

車輪摩耗低減に関する研究

○廣瀬 哲也 [機] 齊藤 憲司 (東日本旅客鉄道株式会社)

Research on wheel wear reduction

○Tetsuya HIROSE, Kenji SAITO (East Japan Railway Company)

To reduce wheel wear, we have researched previous studies and trends of wear of conventional lines rolling stock in metropolitan area. As a result, it developed that the depth of flange wear is reduced about 50% by practicing wheel rail lubrication, about 40% by flexibly supporting axle, and 30% by using increased adhesion brake shoe. Moreover, it became clear that wheel rail lubrication has an effect not only wheel wear but rail wear reduction.

キーワード: 車輪, フランジ, レール, 摩耗, 潤滑

Key Words: wheel, flange, rail, wear, lubrication

1. はじめに

鉄道車両における車輪は、安全性・快適性に関わる重要な機器である。一方、車両関係における材料費でもっとも大きなウェイトを占めており、車輪の寿命を延伸することでコストダウンを図ることができる。車輪の寿命は走行による摩耗量と、走行により摩耗・損傷した形状を設計形状に戻す削正量及びその周期により決定される。フランジ摩耗が大きいと削正量も大きくなるため、フランジ摩耗を低減することが車輪寿命の延伸につながる(図1)。また、メンテナンス全体のコストダウンを図るという観点から、車輪と接触しているレールについても考慮する必要がある。どちらか一方の寿命が延伸すればよいというわけではない。既往研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾から、外軌とフランジの潤滑、軸箱前後柔支持、等価踏面勾配を大きくする等により、フランジ摩耗が低減する傾向にあることが示されているが、これらの定量的な摩耗低減効果やレールに与える影響は明確になっていない。そこで本研究では、フランジ摩耗低減の効果を車輪とレールの双方から把握し、車輪寿命の効果的な延伸手法(方策)について提言することを目的とした。

2. 研究内容

2.1 既往研究調査

(1) フランジ摩耗のメカニズム

車輪が曲線通過する際、外軌側のフランジがレールのゲージコーナーに接触してアタック角を持ち外軌を押しながらか走行している(図2)。この力を横圧といい、急曲線に

なるほどアタック角が大きく、横圧が増加する傾向にある。また、フランジとレールの接触部分に摩擦が発生するため、フランジおよびレールが摩耗する⁷⁾。摩擦を低減するには、横圧や外軌とフランジの摩擦係数を下げることが有効である。

