

地下鉄の曲線部における波状摩耗の対策に関する一考察

東京地下鉄（株） ○正会員 泊 弘貞
 東京地下鉄（株） 石塚 由春
 東京地下鉄（株） 鈴木 勇
 軌道システム研究所 フェロー 佐藤 吉彦

1. はじめに

東京地下鉄(株)では、8路線 183.2km を営業しており、トンネルが 84%を占めている。都心部ではできる限り道路下にトンネルを設けることで設計されているため、急曲線が多いことが路線の特徴である。半径 600 m以下の曲線延長は全線の 36%であり、この内半径 300m以下の曲線が 16%を占めるという構造的な要因から、レールに発生する波状摩耗の対応が課題となっている。今回、波状摩耗の発生状況を曲線半径別に調査するとともに、南北線で選定した曲線をモデルとして列車が走行する際の車輪の経路差と輪径差から滑り率を算出した。さらに、内軌レールを（波状摩耗）抑制削正することにより輪径差を確保することを意図し、一定の効果が確認できたので報告する。

2. 波状摩耗の発生状況

曲線における波状摩耗の発生状況を調査した結果、全線における半径 500m以下の曲線は 767 箇所あり、この内 150 箇所（約 20%）の内軌レールに波状摩耗の発生が確認された。特に曲線半径 300m付近から急激に発生率が増加する傾向が確認できた。曲線半径と波状摩耗発生率の関係を図-1 に示す。

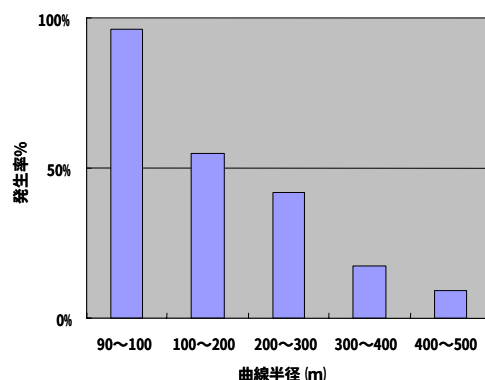


図-1 全線の内軌側波状摩耗発生率
($R \leq 500$ m)

3. 曲線別滑り率の解析

南北線において列車が曲線を走行する際の車輪の輪径差に応じた滑り率を曲線半径 600m～160mで解析した。曲線を走行する際に車輪が 1 回転する時の曲線内外軌（半径： r_1, r_2 ）の経路差の関係を図-2 に示す。

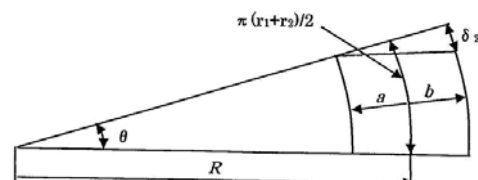


図-2 曲線内外軌の経路差

この時の曲線角度 θ は曲線 R に対し次式となる。

$$\theta = \frac{\pi(r_1 + r_2) / 2}{R} \quad (1)$$

したがって経路差 δ_2 は次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} \delta_2 &= (R+b) \theta - (R-a) \theta \\ &= (a+b) \theta \\ &= (a+b) \pi (r_1 + r_2) / (2R) \quad (2) \end{aligned}$$

車輪 1 回転の間の滑り率 ε は次式により求まる。

$$\varepsilon = \frac{2 (r_2 - r_1)}{r_1 + r_2} - \frac{a+b}{R} \quad (3)$$

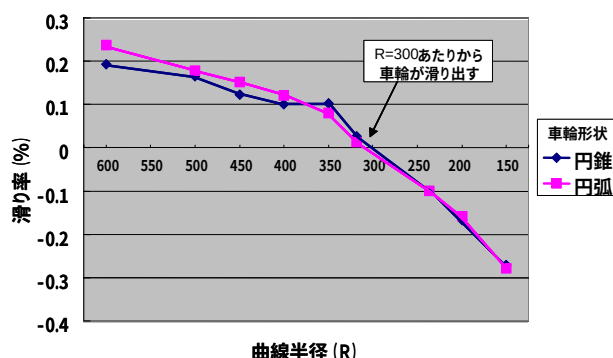


図-3 滑り率計算結果

曲線ごとに外軌側は隅角部小曲線手前の車輪径を用いて滑り率を計算すると、図-3 のように曲線半径 300 m付近からマイナスとなり、輪径差が不足する。このことは、現場における波状摩耗の発生傾向がこの曲線半

