

増粘着粒子の摩擦性能評価

○ [機] 深貝 晋也 (鉄道総研) [電] 古谷 勇真 (鉄道総研)

高野 亮 (株式会社テス) 大野 薫 (株式会社テス)

Evaluation of friction performance for adhesion improver

○Shinya Fukagai, Masataka Furuya, (Railway Technical Research Institute)

Ryo Takano, Kaoru Ohno, (TESS Co., Ltd.)

Overgrown weeds and fallen leaf interfere between the wheel and rail, inhibiting the transmission of drive power and making it difficult for the train to run on time. Applying sand and ceramic particles from the vehicle to the wheel-rail interface to increase adhesion forces is one of the countermeasures, but during the peak season, the train delays due to heavy slip. In order to find a material that has a higher improvement of adhesion than conventional materials, this paper describes the results of comparative evaluation of the friction coefficient when different materials are applied between the wheel and rail in an artificial low adhesion condition.

キーワード：車輪/レール接触，増粘着，空転，摩擦管理

Key Words：Wheel/rail contact, adhesion improvement, wheel slip, friction management

1. はじめに

例年，秋季の山間線区では，落ち葉により多発する空転のため，定時運行が困難な場合がある．また近年，田園地帯を走行する線区で，軌道内での除草剤の使用が取りやめられている場合があり，夏季の雑草繁茂に起因した空転も問題となっている．空転対策の一つとして，車上から砂やセラミックス粒子を車輪とレールの界面に供給し，摩擦力を増強（増粘着）する方法があるが，落ち葉や雑草の最盛期には，しばしば起動，加速困難による列車遅延が生じている．そこで，既存材料よりも優れた増粘着効果を有する材料を探索するため，低粘着状態の車輪とレールの間に材質が異なる複数種類の粒子材料を介在させ，摩擦係数を比較評価した．

2. 試験方法

2.1 試験機

試験には鉄道総研所有の「車輪/レール接触往復運動ユニット」を使用した（図1）．本試験機は，実物の車輪とレールの接触状態を準静的に再現することできる装置で，天地を逆にした車輪・レール間に最大で 50 kN の輪重と 40 kN の横圧および 20 kN の接線力を油圧により負荷できる構造

になっている．また，レールは接線力方向（レール長手方向）に 0.8 m の範囲内で最高 100 mm/秒の移動が可能で，各力作用方向（3 軸方向）の可動量は変位計で測定される．なお，アタック角は $\pm 3^\circ$ 度の範囲内で任意に設定することができる．

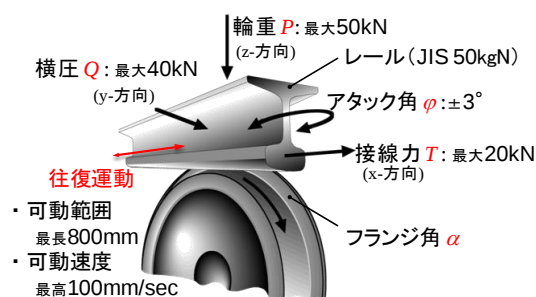


図1 車輪/レール接触往復運動ユニットの概要

2.2 試験条件

(1) 低粘着条件

空転が多発する時期・場所は，晩秋の山間線区が知られており，これは車輪とレールの間に落ち葉が介在することで発生する．枯葉の主成分は繊維質であることから，ラ

表 1 摩擦試験に供した粒子材料の一覧

ID	材質	ID	材質
1	珪砂	9	無機材料
2	褐色アルミナ	10	
3	無機材料	11	
4		12	
5		13	
6		14	金属材料
7		15	金属材料（小）
8		16	金属材料（極小）

ミネート加工されていないクラフト粘着テープ（幅 50 mm，厚さ 0.14 mm）をレールの頭頂面に貼付し，その表面に流動パラフィン（白色鉱油）を浸透させて疑似落ち葉とし，低粘着条件を再現した。

