

冬季の降積雪環境下における新幹線電車の増粘着手法

嵯峨 信一* 陳 樺** 松野 潤司***

Adhesion Increase Method for Shinkansen Vehicles under Snowfall in Winter

Shinichi SAGA Hua CHEN Junji MATSUNO

When railway vehicles running in snowy weather, the adhesive force between rails and wheels is lower than that in rainy weather. For this reason, we studied a method to increase the adhesion coefficient focusing on the temperature and the roughness of wheel treads. From the viewpoint of minimizing specification changes, improving the material of current adhesive blocks through full-scale dynamo bench testing, we developed new adhesive blocks. An optimal wheel tread cleaner operation pattern was found through running tests using an actual vehicle in winter. The execution of the pattern contributes to improving adhesive effect such as increasing roughness of wheel treads, and suppressing sliding in the high-speed range, in addition to reducing temperature rise and improving wear resistance.

キーワード：新幹線電車，低温，降積雪，粘着，踏面清掃装置，研摩子，車輪踏面粗さ，動作パターン

1. はじめに

新幹線電車の高速化あるいは高減速度化を図るには、より速やかに、なおかつ停止距離を現状よりも短縮することが求められる。車両を減速させるためのブレーキ力は、台車に搭載された基礎ブレーキ装置（ディスク、キャリパ、パッド）により得られるが、根本的な減速原理としてレール／車輪間に働く粘着力（車両の前後方向）に依存しており、これを粘着方式と呼ぶ。

レール／車輪間の粘着力の振る舞いとして、雨天時の粘着力は晴天時に比べて低下することが知られている¹⁾。このため、ブレーキ力の設計や制御では、低下する粘着特性（以下、湿潤計画式）を考慮した安全側の設定としているが、レール／車輪間に働く粘着力をより一層高めることができれば、基礎ブレーキ装置の性能向上を図ることが可能となる。

増粘着装置として既に実用化されているセラミック噴射手法²⁾は、レール／車輪間に硬質粒子を供給して増粘着を図るものである。編成中に複数軸設置され、その増粘着効果はレール湿潤条件（雨天を模擬）では概ね3両目まで発揮されると報告されており、実車両の走行試験³⁾においてもその効果を確認している。

降積雪の多い上越新幹線では、様々な雪の問題について、気象条件や取水条件などを検討したうえで軌道の散水消雪装置⁴⁾を導入した結果、氷雪条件から湿潤条件

へと環境が変化したことにより低粘着の抑制が図られてきたものと考えられる。これに対して、散水消雪装置を持たない軌道（貯雪構造）の整備新幹線では、レール氷雪条件に加え、これまで以上の豪雪地域を高速で走行するため、さらに低粘着の懸念が高まるものと考えられる。

自動車分野では路面氷雪（凍結）条件の知見が数多くあり、特殊なトレッドパターン⁵⁾を有するスノータイヤやスタッドレスタイヤが実用化されている。一方、鉄道車両では車輪交換が容易でないこと、車輪踏面にタイヤのようなトレッドパターンを形成できないことに加えて、一部限定的な条件下での実験結果⁶⁾はあるものの、レール氷雪条件に対する一般的な知見は、国内外でほとんどみあたらない。

そこで本稿では、懸念されるレール氷雪条件下（降積雪環境下）における低粘着への対策方法を検討するにあたって、低温下でのレール／車輪間の粘着特性を実験的に調べるとともに、新たな増粘着手法を開発したので、これらについて報告する。

2. 降積雪環境下を模擬した2円筒粘着試験

鉄道総研所有の車輪・レール高速接触疲労試験装置を用いて、降積雪環境下を模擬した2円筒粘着試験を実施した。各種条件を表1および表2に示す。

試験の様子および結果を図1に示す。前述の湿潤計画式はレール湿潤条件の下限で計画された粘着係数であり、 V (km/h) を速度として、 $\mu = 13.6 / (V + 85)$ で与えられ、常用最大ブレーキ7ノッチ（以下、B7N）に相当する。また、同図には各試験条件（A～D）における結果と、それぞれ最小二乗法により $\mu = b / (V + a)$ の形で求めた近似曲線を併せて示す。

* 車両技術研究部 ブレーキシステム研究室

** 鉄道力学研究部 軌道力学研究室（現 鉄道国際規格センター）

*** 上田ブレーキ株式会社

表1 供試体および試験条件

レール輪	直径 500mm, 幅 65mm, 形状: 60kg レール
車輪	直径 500mm, 幅 125mm, 形状: 勾配なし
輪重	6.6kN (接触圧 761MPa)
表面粗さ	Ra0.2~0.3 μ m (算術平均)
初速度	50, 80, 120km/h
すべり率	2%

