

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

木村 寛淳* 芳賀 昭弘 (財団法人鉄道総合技術研究所)

小野 隆 (西日本旅客鉄道株式会社)

Investigation on the influence of rail head profile on carbody vibration focusing on the replacement of continuously welded rail.

Hiroatsu Kimura*, Akihiro Haga, (Railway Technical Research Institute)

Takashi Ono, (West Japan Railway Company)

Carbody lateral vibration might be excited by the change in wheel/rail interface caused by the replacement of continuously welded rail(CWR). Then, we measured and analyzed rail head profile and carbody lateral vibration before and after the replacement of CWR. In this study, rail head profile changed by train passing tonnages and the carbody lateral vibration had some variation depending on the change in wheel/rail interface, particularly rail head profile.

キーワード：レール頭部断面形状，車体振動加速度，車輪断面形状，ロングレール交換，車輪／レール接触，新幹線 (rail head profile, carbody vibration, wheel profile, continuously welded rail replacement, wheel/rail contact, Shinkansen)

1. はじめに

ロングレール区間でレール部分交換を行うと、旧レールから新レールへの乗り移り箇所では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車体左右振動加速度が発生することがある。車体左右振動増加についての既往の研究では、溶接部の凹凸が起点となる単発的な車体左右振動の発生すること¹⁾、溶接部を通過後、新レール区間では 270km/h で 6~8Hz 程度の車体左右振動が持続すること²⁾が示されている。一方、レール交換直後の車体左右振動は大きい、時間の経過とともに落ち着くといわれている。

そのため本研究では、この実態把握を目的として、新幹線において、ロングレール交換日から定期的にレール頭部断面 (以下、「レール断面」という) 形状と車体振動加速度を測定する一方、車輪転削後の走行距離と車輪断面形状の関係を求め、レール断面形状・車輪断面形状と車体左右振動加速度の経時変化を調査したので、その結果を報告する。

2. 調査概要

(2.1) 調査区間

実態調査箇所の選定にあたり、過去のロングレール交換箇所における車体左右振動発生状況を、軌道構造 (バラス

ト、スラブ) と線形 (直線、曲線) による影響について分析した。その結果、バラスト軌道の直線区間で比較的車体左右振動が大きいことから、①高通トン、②高速走行、③左右レール交換、④直線区間、⑤バラスト区間、⑥同一土木構造物 (本研究では高架橋)、という条件に合致する 2 区間 (以下、「区間 A」「区間 B」という) を選定した。

(2.2) 調査項目と調査時期

表 1 に、調査項目と調査時期の詳細を示す。

車輪形状は、車体振動測定を実施する車種と様々な走行距離の車種を予め調査し、測定した形状から任意の累積走行距離における車輪形状を予測する車輪摩耗形状推定ツール³⁾を用いた。

車体振動は、車輪摩耗の影響を比較するため、車輪転削後の累積走行距離がおよそ 5 万 km と 20 万 km の 2 車両を

表1 調査項目と調査時期

調査項目	調査時期	調査方法・条件等
車輪形状	交換前 (、交換後)	MiniProf
車体振動	交換前	デジタル動揺計/W0051
	交換後 1,7,14,28 日	同一編成営業列車
レール頭頂面凹凸	交換後 1,7,14,28 日	レール踏面粗さ測定器
レール頭部断面形状	交換前	MiniProf
	交換後 1,7,14,28 日	

対象として、編成の先頭軸で測定を実施した。測定時期は、レール断面形状測定にあわせ、レール交換前、レール交換後 1 日、7 日、14 日、28 日、56 日を基本とした。

レール断面形状は、レール交換を行った 2 区間において、調査時期をレール交換前、レール交換後 1 日、7 日、14 日、28 日、56 日を基本とした。レール頭頂面凹凸はレール交換後の同時期に調査した。レール断面形状測定位置は、図 1 に示すように、溶接部前後を詳細に測定することとし、1 区間あたり片レール 41 測点、左右レール計 82 測点とした。なお、同図に示す距離は、溶接中心からの距離を示し、溶接中心から旧レール方向を負方向、新レール方向を正方向とした。また、レール頭頂面凹凸は、溶接部を中心に、500mm (1m ストレッチ) の範囲で測定した。

