

車輪踏面と内軌頭頂面間の潤滑手法

材料技術研究部 摩擦材料
主任研究員 伴 巧

1. はじめに

車輪とレールの接触問題は、安全性、経済性および環境問題にかかわる鉄道固有の課題の一つである。特に急曲線走行時の車輪とレールの間に発生する転向横圧は、乗り上がり脱線の主な要因の一つとなる以外に、車輪とレールの材料保全の面で、曲線外側レール（以下「外軌」と表記）の側摩耗や車輪フランジ直立摩耗、曲線内側レール（以下「内軌」と表記）の車輪走行面（以下「頭頂面」と表記）に生じる波状摩耗の主な原因の一つでもある。また「きしり音」と呼ばれる甲高い騒音の発生機構にも横圧が関係している。このような背景の下、横圧を抑制するための簡便な手法として、車輪踏面と内軌頭頂面間の潤滑が注目され、国内外で種々の潤滑剤、潤滑装置の開発が進められている¹⁾。鉄道総研においては、固形の潤滑剤である摩擦緩和材と車上方式の車輪／レール摩擦緩和システム「FRIMOS（フリモス）」を開発し、検証試験を実施してきた。本稿では、装置およびこれまで得られた試験結果を紹介するとともに、最近基礎的な実験に取り組んでいる地上側からの水系潤滑剤供給に関する研究状況を併せて紹介する。

2. 内軌頭頂面用の潤滑剤に求められる条件

一般に、エンジンや軸受などに使用される潤滑剤は、摩擦によるエネルギー損失（発熱や振動）を可能な限り低減するとともに、摩耗や損傷の防止が目的である。車輪／レールにおいても、従前より行われている車輪フランジとレールゲージコーナ間の潤滑は、主として摩耗防止が目的であり、通常の潤滑油またはグリースが使用されてきた。一方、内軌頭頂面の波状摩耗や著大な横圧の発生を抑制するために内軌頭頂面（または車輪踏面）を潤滑すると、粘着係数（すなわち車輪の回転方向の摩擦係数（接線力係数））が減少して、車輪は空転や滑走に至る可能性が高まる。したがって、内軌頭頂面用の潤滑剤にはポジティブなトラクション特性（すべり率と接線力係数の関係）が要求される。すなわち、急曲線で生じるすべり率の範囲では、低いトラクション係数で横圧の発生を抑制し、車両の加速または減速で、空転や滑走に至る巨視すべりが発生すると高いトラクション係数へ移行して瞬時に再粘着できるトラクション特性が望ましい。

さらに粘着上の問題以外にも、踏面制輪子への影響が少ないことや、車輪とレールの電氣的短絡で構成される軌道回路を妨げないこと、土壌汚染につながる有害物質を含有しないこと等々、内軌頭頂面用の潤滑剤は多くの条件を満たす必要がある²⁾。

3. 車輪／レール摩擦緩和システム（FRIMOS）の概要

潤滑剤の供給方法は地上方式と車上方式に大別される。地上方式の場合、図1に示すように塗布位置からの距離によって、車輪が運ぶ潤滑剤の量に差が生じる。他方、車上方式では対象区間全域を均一に潤滑することができる。このことから、FRIMOSは車上式を選択し、車輪／レールへの供給方法には、既に実績のある増粘着材噴射装置の技術を転用した。また、FRIMOSで使用する

