

曲線内軌用定置式摩擦緩和システムの開発

伴 巧* 深貝 晋也* 陳 樺**
 名村 明*** 菊地 圭介*** 地子給 和行***

Development of the Track-side Friction Moderating System to Low-rail of Sharp Curves

Takumi BAN Shinya FUKAGAI Hua CHEN
 Akira NAMURA Keisuke KIKUCHI Kazuyuki JISHIKYU

RTRI has been developing a friction moderating system (FRIMOS) applied to the top of low rail for the last ten years, and this system was confirmed to markedly reduce squealing noise, corrugation growth in sharp curves, and improve vehicle running safety and track environment compared with other lubrication systems. Conventional FRIMOS is an on-board system, therefore it is advantageous to lines with a large number of curves, but not efficient to lines with a few curves or through service lines. Taking these conditions into consideration, the authors are developing a track-side FRIMOS and applying it to the RINKAI LINE. This paper describes the concept and setup of the above new system, as well as the results of track site measurements.

キーワード：車輪／レール接触，急曲線，摩擦緩和システム，内軌潤滑，レール波状摩耗

1. はじめに

急曲線で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¹⁾。こうした背景の下、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²⁾。

鉄道総研においては、固体のカーボン系潤滑剤である摩擦緩和材と車載式の車輪／レール摩擦緩和システム（以下「車載式 FRIMOS」と表記）³⁾を開発し、長期に渡る営業線での騒音低減効果や波状摩耗抑制効果等の検証を経て、実用に至っている⁴⁾。

一方で、国内における内軌頭頂面潤滑は、地上に潤滑剤塗布装置を設置する定置式が主流となっている。定置式は、車載式に比べて潤滑剤の供給効率が悪いものの、急曲線の数が少ない線区や、相互直通運転（相互乗り

入れ）を実施している線区などでのニーズは高い。さらに、曲線ごとに設置を行う定置式は、線区全域を対象とする車載式とは異なり、複数年計画での配備が可能である。このため、導入に際しての投資リスクを軽減できるメリットもある。そこで、摩擦緩和材を地上から車輪／レールへ供給する定置式の摩擦緩和システム（以下「定置式 FRIMOS」と表記）の実用化に向けた研究・開発に平成 22 年度から着手している。本稿では、りんかい線において実施した定置式 FRIMOS の試用試験の結果について報告する。

2. 定置式 FRIMOS の開発コンセプトと試作システムの設置状況

摩擦緩和材の有効性に関しては、営業線における車載式 FRIMOS の長期運用により実証され、他社製品と比較しても同等以上の性能であることを確認した。定置式の開発にあたっては、粒子状の摩擦緩和材が有する各種性能を損なうことなく、比較的安価な装置での構成をコンセプトに、図 1 に示す基本構成とした。当該システムでは、レール側面に複数のノズルを取り付け、レール頭頂面上へ少なくとも車輪一周分（約 3m）の範囲に平均粒径 0.2mm の摩擦緩和材を適量散布する。この際、同時に霧状の散水を行い、水滴の表面張力を利用して固体の緩和材粒子を頭頂面上に固定する。なお、散布のタイミングは、赤外線センサーにより列車を検知して、列車

* 材料技術研究部 摩擦材料研究室
 ** 鉄道力学研究部 軌道力学研究室
 *** 東京臨海高速鉄道(株)