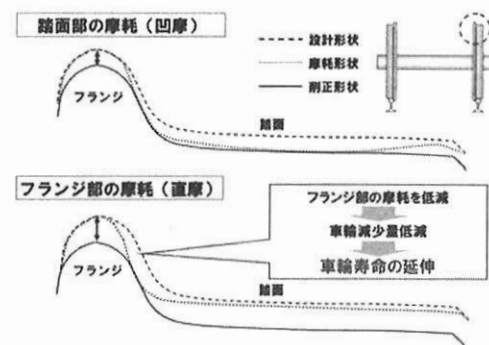


図1 踏面部の摩耗とフランジ部の摩耗

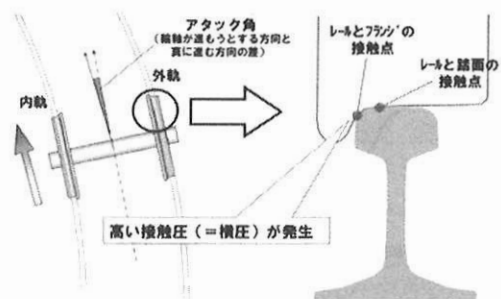


図2 フランジ摩耗のメカニズム

(2) フランジ摩耗低減方策

既往研究を調査した結果、フランジ摩耗を低減する方策

は以下の 4 つである。

① 外軌とフランジの潤滑

外軌とフランジに油等を介在させることにより、摩擦係数を低減。

② 軸箱の柔支持

軸箱前後支持を柔支持とし、アタック角を緩和することにより、横圧を低減。

③ 等価踏面勾配を大きくする

曲線通過時に必要な車輪半径差を確保することにより、横圧を低減。

④ 内軌と踏面の潤滑

内軌と車輪踏面に油等を介在させることにより、横圧を低減。車両の加減速への影響が懸念されるため、JR 東日本では実施していない。

2.2 摩耗傾向分析

2.1(1)で記述したフランジ摩耗低減方策について、JR 東日本の車両における方策の実施状況とフランジ厚さ減少量の関係について、2006 年 9 月から 2010 年 9 月までのデータを対象に調査した。その結果を図 3 示す。用語の定義は図 4 のとおり、バック面からの距離が 65mm の位置 (以下、車輪直径基準点) における直径を車輪径とし、フランジ厚さ減少量とは車輪直径基準点から垂直方向 10mm 上方におけるフランジ部とバック面との変化量である。一部の車両ではフランジ厚さ減少量がマイナスの値となっているが、これは踏面の凹摩耗により車輪直径基準点に変化し、フランジ厚さの測定位置が車軸中心方向に移動するためである。結果より、方策が実施されている数が多い車両はフランジ厚さ減少量が少なく、逆に全く実施されていない車両はフランジ厚さ減少量が多いことがわかる。

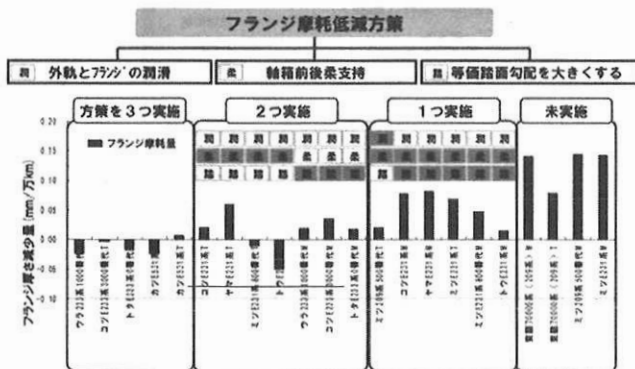


図 3 フランジ摩耗低減方策とフランジ厚さ減少量

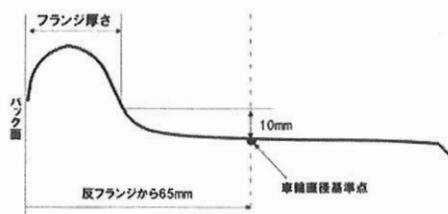


図 4 フランジ厚さの定義

2.3 方策の摩耗低減効果

フランジ摩耗低減方策について、固有の効果を分析した。

(1) 外軌とフランジの潤滑

外軌とフランジを潤滑して摩擦係数を低減する方法であり、JR 東日本では車上式のレール塗油装置を用いている。レール塗油装置とは曲線半径 600m (R600) 以下の曲線を検知して、外軌のゲージコーナー部に油を噴射し、外軌とフランジの摩耗を低減するものであり、JR 東日本管内においては首都圏の大部分の在来線線区で実施されている。その効果について 2 つの事例から分析した。

① 山手線における効果

山手線を走行する東京総合車両センター所属の E231 系は 52 編成中 8 編成にレール塗油装置が搭載されている。同線区で 2005 年 4 月にレール塗油装置を一斉に停止した時のデータを整理し、塗油による摩耗低減効果を確認した。測定車両は M 車と Tc 車各 1 両が 2 編成の計 4 両である。図 5 は Tc 車における塗油の有無によるフランジ幅の推移を比較したものである。ここでフランジ幅とは、2.2 で記述したフランジ厚さとは異なり、フランジ先端から 17mm 下方におけるフランジ部の厚さとした (図 6)。これは、凹摩耗等による車輪直径基準点の変化による影響を排除するためである。1 車両 8 車輪分の測定値をプロットしているため、同一の転削後走行距離でプロットが縦に並んでいる。2 編成のプロットが離れているのは、塗油停止時における車輪削正後の走行距離が異なるためであり、Tc230-552 は削正直後から、Tc230-544 は削正後 6 万 km 走行後に塗油を停止した。何れも塗油停止後、1 万 km 走行後には塗油実施時の摩耗傾向よりも急激にフランジ幅が減少していることがわかる。M 車においても同様の傾向であった。フランジ幅の減少量をフランジ摩耗量とし (以下同様)、各車 2 万 km 走行後の 1 万 km あたりのフランジ摩耗量 (mm/万 km) を比較した結果を図 7 に示す。塗油実施時と比べて M 車・Tc 車ともにフランジ摩耗量が 55% 増加していた。