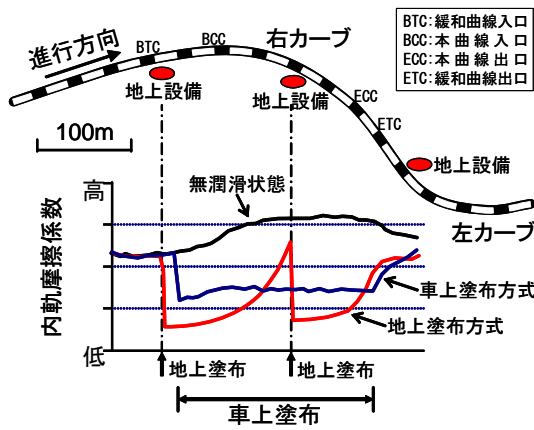


図1 塗布方式と摩擦係数の関係

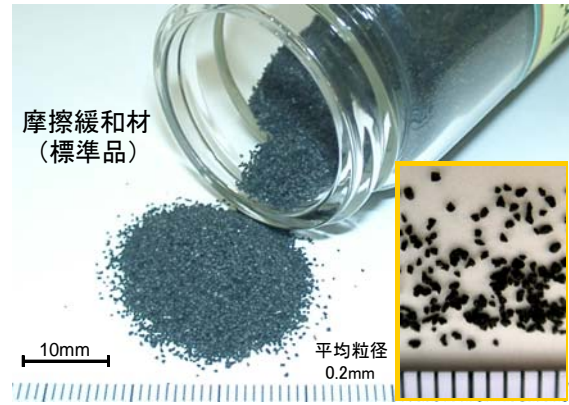


図2 摩擦緩和材の外観写真

潤滑剤として、カーボン系の摩擦緩和材を開発した。摩擦緩和材は、人造黒鉛の原料となるコークスを細粒化した後、所定の黒鉛化度に焼成し表面処理を施した平均粒径 0.2 mm の顆粒で、その外観を図 2 に示す。摩擦緩和材（表面処理の異なる 2 種類）と他の潤滑剤のトラクション特性評価試験を 2 円筒転がり接触試験機²⁾により、速度 40km/h で行った。その結果を図 3 に示す。高価なニッケルめっきを施した①の摩擦緩和材-P は理想に近い特性が得られた。また、フェノール樹脂で処理した②の摩擦緩和材-S は、⑤のグリースとは異なり、すべり率の増加に対して接線力係数が低下しないことを確認し、経済性を考慮して比較的安価に供給できる摩擦緩和材-S を標準品とした。

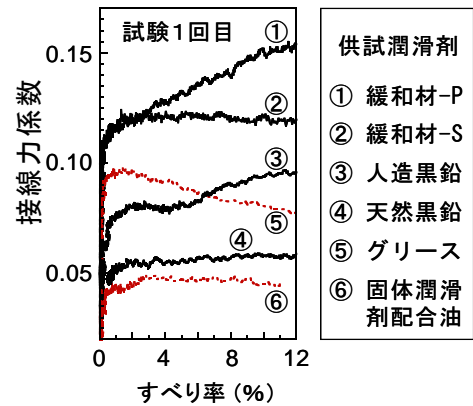


図3 トラクション特性評価試験結果

摩擦緩和材噴射装置の噴射制御は図 4 に示すように、曲線検知情報、非常ブレーキ指令、ワイパー動作信号、速度信号を受けて行われる。曲線検知方法は、台車方向角度を用いる曲線検知カム装置による方式や、列車運行管理システムの位置情報を利用する方法、地上子を設置する方法など複数あり、使用する線区の実情により選択可能である。

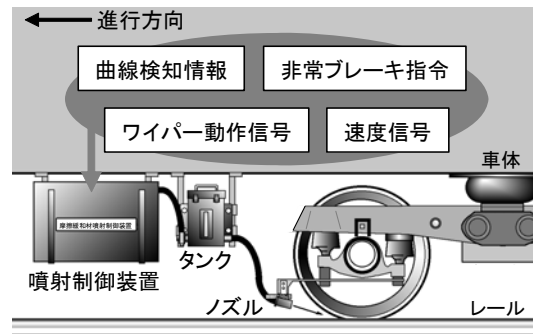


図4 噴射制御の概念図

4. FRIMOS 長期運用線区の追跡調査結果

FRIMOS は横浜高速鉄道(株)の「こどもの国線」で 2007 年 5 月から運用を開始し、当該箇所での追跡調査を継続的に実施している。調査対象は半径 197m の曲線で、列車の通過トン数は年間約 159 万トン（2007 年度実績）であり、運行する車両は 1 編成が 2 両でゴムサンドイッチ付防音車輪を使用している。また、60kg レールが敷設されている曲線部の通過速度は約 30km/h で、FRIMOS の運用開始時点では内軌頭頂面に波状摩耗が存在していたものの、直後のレール削正により完全に除去されている。なお、追跡調査は削正直後から 2009 年 7 月までの間に 6 回実施している。