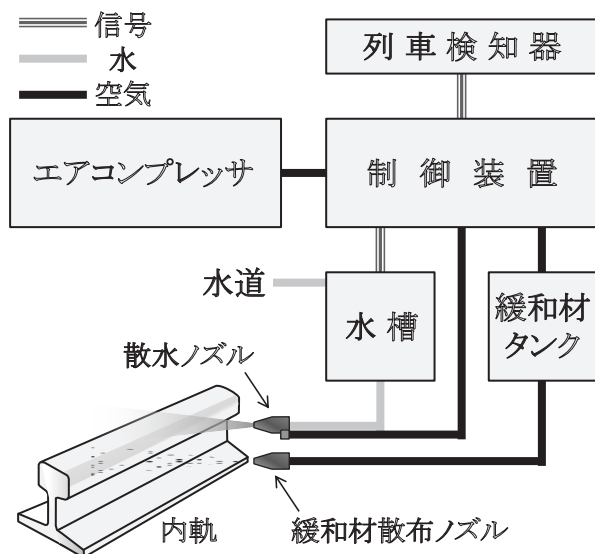


図1 曲線内軌用定置式摩擦緩和システムのご概念図

通過から任意の時間経過後に設定できる。

定置式 FRIMOS の試作システムは、りんかい線の急曲線区間に平成 22 年 9 月に設置され、調整・改良および各種確認試験を経て平成 23 年 11 月から本格的に稼働している。りんかい線は東京臨海高速鉄道(株)が運営する新木場駅と大崎駅とを結ぶ 12.2km の路線で、その大半は地下区間を走行し、大崎駅で接続する東日本旅客鉄道(株)の埼京線と相互乗り入れを実施している。

試験対象の曲線は、図 2 に示すように地下区間に存在し、半径が 185m で延長が 133m の円曲線と前後の緩和曲線(延長 85m) からなる最大勾配 31.6% の急曲線である。走行する列車は 10 両編成の通勤形車両で、平日で 143 本/日 (5,720 軸)、年間通トン数は約 1,800 万トンと比較的多い。一般に、沿線環境や気候の影響が少ない地下またはトンネル区間や列車本数が多い都市鉄道では、特に急曲線走行時の車輪フランジと外軌頭側面の接触部および車輪踏面と内軌頭頂面の接触部に激しい摩擦が生じ、車輪とレール双方に摩耗が発生する。当該曲線においてもレールの側摩耗および波状摩耗が発生し⁵⁾、車体振動・車内騒音を増加させる要因となっている。

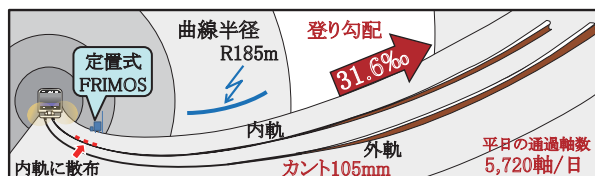


図2 試験曲線の概略図

図 3 は試作した定置式 FRIMOS の設置状況で、3 個のノズルを用いて車輪一周分の範囲に摩擦緩和材を散布している。また、今回の試験では、当該システムを円曲線の途中に設置して、摩擦緩和材による横圧低減効果および内軌波状摩耗抑制効果の確認を実施した。

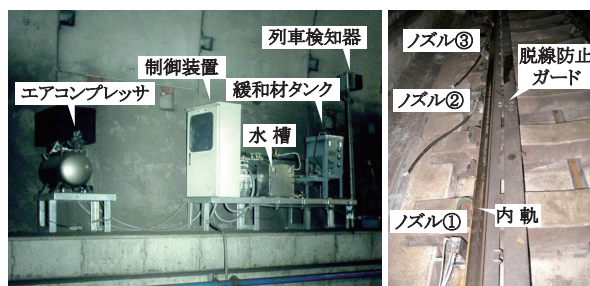


図3 試作システムの設置状況

3. 確認試験の結果

3.1 摩擦緩和の効果確認

レール頭頂面の摩擦係数測定は、図 4 に示すレールトリボメータ(鉄道総研製)で行った。当該トリボメータでは、鋼製ブロックに固定された 2 個の鋼製ベアリング球がレール面上を滑走する際に連続して発生する摩擦力 F をロードセルで検出し、トリボメータ本体の自重 W で除して摩擦係数を得ている。なお、ベアリング球とレールの接触圧力は、実車と同程度の高圧力接触になる。これまでの知見では、レール頭頂面の摩擦係数は乾燥状態で 0.4 以上、湿潤状態で 0.15 ~ 0.4 程度、油脂潤滑状態で 0.15 以下となる。急曲線区間で内軌頭頂面の摩擦係数が 0.4 以上の場合に、軌道条件によっては波状摩耗が発生する可能性があり、0.1 以下の場合には車輪の空転や滑走を発生させる可能性が高まる。したがって、摩擦係数は 0.15 ~ 0.3 程度が適正な範囲と考えられる。