（2）供試材料

表 1 に，摩擦試験に供した粒子材料の一覧を示す。珪砂，褐色アルミナは，現在各鉄道事業者において実際に使用されている材料である。その他は，主にブラスト用途で市場に流通している材料である。無機材料は異なる ID ごとに材質が異なる。無機材料の粒度は，基本的には現行品の「研磨材粒度：JIS R6001，#54，#46」と同程度のものとしたが，一部サンプル扱いで，上記の粒度から大きく外れるものに関しては，30 メッシュ（目開き：500 μm）以下，60 メッシュ（目開き：250 μm）以上となるよう追加でふるい分けを行った。一方，金属材料は異なる ID でも材質は同一である。金属材料の粒度は，ID: 14 は無機材料と同程度であるが，その他は ID: 15, 16 の順に粒度が小さい。

（3）材料の供試方法

図 2 に，車輪踏面への粒子材料の供給状況を示す。レール頭頂面に疑似落ち葉を貼付し，車輪へ所定量の粒子材料を均等に散布する。なお，所定量の想定条件は，①噴射量 60 g/min，②列車の走行速度は 3.6 km/h，③セラジェットから噴射された粒子材料は全量がレール頭頂面の幅 30 mm へ均等に供給されると仮定した。上記条件での噴射における粒子密度となるよう疑似落ち葉上に各粒子材料を供した。この際，粒子が落下しないよう，粒子材料を散布した範囲に流動パラフィン約 0.5 ml も併せて塗布した。

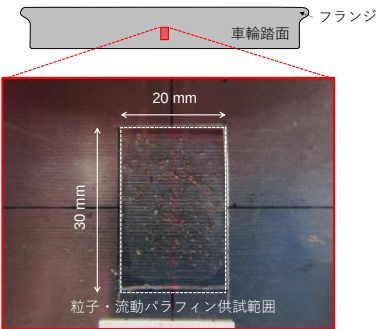


図 2 車輪踏面への粒子材料の供給状況

2.3 摩擦係数の評価手法

図 3 に，車輪/レール接触往復運動ユニットを用いた静止摩擦係数および動摩擦係数の評価手法を示す。車輪にブレーキをかけて滑走状態にした状態で摩擦試験を実施した。30 kN の設定輪重を荷重した上で，レール長手方向に接線力を荷重し，接線力を徐々に増加させ，レールが動き出した際に得られる接線力を実測の輪重で除した値を静止摩擦係数とした。また，レールが動き車輪とレールが摺動している状態での接線力係数を動摩擦係数として評価した。ここで，レールが動き出した直後には，接線力係数が一時的に低下するため，レールが動き出した 3 秒後から 6 秒後までの 3 秒間の平均値を動摩擦係数として評価した。なお，接線力係数が一時的に低下する理由は現時点で明らかでないが，レールの動き出しにともない，車輪とレールとの間にわずかな隙間が生じ，両者が再び接触し，所定の荷重が負荷されるまでに時間を要するためである可能性が考えられる。試験は同一条件で，3~6 回実施した。

さらに，上記条件で良好な性能を示したいくつかの材料については，増粘着効果の持続性を確認する目的で，繰り返しの摩擦試験を実施した。繰り返し試験では，摩擦試験終了後，レールの接触位置は変えず，車輪のみわずかに（40 mm 程度）回転させ，新たな接触位置とし，順次試験を行った。