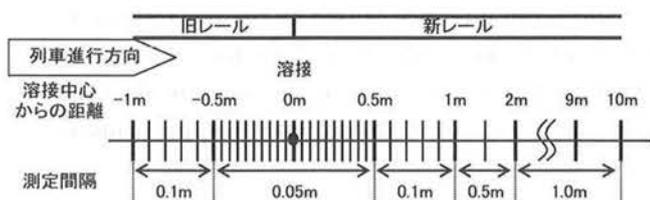
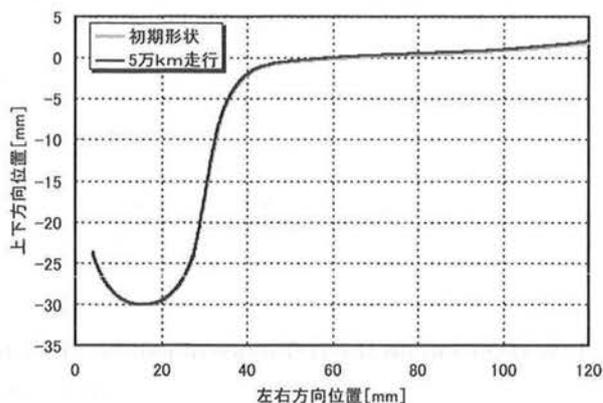


図 1 レール頭頂面断面形状測定位置 (レール交換後)

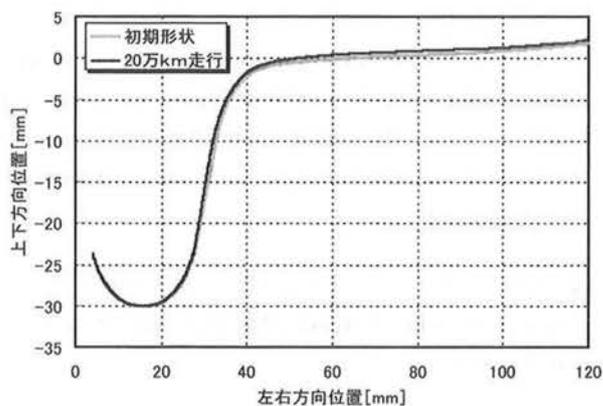
3. 調査結果

〈3-1〉 車輪形状

図 2(a)に、累積走行距離が 5 万 km の推定形状を示し、図 2(b)に、累積走行距離が 20 万 km の推定形状を示す。同図より、踏面摩耗量 (車輪バック面から 65mm 位置) は、累積走行距離が増えるに従って増加する傾向があり、フランジ厚さ (車輪バック面から 65mm 位置の 10mm 下の位置) は減少する傾向がある。また、鉛直摩耗量 (設計形状と摩耗形状の鉛直方向の差) については累積走行距離の増えるに従って増加する傾向にある。



(a)累積走行距離 5 万 km



(b)累積走行距離 20 万 km

図 2 車輪摩耗形状

〈3-2〉 車体振動

図 3 に、区間 A におけるレール交換後 1 日目から 56 日目までの車体左右振動加速度の経時変化を示す。なお、速度は全て 250km/h 前後である。同図より、局所的な車体左右振動については、レール交換後 1 日目には列車進入側の溶接部で比較的大きな振動が発生し、7 日目についても、その