測定した騒音（AP 値）の平均値を図 5 に示す。摩擦緩和材の試験運用時は無潤滑状態と比べて約 3dB の低減効果が確認され、これは「きしり音」が減少したものと想定される。しかし、このときのレールには波状摩耗が存在していたため転動音が顕著に認められた。一方、レール削正後は無潤滑条件（波状摩耗あり）と比較して、安定的に 10dB 程度低い状態を維持していることがわかる。次に内軌頭頂面の凹凸形状測定結果を図 6 に示す。当該箇所の波状摩耗は約 8 年で形成された凹凸形状で、削正による凹凸除去後は、26 ヶ月の調査でも特段の変化は生じていなかった。また目視によるレール観察でも、波状摩耗発生の予兆となる表面状態の異変は認められなかった。

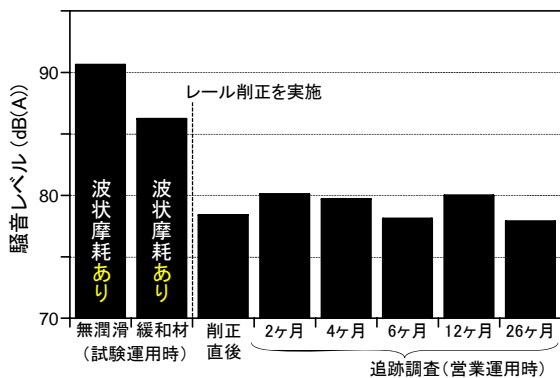


図 5 車両通過時の騒音平均値

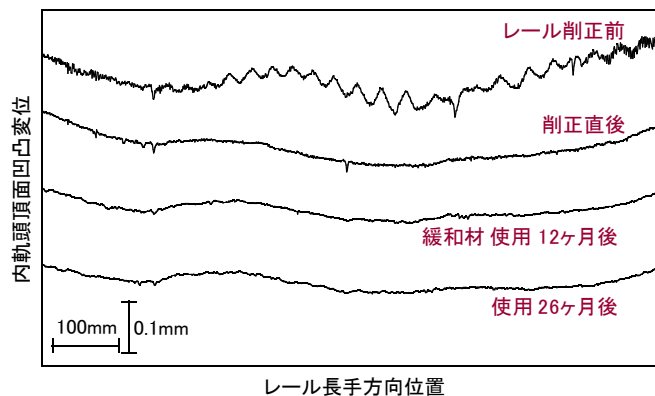


図 6 内軌頭頂面の凹凸形状測定結果

追跡調査以前に実施した効果の持続性確認試験により、当該線区での横圧低減効果は約 70%減で、200 軸以上通過するまで継続する結果が得られている。しかし、営業線運用開始後から 22 ヶ月間、緩和材の散布は 3 往復に一度の頻度で行われてきた。これは試験運用時の結果から推定される適正使用量のおよそ 4 倍にあたる。このような散布量の設定は、初の営業線運用にあたり、その効果を確実に確認することと、一方で想定している適正量より過剰な場合の保守上の問題点を抽出することであった。この期間、FRIMOS は順調に稼働し続け、軌道回路およびブレーキ関係でのトラブルは一度も発生せず、経過 23 ヶ月以降の 2009 年 3 月からは 10 往復に一度の頻度（通過 160 軸毎）で散布を実施している。

5. 水系潤滑剤による地上式潤滑手法に関する研究開発状況

全線に占める急曲線区間の割合が少ない線区においては、地上方式がコスト的に有利な場合がある。そこで、既存の各種地上式内軌頭頂面潤滑システムに関する文献調査を行い、潤滑剤の種類、成分、使用箇所、およびそれぞれのメリット・デメリット等を把握するとともに、現在、新規の水系潤滑剤の開発に取り組んでいる。ここでは、開発途上の試作潤滑剤と 2 種類の既存の水系潤滑剤について、トラクション特性、潤滑剤の伸び性能および横圧低減効果の比較試験結果を紹介する。

5.1 供試潤滑剤

比較試験に供した水系潤滑剤は WL- α 、WL-1、WL-2 の 3 種類で、WL- α は界面活性剤や有機物などを含有する試作潤滑剤、WL-1 は鉍物の微粉などを含む価格の高い市販品、WL-2 は親水性の有機物を含む市販品で多少の粘性を有している。なお試作潤滑剤 WL- α は、複数試作した水系潤滑剤の中で、最もポジティブなトラクション特性を示した試作品である。

5.2 比較試験結果

摩擦緩和材と同一条件で実施したトラクション特性評価試験の結果を図7に示す。3種類の潤滑剤とも、接線力係数は水道水より低く、潤滑剤として十分に機能していることが確認された。また、WL- α 、WL-1については、すべり率の増加に伴い接線力が增強されるポジティブな特性であった。