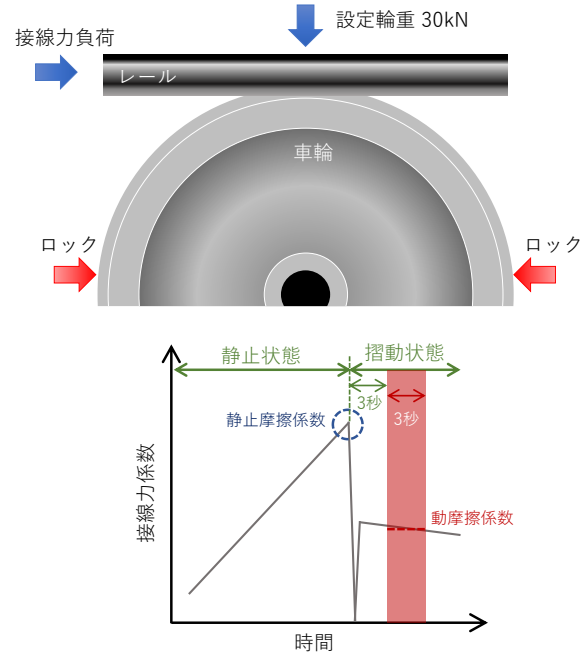


図 3 車輪/レール接触往復運動ユニットを用いた静止摩擦係数および動摩擦係数の評価手法

2.4 レール粗さの評価手法

摩擦試験後のレール粗さを表面粗さ測定機（小坂研究所，SJ-210）により測定した。測定は，試験後のレール表面の疑似落ち葉を剥がし，脱脂洗浄剤およびウエスで洗浄した後に行った。測定方向は摩擦方向と直角の方向（まくら木

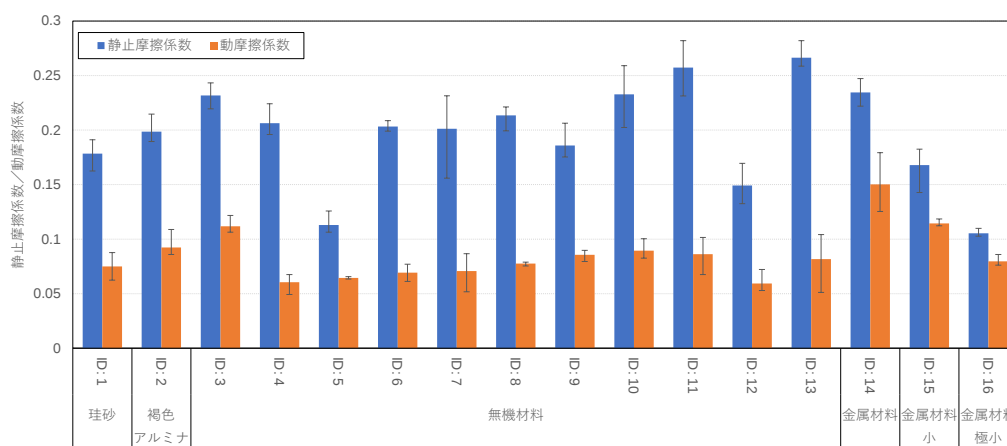


図4 材料ごとの静止摩擦係数／動摩擦係数

方向)とした。測定回数は同一条件で各5回とした。

3. 結果および考察

3.1 材料ごとの摩擦係数

図4に、材料ごとの静止摩擦係数／動摩擦係数を示す。エラーバーは、同一材料における3~6回の試験結果の最大値および最小値を示す。なお、先行して実施した予備試験（押し付け荷重 50 kN）の結果、粒子材料無しの条件では静止摩擦係数の明瞭なピークは現れず、動摩擦係数は 0.035 以下であった。

いずれの材料においても粒子材料無しの条件よりも動摩擦係数が高かった。この理由は、既往の報告に抛り、粒子および粒子により形成された粗さ突起が皮膜を破り、そのせん断抵抗により接線力を伝達したためと考えた²⁾³⁾。

静止摩擦係数が最も高い材料は無機材料 (ID: 13) で、次いで無機材料 (ID: 11) であった。また、動摩擦係数が最も高い材料は金属材料 (ID: 14) で、次いでそれよりも粒径が小さい金属材料 (ID: 15) であった。金属材料で動摩擦係数が高かった理由は、一般に無機材料と比較して金属材料の靱性が高いため、車輪とレールの接触により粒子が破碎・微粉化しにくく、レールが動き出した後も粒径を維持し、疑似落ち葉の貫通作用が持続したためと考えた。