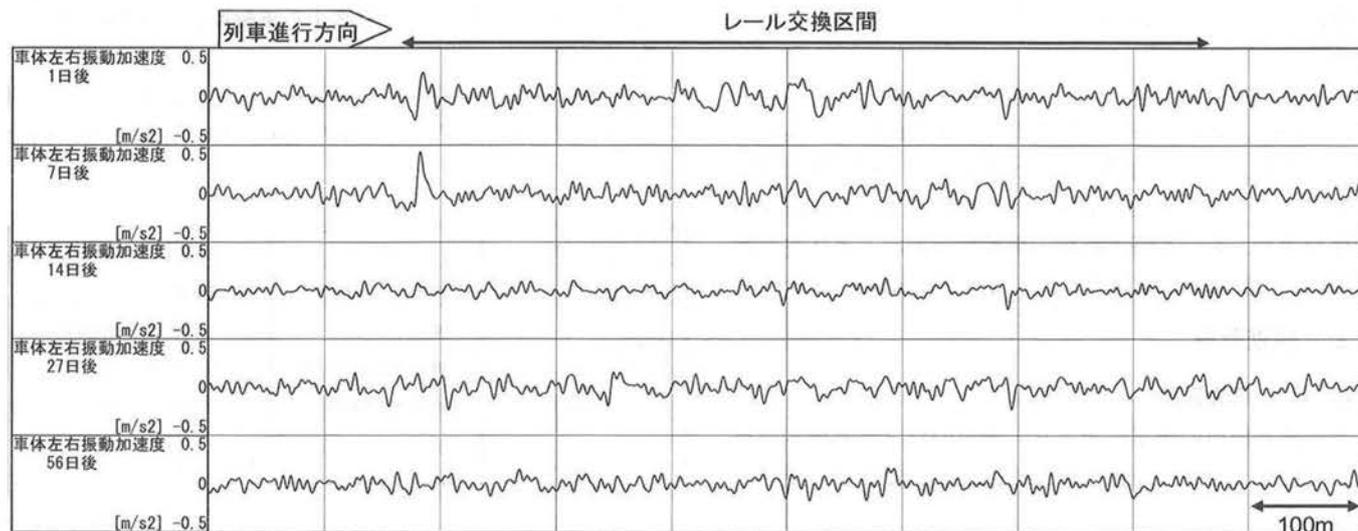


図 3 レール交換区間における車体左右振動加速度波形 (区間 A、約 5 万 km 走行車両)

車体左右振動は収まらなかった。その後、14 日目になると車体左右振動は収束し、27 日と 56 日目についても同様の結果となった。一方、レール交換区間全体では、列車進入側の溶接部ほど大きな車体左右振動は発生していないものの、レール交換区間前後を比較して相対的に大きな車体左右振動が発生しており、その振動はレール交換後 1 日目から 56 日目の間で収束していない。一方、区間 B では、区間 A ほど局所的にも全体的にも車体左右振動は発生していなかった。

〈3・3〉 レール頭頂面凹凸

図 4 に、区間 A の列車進入側溶接部の左右レール頭頂面凹凸波形の、レール交換後 1・7・14 日目までの経時変化を示す。同図より、レール頭頂面凹凸量は最大で±0.08 [mm/lm] 程度であり、その後の凹凸量の変化は左右レールともにそれ程進行していなかった。なお、区間 B についても、区間 A と同様の傾向であり、レール頭頂面凹凸量の経時変化はそれ程なかった。溶接部の車体左右振動の経時変化と比較すると、車体左右振動はレール交換後 14 日目には小さくなっているものの、レール頭頂面凹凸の凹凸量についてはそれ程変化していないことから、車体左右振動に与える影響は小さいものと考えられる。

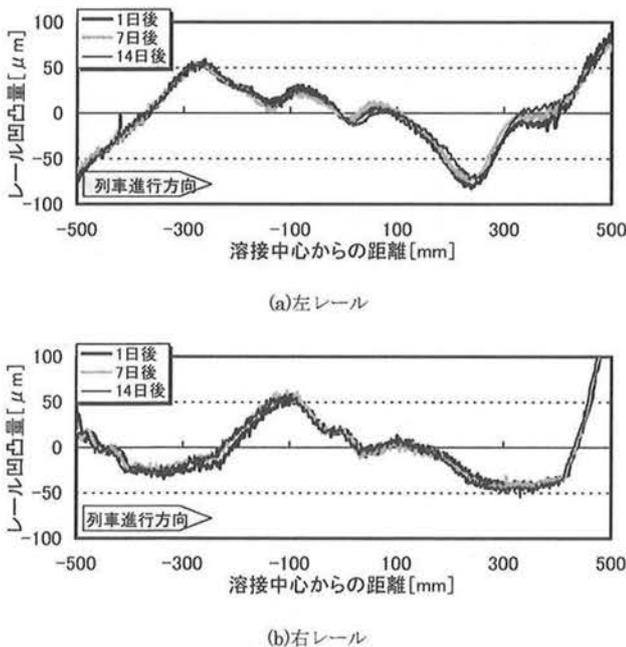
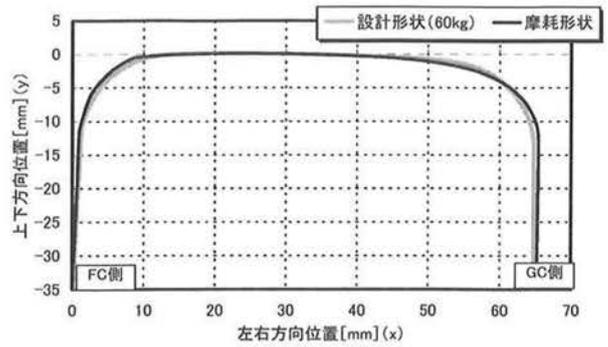


