

摩擦緩和材の効率的な使用に関する検討

深貝 晋也* 伴 巧 陳 樺 名村 明

(財団法人 鉄道総合技術研究所)

A Study on the Effective Use of a Friction Moderator
Shinya FUKAGAI*, Takumi BAN, Hua CHEN, Akira NAMURA,
(Railway Technical Research Institute)

Lubrication between the running surface of a low rail and a wheel tread has recently been recognized as a valid method in reducing the likelihood of a squealing noise. We have developed a friction moderating system (FRIMOS) as a method of the lubrication between the running surface of a low rail and a wheel tread. This paper describes the results of the study on "the optimal amount of the use of a friction moderator" by the comparison between distribution of a friction moderator calculated by a simplified calculation model and the measured results in a field test to improve the cost-effectiveness of FRIMOS.

キーワード：きしり音，急曲線，摩擦緩和材，内軌走行面潤滑，摩擦
(squealing noise, sharp curve, friction moderator, top of rail lubrication, friction)

1. はじめに

車輪とレールの接触問題は，走行安全性，メンテナンス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．特に鉄道車両が急曲線を走行する際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であるばかりでなく，レールおよび車輪の材料保全の面で，曲線外軌の側摩耗や，内軌の車輪走行面に発生する波状摩耗，および車輪フランジ直立摩耗の主な原因の一つでもある．また，近年社会的関心が高まっている環境保全の側面では，騒音発生の主要因となる場合があり，問題視されている．鉄道総研では，車輪踏面と曲線内側レールの車輪走行面（以下，内軌走行面と呼ぶ）との間に生じる激しい摩擦に起因する「きしり音」の防止対策として，内軌走行面潤滑の研究⁽¹⁾⁽²⁾に取り組んでいる．本稿では，鉄道総研において開発した車輪／レール摩擦緩和システム（FRIMOS）に関して，その使用方法を適切にし，高効率化させる事を目的として，簡易計算モデルにより，レールへの摩擦緩和材の付着分布と，緩和材による潤滑性能の持続効果の予測を試みた結果を報告する．

2. 簡易計算モデル

(2・1) 室内試験装置による評価

車輪とレールの間に供給された後の摩擦緩和材の挙動についての基礎的知見を得るため，室内試験装置を用いて実

験を行った．

(1) 試験装置

測定に用いた円盤／円筒型の摩擦試験装置とその測定例を図1に示す．本試験装置は，長さ110mmの円筒状のレール鋼と，接触部の幅5mmの鋼製車輪とを螺旋状に転動接触させることにより，車輪試験片とレール試験片の接触が一過性となるようにしたものであり，潤滑剤の「延び性」の評価等に用いている．摩擦係数は，回転する両者の速度差と外径の差により強制すべりを与え発生するトルクと，押付け荷重により求めることができる．

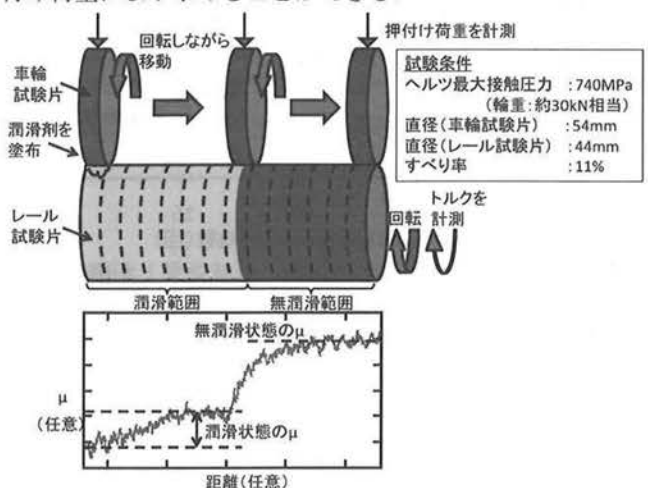


図1 円盤／円筒型摩擦試験装置と測定例

(2) 試験方法

車輪試験片に緩和材を付着させ、その後レール試験片の左端から右端に向かって転動させた。ここで、緩和材は紙に満遍なく載せ、紙ごと車輪及びレール試験片の間に巻込ませることにより車輪試験片に付着させた。また、緩和材は車輪試験片の全周長の内、1/3 程度に付着させた。