表2 温度および介在物の条件

	A	B	C	D
レール輪	20~25°C	20~25°C	20~25°C	20~25°C
車輪	20~25°C	20~25°C	20~25°C	~-10°C
介在物	水 25°C 0.4 ℓ /min	水 5°C 0.4 ℓ /min	氷水	氷水

※氷水: 水 (5°C, 1.0 ℓ /min) + 削氷片 (2kg/min, 320kg/cm³)

速度の増加に伴い近似曲線は、A>湿潤>B \ge C>Dの順で粘着係数が低下する傾向がみられ、BおよびCは常用ブレーキ6ノッチ(以下、B6N)、Dは常用ブレーキ4ノッチ(以下、B4N)に高速域で漸近し、B7Nに対する低下割合は前者(B、C)で約10%、後者(D)で約40%と推測されたことから、レール湿潤条件よりもレール氷雪条件の方がより低粘着である可能性が示唆された。

以上のことから、本研究ではセラミック噴射装置の他に、粘着に寄与する要因⁷⁾⁸⁾として知られている車輪踏面の温度と粗さに着目した車輪毎の増粘着手法について、図2に示す踏面清掃装置と増粘着研磨子(以下、現用品)の機能を高め、冬季の降積雪環境下におけるレール/車輪間の粘着性能向上を目的とした。

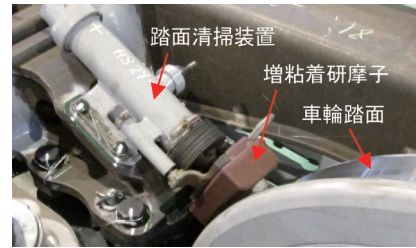


図2 踏面清掃装置および増粘着研磨子

ル/車輪間の粘着性能向上を目的とした。

3. 車輪踏面温度のシミュレーション

3.1 車輪残留応力と解析条件

セラミック噴射装置や研磨子は、車輪踏面(以下、踏面)粗さの増大を目的とするものであり、レールや踏面の温度上昇を目的とした機能あるいは材料や装置は未だに導入されていない。その理由として、踏面の温度上昇による様々なリスクへの懸念が挙げられる。

新幹線電車の車輪は、割損対策として製造時にリム部の熱処理を行っており、リム部円周方向の残留応力(約200MPa)が規定されている。また、0系新幹線電車の開発にあたっては、踏面形状の維持が高速安定走行に必須であることから、踏面に過大な摩擦熱が入らないようディスクブレーキ方式が当初から採用されている。

したがって、一層の増粘着性能を得るには、踏面粗さを増大しながらも踏面の温度上昇を極力抑える新たな研磨子が必要である。そこで、踏面温度とリム部円周方向応力の変化量についてシミュレーションを行った。

ソルバはNASTRANを用い、弾性域の解析を以下の条件で行った。2次元で表現した踏面に対し、摺動する研磨子による3種類の入熱範囲(17.5, 35, 70mm)と以下の3種類の入熱パターンをそれぞれ設定した(図3)。

- ①: 踏面入熱
- ②: 踏面入熱+車輪板部 100°C
(空制非常ブレーキの停止後を想定)
- ③: 踏面入熱+輪重 60kN+横圧 48kN
(脱線係数の目安値 0.8 を想定)

ブレーキ開始の1秒後に入力熱量が最大値に達し、以後200秒で0W/mm²となるように線形変化させた条件

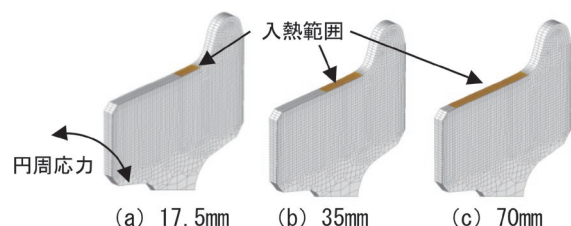
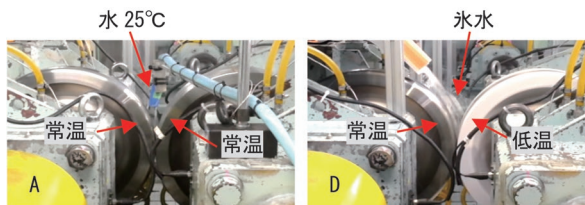
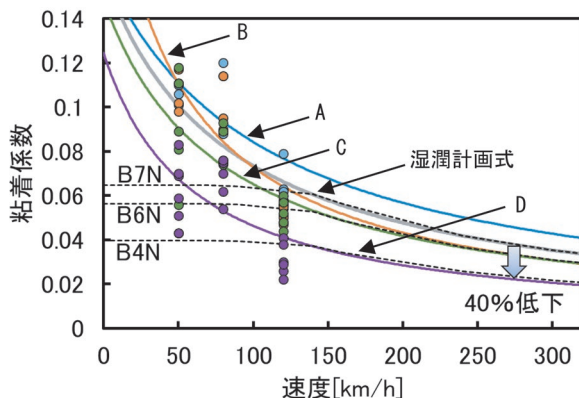


