

潤滑によるレール車輪間の摩擦係数と内軌側波状摩耗に関する一考察

東京地下鉄株式会社 正会員 大澤 純一郎 正会員 ○劔持 尚樹 河野 陽介
日鉄住金レールウェイテクノス株式会社 久保 奈帆美

1. はじめに

東京地下鉄(以下、弊社とする。)では195.1キロの営業線を維持管理しているが、路線延長の約16%がR300以下の急曲線であり、急曲線区間に敷設されたレールでは、内軌レールにおける波状摩耗やキシリ音など、様々な問題が発生する。

弊社では、地上からの塗油による内軌の潤滑を対策の一つとして実施している。潤滑による内軌側波状摩耗の抑制効果は認められているが、そのメカニズム解明や定量的評価は課題である。一方で、列車通過時にレールに発生する振動の左右振動加速度には、特定の周波数帯において波状摩耗の発生と関係があることの研究も進められている。そこで今回の考察では、潤滑と波状摩耗の関係を捉える為、レール車輪間の摩擦係数と左右振動加速度との関係について着目した。具体的には同地点での潤滑の前後における内軌輪重(以下、Pという。)、内軌横圧(以下、Qという。)と左右振動加速度を測定した。測定の結果、波状摩耗の発生に関係のある周波数を特定し、潤滑して摩擦係数を低下させることにより、その周波数の振動が低減可能であることがわかった。

2. 測定概要

(1) 測定区間

営業線の急曲線において、内軌PQおよび内軌振動加速度の測定を実施した。測定区間の曲線諸元及び自動塗油器の設置位置等を図-1に示す。

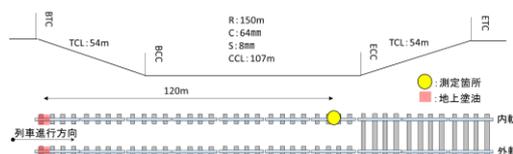


図-1 測定区間概要

(2) 測定中のレール状態

測定区間では波状摩耗の発生が認められたが、測定期間中にレール削正により波状摩耗を除去し、その後の測定への影響を除外した。

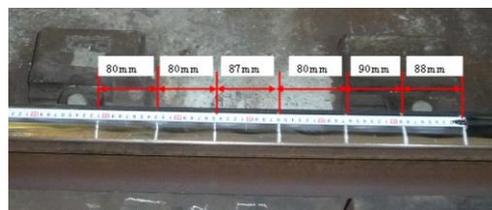


写真-1 削正前の測定区間

(3) 塗油方法

当該区間では塗油器から一定間隔でグリスを吐出し、レールを潤滑しているが、今回の測定ではこれに加え、測定地点が確実に潤滑されるように、レール頭頂面にグリスを手塗で塗布するタイミングを設けた。手塗した前後の測定値を比較することで、潤滑と振動の関係をより明確に検証可能となった。

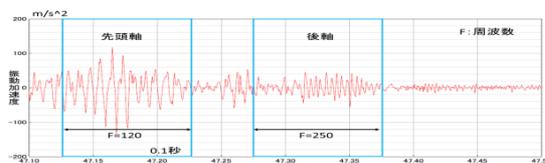


図-2 列車通過時の左右振動加速度

3. 測定結果

(1) 波状摩耗の発生と特定の周波数帯の左右振動加速度

写真-1は削正前に発生していた測定箇所の波状摩耗の様子である。この区間での運転曲線は約35km/hで、波状摩耗は80~90mmの波長であった、運転曲線の速度を波長で除して換算すると、周波数帯は120Hz程度であった。

図-2はレール削正前の列車通過時の左右振動加速度を、1台車分の範囲について示したものである。横軸に測定時刻、縦軸に左右振動加速度を示す。

キーワード 内軌Q/P, 左右振動加速度, PSD

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6 東京地下鉄(株) TEL 03-3837-8084 FAX 03-3837-7176

先頭軸が通過した際の振動に着目すると、周波数は 120Hz 程度であった。この周波数は波状摩耗の周波数にほぼ一致しているため、測定区間の波状摩耗発生要因の 1 つが、先頭軸で発生している 120Hz 程度の左右方向の振動であると推察される。