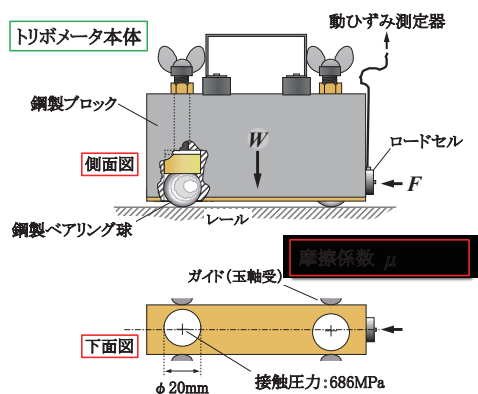
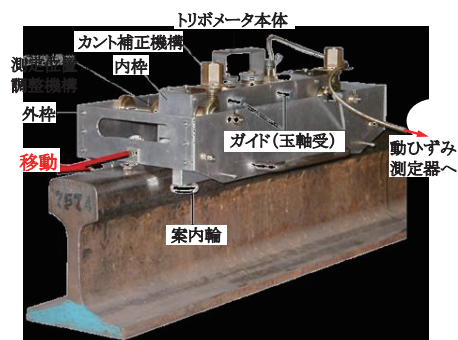


図4 レールトリボメータの概略

定置式 FRIMOS の設置直後に実施したレール頭頂面の摩擦係数測定結果は 0.3 以下と概ね良好で、摩擦緩和の効果は散布箇所から 100m 以上まで延びることを確認した。この際、1 列車通過ごとに散布を実施し、摩擦緩和材の使用量は 1 日当たり約 560g、水の消費量は 1 日当たり約 5ℓ であった。その後の確認試験で、散水量を減らしたところ十分な摩擦緩和の効果が得られなくなった。これは、散水量を減らしたことでレール頭頂面上の水滴が早期に蒸発して湿潤状態を維持できず、列車の接近に伴うレールの振動等により摩擦緩和材がレール面上から脱落したためと推定される。また、散水および緩和材散布のタイミングに関しては、列車通過後の 2 分から 3 分の間で微調整を実施したものの、列車間合いが一定ではないため、間隔が空く場合には水滴が蒸発して十分な効果が得られなかった。一方、列車間合いが短い場合は、トンネル内の気流が接近する列車風により乱れるため、散布が適正に行えないことが判明した。そこで、列車通過を基準とする従来の散布タイミングから列車接近を検知する方式へ散布のタイミングを変更した。これにより、摩擦緩和の効果を安定的に得られることが確認できた。

3.2 緩和材の伸び性と横圧低減効果

緩和材の伸び性と横圧低減効果に関しては、定置式 FRIMOS を停止した状態で各地点の内軌摩擦係数を測定した後、終電を含む 5 本の営業列車通過ごとに十分な散水量と摩擦緩和材を散布して、緩和材が車輪により延ばされる距離を終電通過後の摩擦係数測定で確認した。さらに、摩擦係数測定後には当該区間を検測車 (E491 系) が走行し、内軌および外軌の横圧測定を実施した。内軌摩擦係数の測定結果を図 5 に、内軌と外軌の横圧測定結果を図 6 に示す。

定置式 FRIMOS を停止した摩擦緩和材非散布の状態下で 0.7 強の摩擦係数は、緩和材散布時には 0.15 程度 (約 80% 減少) まで低減され、この値は散布箇所から 150m 以上先まで確認された。さらに、図 6 に示す横圧測定結果も摩擦緩和材の散布箇所から激減し、その後は曲線区間全域に渡り内軌で約 80%、外軌で約 60%、それぞれ減少することを確認した。ここで、内軌横圧と内軌摩擦係数の減少割合が約 80% で概ね一致していること、さらに、内軌横圧と外軌横圧の減少量が共に 25kN 程度で一致していることから、定置式 FRIMOS による内軌頭頂面潤滑が、当該曲線における内軌と外軌の横圧低減の起源であることが確認できた。

一般に、固体系の潤滑剤は流動性が低く、グリスやペーストタイプの潤滑剤と比較して延びないため⁶⁾、曲線長が長い急曲線で固体系潤滑剤を使用する場合は、複数の塗布 (散布) 装置を設置することが望ましい。しかし、今回の測定結果では、摩擦緩和材は固体粒子でありなが