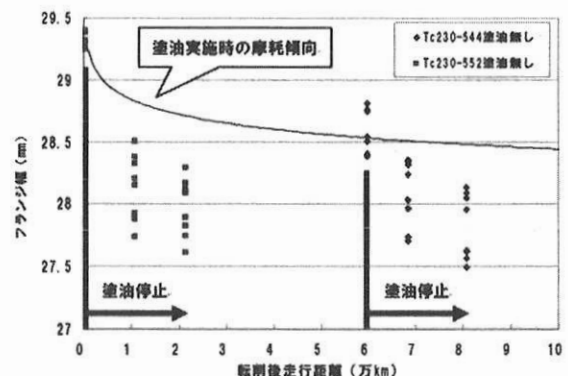


図 5 レール塗油の有無によるフランジ幅の推移



図 6 フランジ幅の定義

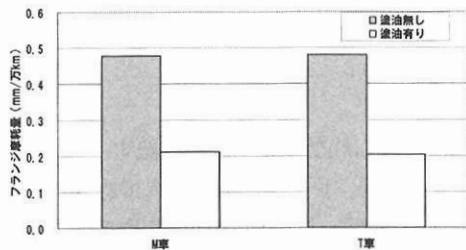


図 7 レール塗油の効果 (E231 系)

②京浜東北線と中央総武緩行線における効果

京浜東北線を走行していた浦和電車区所属のウラ 80 編成 (209 系 500 代) は転配され、現在は三鷹車両センター所属のミツ 516 編成となり中央総武緩行線を走行している。そこで同一編成を追跡し、走行線区が変わったときの摩耗傾向の変化を調査した。25 万 km 走行後の M 車の車輪形状を図 8 に示す。踏面摩耗量とは車輪径が走行時の摩耗により減少した量であるが、両者に大きな差はみられない。しかし、フランジ摩耗量は中央総武緩行線の場合、約 1.7 倍多くなっている。そのため、削正量も多くなり車輪の推定寿命は 100 万 km であった。レールの敷設状況を調査したところ、京浜東北線と中央総武緩行線の線形 (総延長、曲線割合) はほぼ同等であった。しかし、京浜東北線には 83 編成中 5 編成にレール塗油装置が搭載されており、中央総武緩行線には搭載編成がなかった。したがって両線区のフランジ摩耗量の差は、外軌とフランジの潤滑による影響が大きいと考えられる。フランジ摩耗量を比較すると中央総武緩行線は M 車で 40%、T 車で 45%増加していた (図 9)。

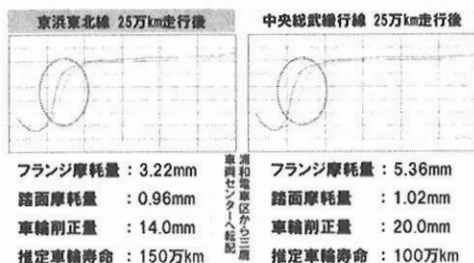


図 8 摩耗量の比較

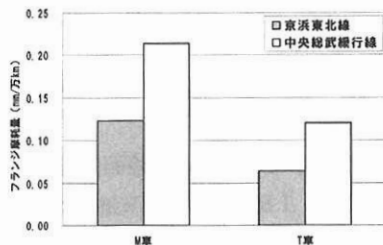


図 9 レール塗油の効果 (209 系 500 代)

(2) 軸箱の柔支持

台車枠と輪軸を弾性支持するための支持方法について、209 系以降の新系列車両で軸はり式が採用されている。支持にはゴムを使用し、その前後支持剛性はアタック角の緩和による横圧の低減を目的とするため、E233 系は 209 系・E231 系と比較して 3 割程度柔支持としている。柔支持に

よるフランジ摩耗量への影響について、京浜東北線を走行していた浦和電車区所属の 209 系 500 代と同線区を走行している E233 系と比較した結果を図 10 に示す。柔支持としている E233 系は M 車で約 50%、T 車で約 35% フランジ摩耗量が低減していた。M 車における推定車輪寿命を比較すると 209 系 500 代が 150 万 km、E233 系が 220 万 km であった。