(3) 結果および考察

代表的な試験結果を図 2 に示す。緩和材は車輪試験片の約 1/3 に付着しているため、車輪試験片が 1 回転する内に、緩和材が付着している部分では摩擦係数は低くなり、付着していない部分では高くなっている。転動距離の増加に伴い、緩和材の付着による摩擦係数の低減効果は、徐々に小さくなっていることが分かる。

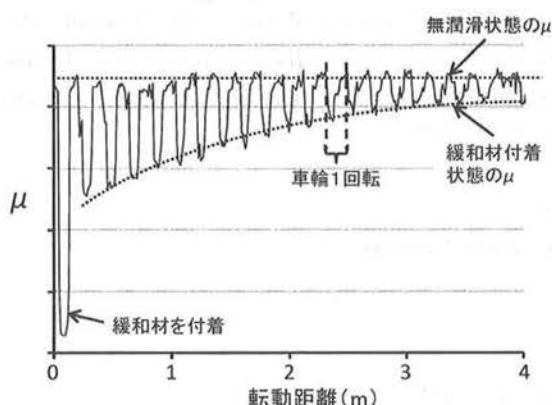


図 2 室内試験機による測定例

ここで、車輪試験片が 1 回転する間に、無潤滑状態の摩擦係数と緩和材付着状態の摩擦係数の差（低減効果 $\Delta\mu$ ）をとり、回転数に対してプロットすると図 3 のようになる。

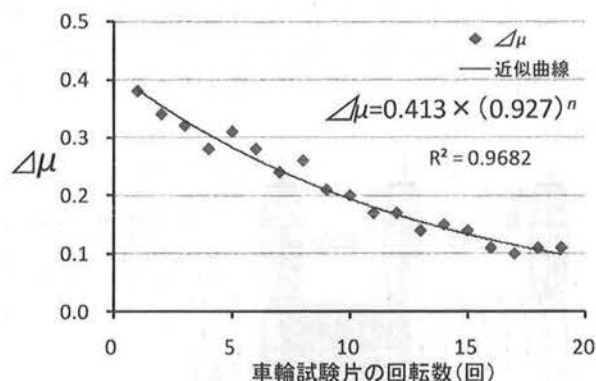


図 3 摩擦緩和材による摩擦係数の低減効果と距離の関係

図中の近似式より、 $\Delta\mu$ は回転数の増加に伴い、指数関数的に低下することが分かる。ここで、 $\Delta\mu$ の低下が、車輪試験片からレール試験片への緩和材の移着に起因すると仮定すると、 $\Delta\mu$ と車輪試験片の回転数 n は、次の関係式で表わされる。

$$\Delta\mu = \Delta\mu_0 \times (1 - \alpha)^n \quad (1)$$

ここで $\Delta\mu_0$ は、回転初期の摩擦係数の低減効果とし、 α は、緩和材の移着率とする。室内試験を複数回行った結果、

$\alpha = 0.06 \sim 0.09$ であった。

(2.2) 簡易計算モデルの考案

実際の車輪とレールの間でも式(1)の関係が成り立ち、車輪とレール間で相互に移着し合うこと、また摩擦係数の低減効果はその境界に存在する緩和材の量に比例することを仮定して計算モデルを考案した。すなわち、車輪が m 回転した位置において、 n 軸目が通過する際に、レール上に存在する緩和材量を $R_{m,n}$ 、車輪上に存在する緩和材量を $W_{m,n}$ とすると、それぞれ以下の式で表わすことができる。

$$R_{m,n} = (1 - \alpha - \beta) R_{m,n-1} + \alpha W_{m-1,n} \quad (2)$$

$$W_{m,n} = \alpha R_{m,n-1} + (1 - \alpha - \beta) W_{m-1,n} \quad (3)$$

ここで β は、車輪とレールの間での緩和材の消費率とする。（消費率 β は、緩和材がレールと車輪の接触面から徐々に排除され、消費される割合を想定している） α と β は、ともに曲線諸元、走行する車両、走行速度等様々な要因により変わる値と考えられる。式(2)の右辺第 1 項は、レールから車輪に $(\alpha R_{m,n-1})$ だけ移着し、 $(\beta R_{m,n-1})$ だけ消費することを表し、また第 2 項は、車輪からレールに $(\alpha W_{m-1,n})$ だけ移着し、これら 2 項の和がレール上に残存する緩和材量を表す。式(3)についても同様である。式(2)、(3)を用いて、モデル図を描くと図 4 の様になる。式(2)、(3)の計算を繰り返すことで、任意の車輪回転位置における、任意の軸数が通過した後の、車輪円周長（約 2.7m）当りの緩和材残存量が算出できる。