次に、半径160mの曲線を有する構内試験線において、鉄道総研所有のR291系電車(2両編成0.5M1.5T)による、供試潤滑剤の伸び性能確認と横圧低減効果の評価を行った。地上方式の潤滑法として、従来通り車輪によって潤滑剤を運ぶ手法を想定するとき、その伸び性能は重要な因子と考えられる。潤滑剤塗布地点から任意の距離における内軌頭頂面の動摩擦係数をレールトリボメータで測定した結果を図8に示す。この結果から、WL-2は伸び性能が高く、WL- α の伸び性能は低いことがわかった。一方、横圧低減効果については、図9に示すようにWL- α の性能が高かった。

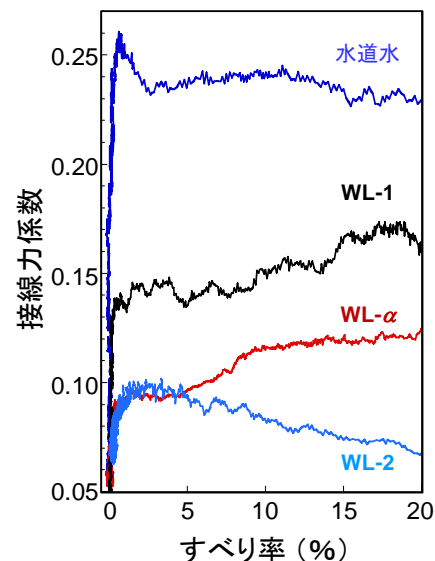


図7 トラクション特性試験結果

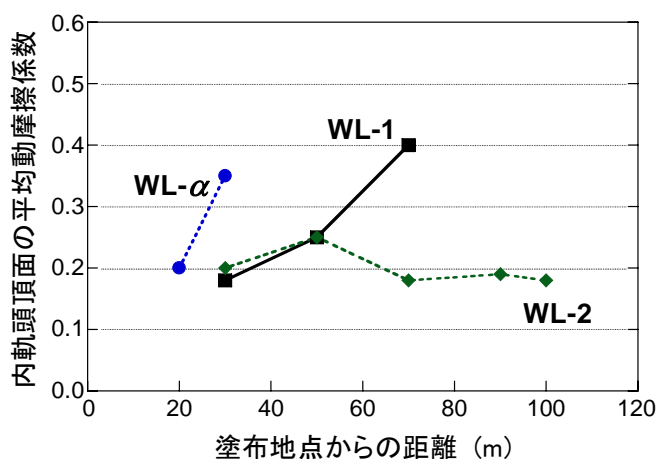


図8 水系潤滑剤の伸び性能確認試験結果

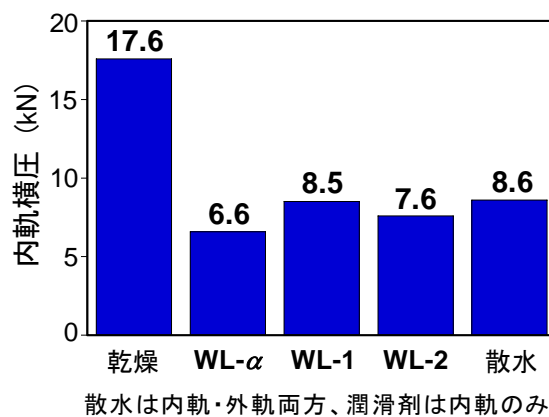


図9 横圧低減効果確認試験結果

6. おわりに

FRIMOSについては、今後も営業線での運用を通して、波状摩耗抑制効果の確認を行うとともに、地上方式による潤滑手法の研究・開発に関しても基礎的な検討を進める予定である。

最後に、実車走行試験および地上測定等に御協力いただいた横浜高速鉄道(株)ならびに東京急行電鉄(株)の関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) Edie, D. T. et al. :The Role of High Positive Friction (HPF) Modifier in the Control of Short Pitch Corrugations and Related Phenomena, The proceedings of CM2000, pp. 42-49, 2000
- 2) 伴巧, 瀧川光伸, 陳樺, 石田誠:車輪/レール用潤滑剤の粘着特性評価, 鉄道総研報告, vol.15, No.12, pp.17-20, 2001