(2) 潤滑による摩擦係数の変化

図-3 に、横軸を測定時刻として、縦軸に摩擦係数の指標となる内軌 Q/P をとり、波状摩耗が除去された状態で車輪が通過した際の内軌 Q/P 測定結果を示す。

同図エリア B は塗油器による潤滑のみの期間で、塗油周期に対応して内軌 Q/P が低下し、その後レールがドライ状態になるにつれて内軌 Q/P が増加している。一方でエリア A は、同図中に示す赤線のタイミングで手塗してレールを潤滑した期間であり、その結果手塗直後からプロットの内軌 Q/P がエリア B に対して全域で相対的に低下しており、手塗により確実に潤滑状態となっていることが確認できる。

(3) 潤滑による左右振動加速度の変化

波状摩耗が除去された状態で、列車通過時にレールに発生する左右振動加速度を、周波数ごとの特徴を捉える為にパワースペクトル密度周波数分析（以下、PSD という。）した結果を図-4 に示す。図-4 は横軸にレールに発生した左右振動加速度の周波数、縦軸を PSD としている。図-4(a)は図-3 におけるプロット群 A の列車通過時の PSD である。このときの内軌 Q/P は約 0.28 で、十分に潤滑されている。一方、図-4(b)はプロット群 B の列車通過時の PSD である。このときの内軌 Q/P は約 0.66 で、レールはドライ状態である。図-4(a)と図-4(b)を比較すると、内軌 Q/P の低下に対して、PSD は全周波数帯で低下傾向であることが確認された。また、ドライ状態では波状摩耗が無いに関わらず 120Hz にピークがみられる。摩擦係数が高い場合に、この振動が波状摩耗を発生させていると推察する。

4. 潤滑による摩擦係数と左右振動加速度の関係に関する考察

図-3 と図-4 の結果より、潤滑でレール車輪間の摩擦係数が低下すると、PSD は全周波数域で低下する関係があることが確認された。一方で、PSD がピークとなる周波数にほぼ変化はない。結果として、潤滑により摩擦係数が低下すると、PSD は全周波数域で低下し、波状摩耗発生の要因である 120Hz 程度の PSD も低下する。PSD の低下は、列車通過がレールに与えるエネルギーの低下をあらわしており、列車からレールに入力されるエネルギーが潤滑により減少することで波状摩耗の発生を抑制していると推察される。

5. まとめと今後の展望

今回の考察より、レール車輪間の摩擦係数と内軌側波状摩耗の抑制に関して、塗油により 120Hz を含む全周波数帯の PSD が低減することで波状摩耗の抑制が期待できる。今後は波状摩耗の抑制について効果的な塗油手法を考案したい。そのために今回確認した潤滑状態と PSD の関係が、曲線半径やカント量等の諸条件が変化した場合にも適用できるか検証する必要がある。

また、上述の波状摩耗の抑制のメカニズムについて、レールの潤滑状態による波状摩耗発生までの時間と、累積する PSD との関係性も検証する必要がある。加えて、塗油の潤滑効果の向上を目的としたレール削正¹⁾によりレール形状が変化した場合のレールの振動特性の変化が、PSD に及ぼす影響についても同様の視点で検討したい。

参考文献

1) 大澤, 平澤: 内軌塗油効果向上を目的とした局所的なレール研削方法 土木学会第 70 回年次学術講演会(2016. 9)

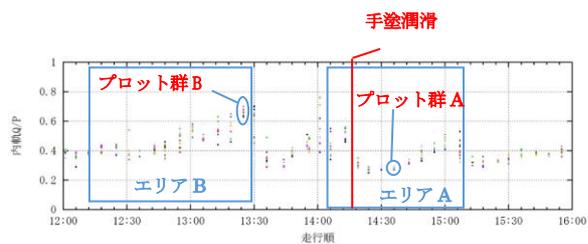


図-3 手塗前後の内軌 Q/P の変化

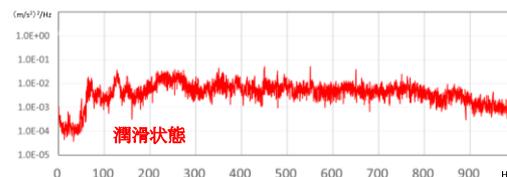


図-4(a) PSD (内軌 Q/P=0.28)

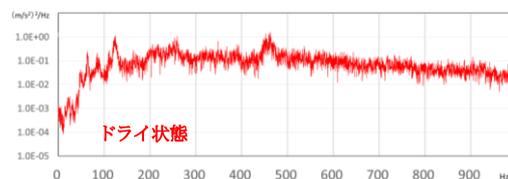


図-4(b) PSD (内軌 Q/P=0.66)