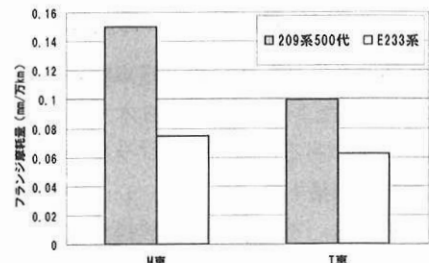


図 10 支持剛性の違いによる摩耗量の差

(3) 等価踏面勾配を大きくする

等価踏面勾配を大きくすることで、曲線通過時に必要な車輪半径差を確保できる。よって、フランジ部のレール接触頻度が低減し、フランジ摩耗量が低減する。焼結制輪子を使用すると踏面が凹摩傾向となり、フランジ摩耗量が少ない傾向にある。そこで、京浜東北線を走行していた浦和電車区所属の 209 系 0 代 T 車 (合成制輪子使用) と 209 系 500 代 T 車 (焼結制輪子使用) でフランジ摩耗量を比較した。焼結制輪子を使用している 209 系 500 代の T 車は約 30% フランジ摩耗量が低減していた。実際の 25 万 km 走行後の両者の車輪形状を図 11 に示す。踏面摩耗量は 209 系 0 代が約 0.9mm、209 系 500 代が 3.2mm であり、焼結制輪子を使用している後者は凹摩傾向となっていた。推定車輪寿命で比較すると 209 系 0 代が 150 万 km、209 系 500 代が 180 万 km であった。

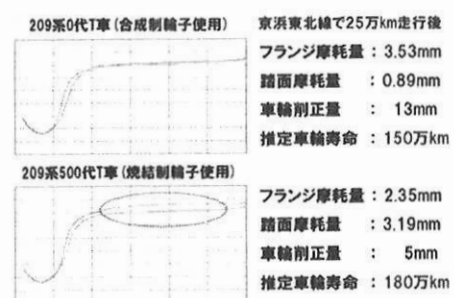


図 11 制輪子の違いによる車輪形状の差

2.4 レールの摩耗量調査

京浜東北線、山手線、中央総武緩行線の曲線半径とレール摩耗進みの関係を 2008 年 1 月から 2010 年 12 月のデータを対象に調査した (図 12)。レール塗油装置を導入していない中央総武緩行線は、導入している京浜東北線や山手線と比較して摩耗量が多い。レール塗油装置は R600 以下の曲線を検知して動作するため、同曲線で摩耗量に 2 倍以上の差があった。よって、外軌とフランジの潤滑はレールと車輪双方に摩耗低減の効果があるといえる。

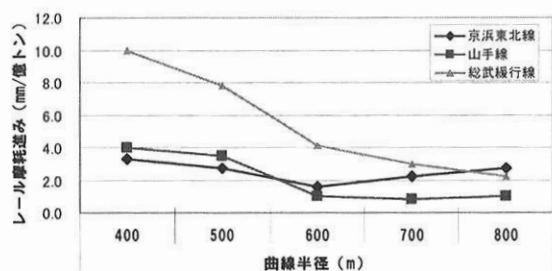


図 12 線別別レール摩耗進み

2.5 レール塗油を施した場合の推定車輪寿命

2.1(1)で前述したように JR 東日本で実施している摩耗低減策には 3 つあるが、外軌とフランジの潤滑はフランジ摩耗低減効果が最も高い。また、レールの摩耗低減にも大きな効果がある。そこで中央総武緩行線にレール塗油を施した場合の車輪寿命を 209 系 500 代 M 車について予測した (図 13)。外軌とフランジの潤滑を実施している線区は平均で 50% 程度摩耗量が低減していることから、従来どおり 25 万 km 周期で削正した場合、車輪寿命が 150 万 km に延伸できると推定される。