図 4 レール頭頂面凹凸波形 (区間 A、列車進入側溶接部)

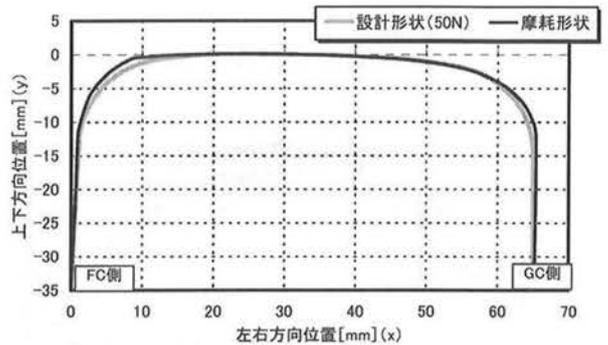
〈3・4〉 レール頭頂面断面形状

(1) レール交換前の断面形状

図 5 に、レール交換前のレール断面形状の一例を示す。同図で、横軸の原点をフィールドコーナー (以下、「FC」という) 側、正方向をゲージコーナー (以下、「GC」という) 側とし、縦軸の原点を頭頂面、負方向を底部方向とした。調査区間はともに 60kg レールであり、通トンレール交換前の状態のレールを摩耗形状とした。測点は、進入側溶接部



(a) 摩耗レールの頭部断面形状 (60kg レール比較)



(b) 摩耗レールの頭部断面形状 (50N レール比較)

図 5 レール交換前の頭部断面形状

前後・2~5m 間で 0.5m 間隔で測定を実施したが、測定位置によるレール断面形状に大きな差異は見られなかったことと、測定したレール断面数が多いことから、測定断面形状の平均形状とした。同図より、摩耗形状の断面形状は 60kg レールであるものの、GC 側の形状は 50N レールの設計形状に近い形状であることがわかる。

(2) レール断面の曲率半径

次に、新旧レール断面形状の曲率半径について分析を行った。分析には、図 5 に示した x、y 座標における形状データを微分し、50 点の隣接平均から求めた値を、式(1)に代入して曲率半径 (ρ) を求めた。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{-\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

図 6 に、図 5 に示した摩耗形状の曲率半径と、区間 A のレール交換後 1 日目と 14 日目の溶接中心のレール断面形状の曲率半径を示す。図 6(a)より、60kg レール設計形状の曲率半径 600mm と 50N レール設計形状の曲率半径 300mm の GC 側の圆弧部分で比較すると、摩耗レールは曲率半径 300mm 前後であり、50N レール断面形状に近い形となっており、文献 (2) に示された結果とほぼ一致する結果となつ

た。一方、図 6(b)と(c)より、レール交換後 1 日目の溶接中心のレール断面形状は、同様の円弧部分で比較すると、曲率半径は 100mm 前後から直線に近い形状 (この例では、10,000mm 程度) の間で、ばらつきが非常に大きくなっており、7 日目についても同様の傾向が確認された。その後、14 日目になると、一部ばらつきはあるものの、曲率半径は 100mm 前後から最大 2,000mm 前後とそのばらつきの幅が縮小している。同様の傾向が、比較的大きな車体左右振動が生じた溶接部前後にある。このことは、図 3 に示したレール交換後 14 日目に車体左右振動が小さくなることと一致していることから、レール断面形状が車体左右振動に与える影響は大きいものと考えられる。