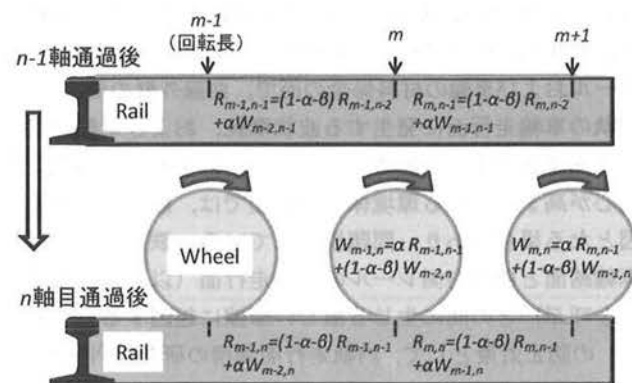


図 4 散布後の摩擦緩和材の分布モデル

3. 現地測定結果と計算結果の比較

(3.1) 構内試験線における走行試験結果

試験実施箇所は鉄道総研構内の半径 100m の曲線（単線）で、図 5 に示すように、牽引車と付随車の 2 両編成（計 6 軸）の試験列車を用いて、走行試験を行った。列車が走行する前に、写真奥に示す内軌走行面において、摩擦緩和材を 7m の範囲に散布している。

試験列車が 4.5 往復した後の内軌走行面の動摩擦係数をレールトリボメータ（鉄道総研製）で測定した。また、前述の計算モデルにより散布位置からの距離に対応した緩和材残存率を算出した。

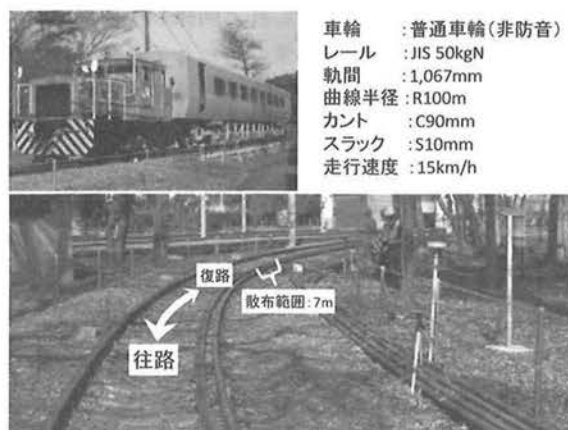


図5 鉄道総研構内試験線における確認試験

両結果を併せて図6に示す。なお、緩和材は車輪3周分(約8.1m)に散布し、列車は約200mの範囲を往復したとし、残存率は、車輪円周長当りの散布量を100%として計算した。また、移着率 α と消費率 β については、室内試験結果をもとにしながら、摩擦係数の実測値との相関が比較的良好な値($\alpha=0.11$, $\beta=0.002$)に設定した。

平均動摩擦係数は、緩和材の散布箇所で0.35(図中A)となり、散布箇所から離れるに従い上昇し、20mほど離れたと0.5前後(図中B)の値となった。一方、緩和材の残存率については、摩擦係数が低くなっている部分ほど、残存率が大きくなる傾向が認められた。以上のことから、摩擦緩和材は車輪の転動によりレール上に延ばされ、散布箇所の前後にも効果を与え得ることが分かった。この事は、FRIMOSにおける緩和材の噴射(散布)は、対象とする曲線全域で行う必要が無く、部分散布あるいは間欠散布で対応可能であることを示すと考えられる。