3.2 繰り返し接触時の摩擦係数

材料ごとの比較試験により、静止摩擦係数が2番目に高かった無機材料 (ID: 11)、動摩擦係数が最も高かった金属材料 (ID: 14) および現行材料の褐色アルミナ (ID: 2) について繰り返しの摩擦試験に供した。

図5に、繰り返し試験時の摩擦係数変化を示す。なお、褐色アルミナでは、2回目以降、静止摩擦係数のピークが明確でなかったため、接線力係数が増加し、安定した時点での値を動摩擦係数として評価した。褐色アルミナ (ID: 2) および無機材料 (ID: 11) では、2回目以降に静止摩擦係数と動摩擦係数が大きく低下したのに対して、金属材料 (ID: 14) では静止摩擦係数の低下が小さく、動摩擦係数にはほ

とんど変化が認められなかった。この理由は、動摩擦係数が高かった理由と同じく、車輪とレールの接触により粒子が破碎・微粉化しにくいためと考えた。

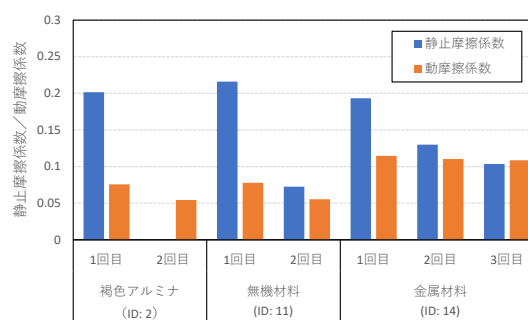
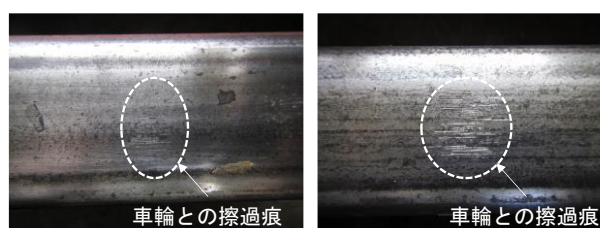


図5 繰り返し試験時の摩擦係数変化

3.3 材料ごとの粗さ

図6に、試験後のレール頭頂面の外観例を示す。静止摩擦係数、動摩擦係数がともに比較的低かった無機材料 (ID: 5) と比較して、両者がともに高かった金属材料 (ID: 14) では、擦過痕に金属光沢があり明瞭であった。



無機材料 (ID: 5)

金属材料 (ID: 14)

図6 試験後のレール頭頂面の外観例

図7に、材料ごとの摩擦試験後のレール粗さ（算術平均粗さ）を示す。エラーバーは、同一材料における5回の測定結果の最大値および最小値を示す。また、粗さ測定は、3~6回の摩擦試験の結果、静止摩擦係数が中間の試番について行った。