キーワード：波状摩耗、輪径差、滑り率、レール削正、抑制削正

〒110 - 8614 東京都台東区東上野 3 - 1 9 - 6 東京地下鉄(株)・TEL03-3837-7094・FAX03-3837-7171

径付近から急増することを説明するものと考えられる。また、南北線の選定した曲線半径ごとに波状摩耗の発生までの期間を調査したところ、図-4 に示すとおり半径 350m 付近以下の曲線では 1 年未満の早い時期に波状摩耗が発生していた。

4. レール削正による抑制対策

半径 300m 以下の曲線の波状摩耗を抑制する方法として、レール削正により曲線の内軌レールの頭部形状を、走行する列車の車輪との接点が現状のレール中心からフィールド側になるように形成し輪径差を大きくすることとした。試験区間は南北線東大前駅～後樂園駅間の半径 180m の曲線を選定し、上り線が従来削正を、下り線が抑制削正をそれぞれ行なった。抑制削正としてレールと車輪の接点移動量は図-5 に示すとおり、試験的にレール中心から 10mm 偏心するよう設定した。なお、試験削正前後の営業列車走行時において脱線係数測定を実施し、内軌レールの抑制削正により脱線係数の値が改善されていることを確認した。

平成 16 年 3 月から 1 年間にわたり追跡調査を行い、従来削正区間と抑制削正区間において波状摩耗発生から波高の成長速度を図-6 に示すとおり測定した。波状摩耗発生の目視確認が、従来削正の 1 ヶ月に対し、抑制削正は 2 ヶ月であった。波高の成長については、従来削正が 6 ヶ月で 0.06mm に達したのに対し、抑制削正は 11 ヶ月であった。抑制削正を実施した場合の波状摩耗の成長速度は通常削正に対し、約 2 分の 1 であった。（写真-1）



従来削正



抑制削正

写真-1 波状摩耗の状況（6 ヶ月経過）

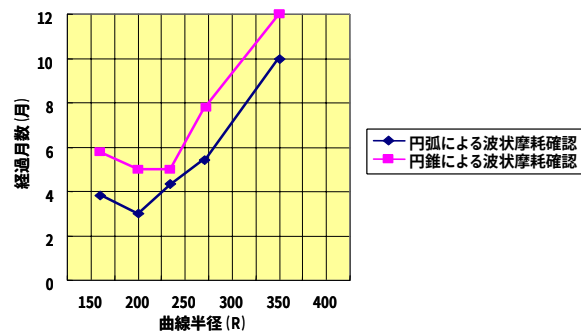


図-4 南北線における急曲線部波状摩耗発生周期

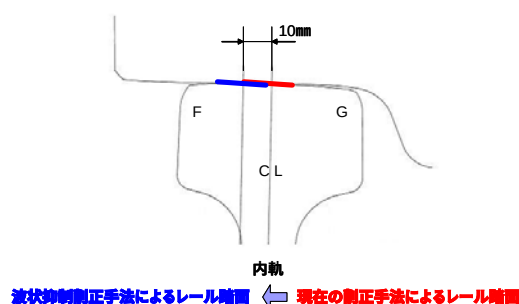


図-5 波状摩耗抑制対策削正

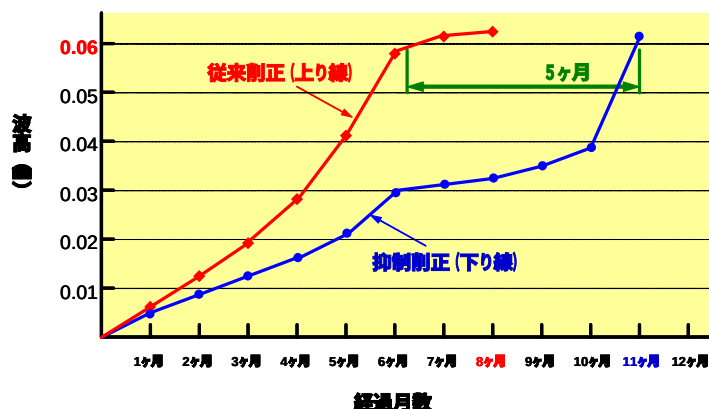


図-6 従来削正と抑制削正の比較

5. むすび

東京メトロにおける波状摩耗の発生傾向を分析し、曲線半径 300m 付近に波状摩耗発生の境界があることがわかった。レール削正により内外軌の輪径差を大きくする対策を行った結果、波状摩耗抑制の有効性を確認することができた。しかし、抑制削正はその設定に削正パス数が多くなるなど費用面の課題もあり引続き追跡調査を行ない、同時に抑制削正対策の適用範囲や削正時期等を検討する必要がある。

【参考文献】

佐藤吉彦：“新軌道力学”（株）鉄道現業社（1997）。