ら、良好な潤滑状態を保持したまま遠方まで延びることが確認された。この現象は摩擦緩和材粒子が車輪とレール間で粉碎される際に、共存する水が流動性を付加する効果や、緩和材の潤滑成分であるグラファイトカーボンの結晶端部に水分子が吸着して発現する低摩擦化の効果⁷⁾ による可能性等が考えられるものの、現時点でそのメカニズムは不明である。したがって、水分の影響を解明し、緩和材の効果的な散布方法⁸⁾ に反映させる必要がある。

なお、図 6 中の「A 地点・B 地点」表示は後述する内軌頭頂面の凹凸形状測定位置を示している。

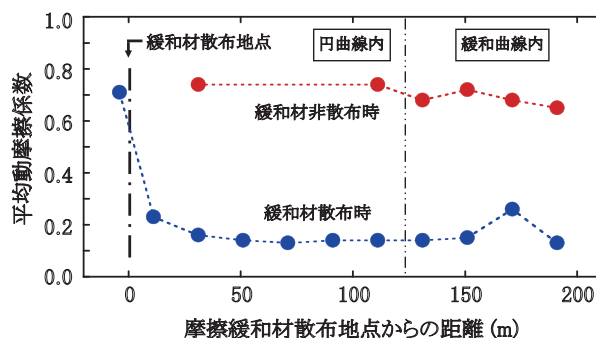


図 5 内軌頭頂面の摩擦係数測定結果

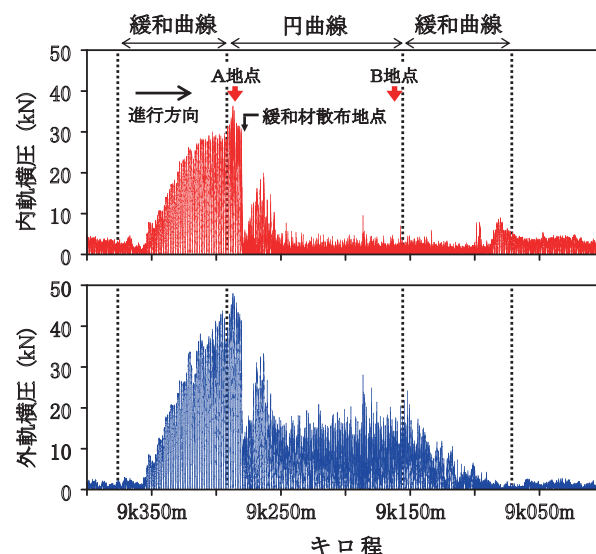


図 6 検測車による横圧測定結果

3.3 波状摩耗抑制効果

波状摩耗抑制効果の確認は、システムの各種調整・改良工事が概ね完了した平成 23 年 11 月から翌年 1 月までの 3 ヶ月間を対象に実施した。確認方法は、円曲線内で摩擦緩和材を散布していない A 地点と、緩和材の散布地点から 120m 遠方の B 地点の 2 箇所において、レール削正後の頭頂面凹凸形状を 33 日後と 83 日後に測定し、波状摩耗の進行状況を評価した。なお、これまでの調査実績で、B 地点は削正から 2 週間程度で波高が 0.1mm 前後の波状摩耗が発生していた地点である。

図 7 は凹凸形状の測定結果で、緩和材未使用の A 地

特集：材料技術

点では徐々に摩耗が進行して凹部が形成されるのに対し、緩和材の散布地点以降のB地点では凹凸形状に大きな変化が認められない。さらに、目視による調査結果でも、緩和曲線を含めて、散布地点以降の区間に特異な表面形状は認められなかった。これにより、定置式FRIMOSは内軌波状摩耗の進行を十分に抑制することが確認できた。

なお、当該確認試験における摩擦緩和材の使用量は約20kg/月、水の使用量は約300ℓ/月で、車両のブレーキ性能および信号の軌道回路にトラブルが発生することはなかった。