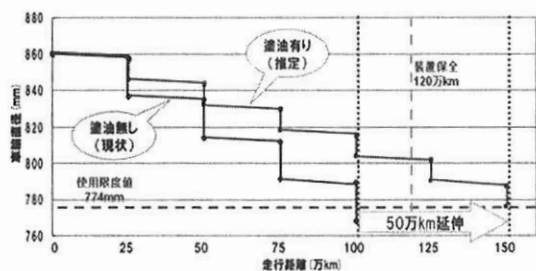


図 13 レール塗油実施時の車輪寿命予測

2.6 潤滑の適切な油量

外軌とフランジの潤滑を実施することにより、条件によってはレールの摩耗が抑制され、疲労が蓄積することによる「ピッチング損傷」が発生する。過度な塗油が原因と考えられているため、適切な量とする必要がある。そこで、京浜東北線 E233 系の現状を例に適切な塗油量を算出した。京浜東北線を選定した理由はフランジと外軌の摩耗低減効果があり、かつピッチング損傷が発生しておらず、適切な塗油量であると考えたためである。塗油したレール上の油は、当該を通過する他の車輪にも付着して徐々に減少する。そこでパラメータは以下の 4 つとした。

- ・ 1 日における編成あたりの塗油量 (ml)
- ・ 塗油装置搭載編成数 (編成)
- ・ R600 以下の曲線延長 (m)
- ・ 1 日あたりの曲線通過軸数 (軸)

ここで曲線 1m あたりに付着している塗油量 L (ml/m) は

$$L(\text{ml/m}) = \frac{\text{編成あたりの油消費量}(\text{ml}) \times \text{塗油装置搭載編成数}(\text{編成})}{\text{R600以下の曲線延長}(\text{m}) \times \text{曲線通過軸数}(\text{軸})} \quad \dots\dots(1)$$

で表される。(1)式に京浜東北線 E233 系の現状を代入すると、曲線 1m あたりに付着している油量が計算できる。この値が適切な塗油量と考え、(1)式を用いて各線区に必要なレール塗油装置の必要搭載編成数を算出することができ

る。中央総武緩行線を例として算出すると、4 編成が適切であると考えられる。

3. まとめ

本研究にて得られた知見を以下に記す。

- ・ フランジ摩耗が、レール塗油の導入で約 50%、軸箱前後柔支持で約 40%、焼結制輪子の使用で約 30% 低減していることが確認できた。
- ・ 外軌とフランジの潤滑について、固有の効果を検証した結果、京浜東北線と中央総武緩行線の 209 系で 45%、山手線 E231 系で 55% 摩耗低減を定量的に確認できた。
- ・ 京浜東北線の塗油状況を基に中央総武緩行線に必要なレール塗油の必要搭載編成数を算出した結果、4 編成となった。導入した場合、車輪寿命が 100 万 km から 150 万 km に延伸できることが推定される。

4. おわりに

以上により、フランジ摩耗低減のため、外軌とフランジの潤滑、軸箱の柔支持、焼結制輪子の使用を提案する。しかし、各方策には懸念事項もある。外軌とフランジの潤滑については前述のとおりである。軸箱の柔支持については、輪軸の自由度が増すことで輪軸蛇行動の発生する可能性が高くなる。焼結制輪子を使用した一部の車両では、車輪踏面に熱亀裂の発生が確認されている。このうち、輪軸蛇行動と熱亀裂の発生については走行速度の影響が高いため、それを考慮することで懸念事項に対応できると考えられる。また、本研究はフランジ摩耗低減に関するものであるが、車輪寿命は削正周期と削正量にも大きく影響を受ける。今後、首都圏の一部の車両にレール塗油装置を搭載する計画があり、使用することにより摩耗傾向が大きく変化する事が予想される。こうした摩耗傾向の変化に対応した削正周期と削正量にすることで、メンテナンスコストの低減に継続して取り組んでいく。

参 考 文 献

- 1) 斉藤, 他: 「新系列車両の車輪踏面摩耗特性」 J-Rail2007 講演論文集, 2007
- 2) 斉藤, 他: 「新形通勤電車の車輪摩耗傾向および車両運動特性」 鉄道総研報告, 2007
- 3) 半田, 小原, 宮内, 西村: 「車輪踏面熱亀裂の生成に影響する因子の検討」 J-Rail2005 講演論文集, 2006
- 4) 伴: 「車輪とレールの間に介在する物質が起す現象」 RRR, 2008
- 5) 石井: 「車輪寿命延伸に向けた踏面形状基礎的研究」 R&M, 2011
- 6) 小原, 大野, 大山: 「車輪・レールの粘着力を下げずに摩耗を減らす」 RRR, 1990
- 7) 名村: 「車輪・レール系の境界技術」 第 21 回鉄道総研講演会, 2008