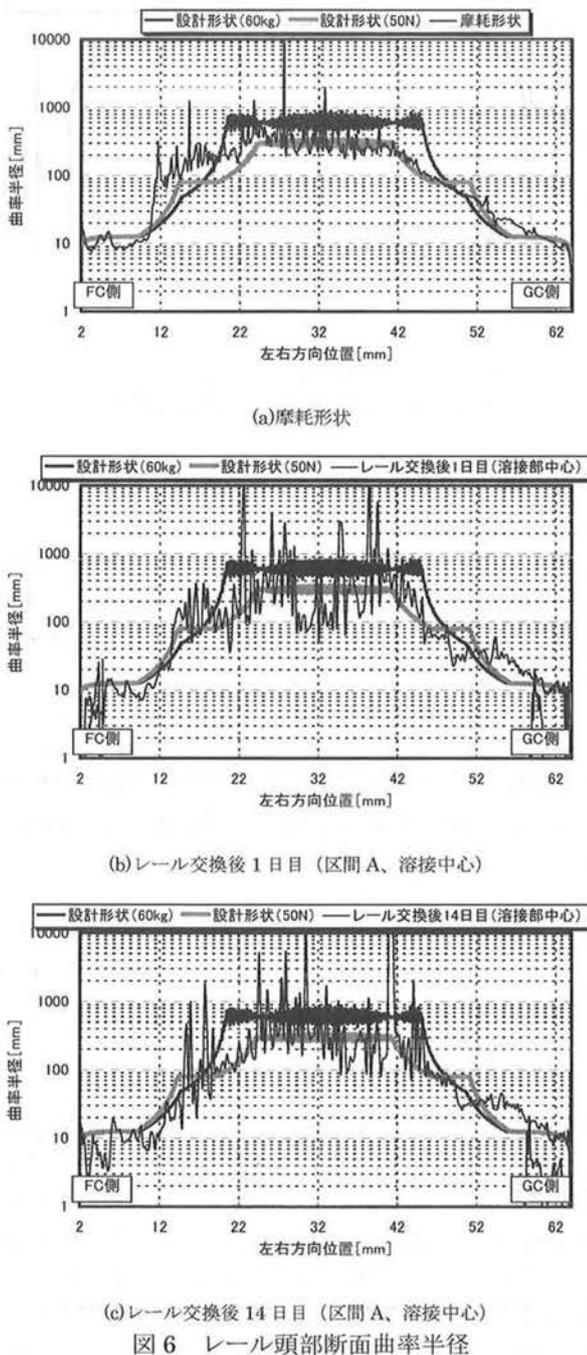
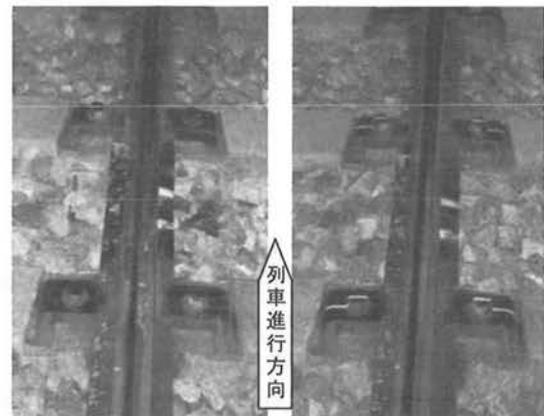


図 6 レール頭部断面曲率半径

レール頭頂面の照面については、図 7 に示すように、レール交換後、時間の経過とともに照面に若干の変化が確認され、GC 側には数 m にわたり、下方向にフローが発生していることも確認された。



(a)レール交換後 1 日目 (b)レール交換後 14 日目

図 7 レール頭頂面照面変化 (区間 A)

4. まとめ

ロングレール交換に伴う車体左右振動の発生についての実態把握を目的に、2 区間においてロングレール交換日から定期的な車体振動測定、レール断面形状調査等を実施した結果を以下にまとめる。

- ① 2 区間の内 1 区間では、レール交換直後に相対的に大きな車体左右振動が発生した。この車体左右振動は、14 日程度経過すると収束した。
- ② レール頭頂面凹凸は、凹凸量の変化はそれ程なく、車体左右振動に及ぼす影響は小さい。
- ③ レール交換前のレール断面形状は、50N レール断面形状に近い形状であった。これは、文献 (2) に示される結果とほぼ一致した。
- ④ レール交換後のレール断面形状の経時変化は、交換直後には曲率半径のばらつきの幅は非常に大きかったものの、14 日目にはそのばらつきの幅が縮小しており、車体左右振動が収束する時期と一致した。
- ⑤ レール頭頂面は、レール交換後時間の経過とともに照面が若干変化する。また、GC 側には数 m にわたり、下方向にフローが発生する。

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」, 鉄道技術連合 (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」, 鉄道技術連合 (J-RAIL2005), pp.363-366, 2006.
- (3) 芳賀昭弘:「鉄道車両用車輪の摩耗傾向と寿命予測」, 日本機械学会誌, Vol.113, No.1094, pp.32-34, 2010.