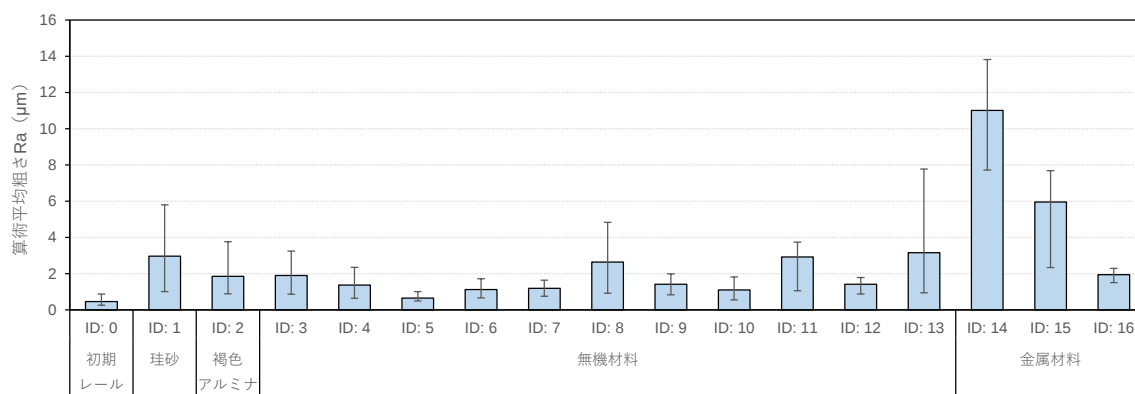


図7 材料ごとの摩擦試験後のレール粗さ（算術平均粗さ）

金属材料の試験後は、その他の材料の試験後と比較して、粗さが明らかに大きかった。なお、金属材料については、初期粒度が小さくなるに従い（ID: 14 > 15 > 16）、試験後の粗さが小さくなる傾向があった。また、その他の材料と比較すると、無機材料の ID: 1, ID: 8, ID: 11, ID: 13 で比較的大きい傾向があった。しかしながら、エラーバーより分かるように、同一材料内での平均粗さに対してばらつきが大きく、金属材料と無機材料の差ほどに違いは明瞭でなかった。

3.4 繰り返し試験による粗さの変化

図8に、繰り返し試験によるレール粗さの変化を示す。エラーバーは、同一材料における5回の測定結果の最大値および最小値を示す。金属材料（ID: 14）の場合、3回の繰り返し摩擦試験後も Ra で 7μm 以上の高い値を維持していた。一方、無機材料では、ID: 2 で 1.5μm、ID: 11 で 4.2μm に留まった。

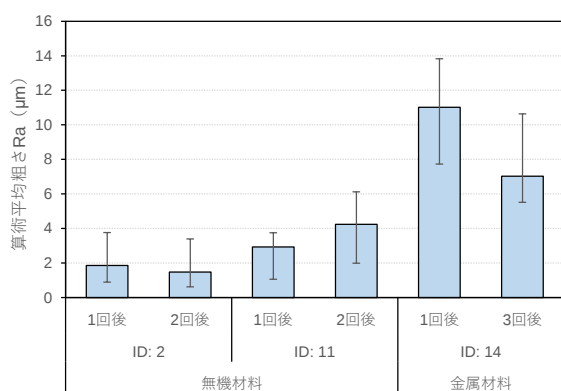


図8 繰り返し試験によるレール粗さの変化

4. 結言

車輪/レール接触往復運動ユニットを用いて、最盛期の落ち葉や雑草の付着を模擬したレール面と車輪の間に材質が異なる複数種類の粒子を介在させ、増粘着効果の違いを評価した。結果は、以下の通りであった。

(1) 多くの無機材料において、従来品の珪砂、褐色アルミ

ナと比較して高い静止摩擦係数を示したが、動摩擦係数には明瞭な差が認められなかった。一方で、粒度が同程度の金属材料では、静止摩擦係数だけでなく動摩擦係数も従来品と比較して高かった。

- (2) 従来品の褐色アルミナ、静止摩擦係数が比較的高い無機材料および粒度が同程度の金属材料について、増粘着効果の持続性を比較したところ、褐色アルミナおよび無機材料では、2回目以降に静止摩擦係数と動摩擦係数が大きく低下したのに対して、金属材料では静止摩擦係数の低下が比較的小さく、動摩擦係数はほとんど低下しなかった。

参考文献

- 菅原衛：山間線区における空転滑走に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，Vol.67，No.6-495，2012.
- 大野薫，伴巧，小原孝則：セラミックス粒子噴射による車輪・レール間の増粘着，トライボロジスト，Vol. 41. No. 12, pp. 973-978, 1996.
- 深貝晋也，古谷勇真，陳樺，高野亮，近藤弘顕：秋季低粘着条件の滑走に対する増粘着材噴射の効果，第26回 鉄道技術・政策連合シンポジウム（J-RAIL2019）予稿集，2019.