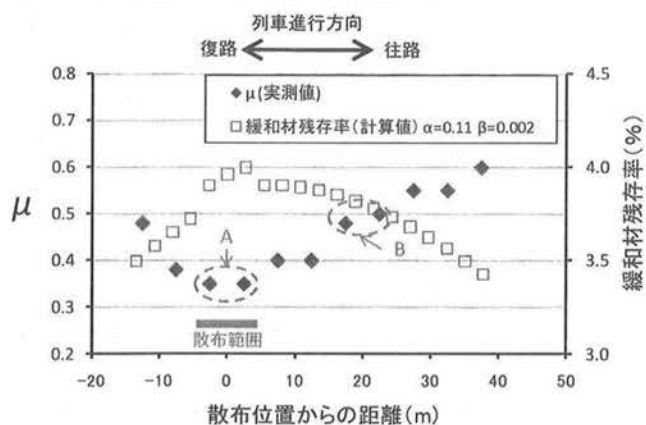


図6 散布位置からの距離と内軌摩擦係数および緩和材残存率の関係(鉄道総研構内)

(3・2) 営業線における測定結果(その1)

試験実施箇所は、複線、円曲線長133m、半径185mの曲線である。毎列車(10両編成)通過後に緩和材を約3mの範囲に散布し、定常状態とした時点でレールトリボメータにより摩擦係数を測定した。散布位置からの距離と摩擦係数および緩和材残存率の関係を図7に示す。なお、計算に

においても、緩和材の散布は毎列車ごとに行い、残存率は車輪円周長当りの毎散布量を100%とした。また、移着率 α 、消費率 β については、摩擦係数の実測値との相関が比較的良好な値($\alpha=0.055$, $\beta=0.005$)に設定した。

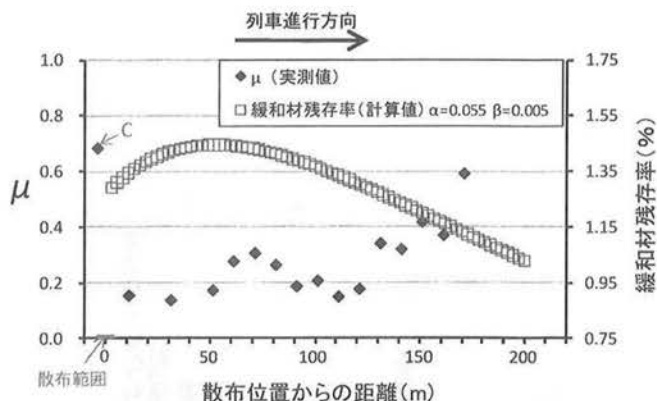


図7 散布位置からの距離と内軌摩擦係数および緩和材残存率の関係(営業路線)

図に示すように、無潤滑箇所(図中C)で0.7程度であった摩擦係数が、散布箇所から列車進行方向に向かって低下し始め、おおよそ一定の値(0.15~0.4程度)を保ったまま、円曲線の全範囲(133m)に渡って続いていることが分かった。一方、緩和材の残存率も、はじめ(散布位置からの距離が100m以下)緩やかな山なりに変化し、後半(同100m以上)は、次第に低下する傾向が認められた。

(3・3) 営業線における測定結果(その2)

試験実施箇所は複線、半径150m、制限速度45km/hの曲線で、図8に示すように、軌間中心から2.1mの位置にマイクロホンを設置した。通常、当該箇所では3台のレール塗油器(2台が内軌走行面用)によって“きしり音”の発生を防止している。今回の試験では、内軌用塗油器の停止後に複数本の列車(4両編成)を通過させ、レール走行面上の油を十分に枯渇させた後、摩擦緩和材を散布している。なお、緩和材の散布範囲は既設塗油器設置箇所からマイクロホン設置箇所までの約50mであった。

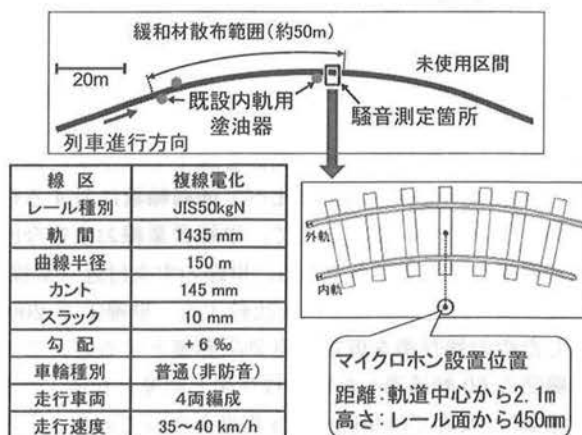


図8 営業線における確認試験(その2)の概要