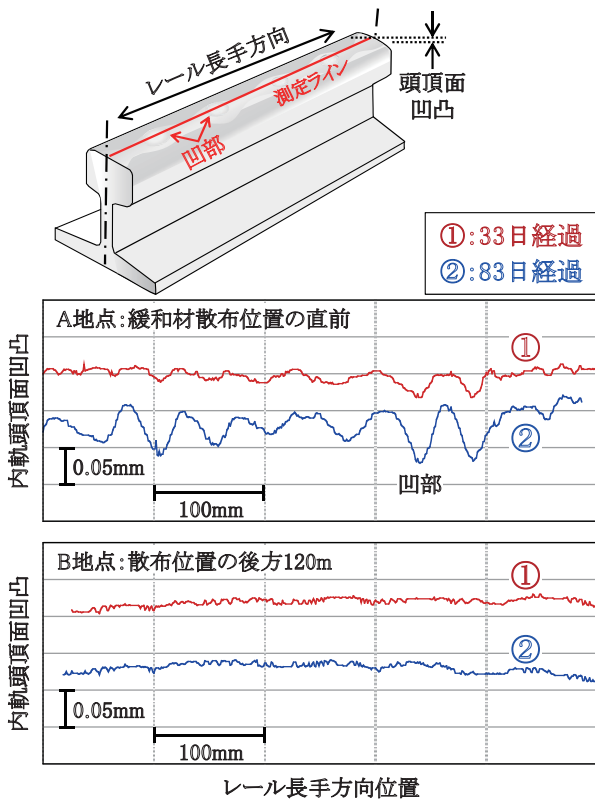


図7 内軌頭頂面の凹凸形状測定結果

4. まとめ

車載式FRIMOSで実績のある粒子状の摩擦緩和材をレール側で散布する定置式FRIMOSを開発し、営業線で効果の確認を実施した。その結果は以下の通りである。

- (1) 緩和材の使用で、内軌頭頂面の摩擦係数は0.15程度まで減少し、内軌および外軌の横圧を大幅に低減できた。
- (2) 摩擦緩和の効果範囲は、散布箇所から150m以上先まで延びることを確認した。
- (3) 定置式FRIMOSの使用で、内軌波状摩耗の進行を十分に抑制できることを確認した。

- (4) 散水量を減らすと有効性が消失することがわかった。
- (5) 長期間の使用で、車両のブレーキや信号の軌道回路にトラブルが発生しないことを確認した。

5. おわりに

車輪踏面と内軌頭頂面間の潤滑は、著大横圧を抑制するための簡便な手法である。定置式FRIMOSは、急曲線の数が少ない線区や、相互乗り入れを実施する線区での使用を想定している。今回の確認試験で、摩擦緩和材の伸び性、横圧低減効果および内軌の波状摩耗抑制効果を確認し、システムの基本要素に関する開発は完了した。しかしながら、摩擦緩和材の散布設定を調整する等、さらなる散布の効率化に向けた検討を行う必要がある。また、内軌の波状摩耗、外軌の側摩耗の進行状況については、今後も長期的に追跡調査を実施し、定置式FRIMOSの有効性を検証する予定である。

謝辞

本システムの開発を進めるに当たり技術面でご協力いただいた株式会社テス並びに伊岳商事株式会社の関係各位に感謝の意を表する次第である。

文献

- 1) Fukagai, S. et al., "Development of Wheel/Rail Friction Moderating System (FRIMOS)," *Quarterly Report of RTRI*, Vol.49, No.1, pp.26-32, 2008
- 2) 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.
- 3) 緒方政照, 他: 車輪/レール摩擦緩和システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.6, pp.51-56, 2007
- 4) 大和永世: FRIMOSを活用した騒音低減の取り組み, RRR, Vol.68, No.11, p.32, 2011
- 5) 地子給和行, 他: りんかい線における波状摩耗の実態, 日本鉄道施設協会誌, Vol.49, No.6, pp.50-53, 2011
- 6) 陳樺, 他: 曲線部における車輪/レール潤滑方法の評価, 鉄道総研報告, Vol.26, No.8, pp.29-34, 2012
- 7) 村上洋一, 他: 長寿命カーボンブラシ材の開発, デンソーテクニカルレビュー, Vol.7, No.2, pp.84-88, 2002
- 8) 深貝晋也, 他: 曲線内側レールへの摩擦緩和材の効果的な散布方法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.6, pp.29-34, 2011