪とレールの接触状態に着目した左右動揺の抑制対策を紹介しました。今後も新幹線の乗り心地が更に向上できるよう、引き続き取り組んでいく予定です。RRR

文献

- 1) 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定性との関係, 第12回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2005), pp.363-366, 2006
- 2) 新版軌道材料編集委員会編: 新版軌道材料, 鉄道現業社, 2011
- 3) 木村寛淳, 芳賀昭弘, 清水惇, 柳谷勝: 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, 第18回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2011), pp.223-226, 2011