図3 シミュレーションモデル(直径 860mm)



(a) 試験の様子



(b) 粘着係数および近似曲線の結果

図1 試験の様子および試験結果

において、リム部の円周方向応力が引張側にそれぞれ 1, 50, 100MPa 変化した際の踏面最高温度を評価した。

3.2 解析結果

解析結果を図 4 に示す。入熱パターン①の場合、17.5mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 750℃と推定された。35mm 条件では円周方向応力が 50MPa 増加した際の踏面最高温度は 860℃と推定され、最も応力が小さい条件であった。70mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 410℃と推定された。

入熱パターン②の場合、17.5mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 986℃と推定された。35mm 条件では円周方向応力が 20MPa 増加した際の踏面最高温度は 863℃と推定され、最も応力が小さい条件であった。70mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 474℃と推定された。

入熱パターン③の場合、17.5mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 756℃と推定された。70mm 条件では円周方向応力が 100MPa 増加した際の踏面最高温度は 412℃と推定された。ただし、35mm 条件では 1000℃を超えたため、除外した。

次に、円周方向応力の上限值を策定する台上試験を実施した。研磨子を非動作とした条件で、ディスクとパッドによる空制の非常ブレーキを掛けた際の結果を図 5 に示す。ブレーキ中の変化量の傾向から上限値を 50MPa とし、さらに最も踏面温度が低くなる条件として入熱範

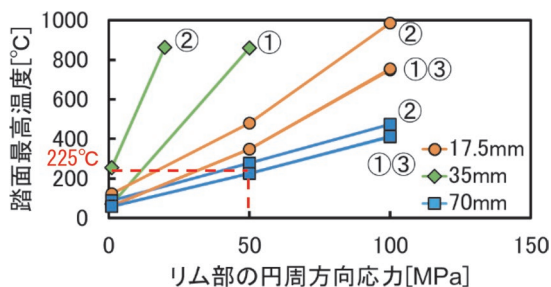


図 4 円周方向応力および踏面最高温度の解析結果

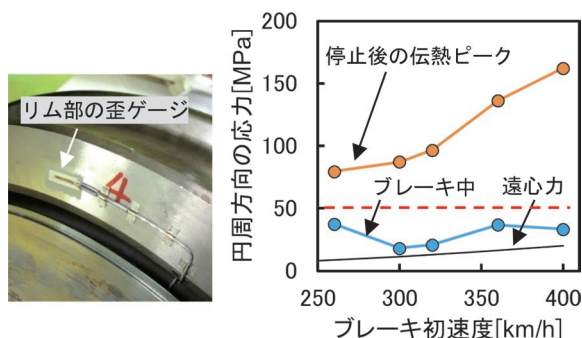


図 5 円周方向応力の台上試験結果

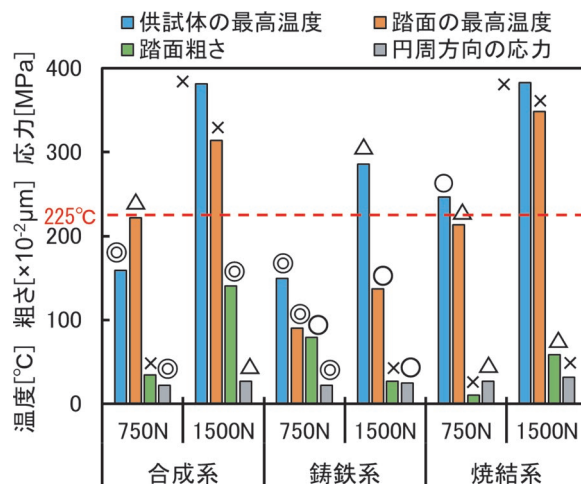


図 6 実物大台上試験の比較結果

囲 70mm を仮定すると、踏面温度は最高で 225℃以下に抑える必要があり、これを踏面温度上昇の参考値とした。

4. 鋳鉄系研磨子の開発

4.1 台上試験による評価

鋳鉄系および焼結系の研磨子を試作し、実物大車輪を用いた台上試験（高速摺動試験，粘着試験 100km/h）により合成系の現用品と比較した。初速度は 5 種類（260, 300, 320, 360, 400km/h），押付力は 2 種類（750, 1500N，※現仕様は 500N）の条件で、各種温度，踏面粗さ，円周方向応力の変化量を評価した結果を図 6 に示す。

図中の記号（◎，○，△，×）は試験結果の判定を便宜的に表し，優，良，可，不可である。評価項目のうち，踏面の最高温度，踏面粗さおよび応力の変化量に着目し，優位な鋳鉄系研磨子（以下，開発品 A）の 750N を選定した。なお，2 円筒回転試験機を用いた粘着係数は現用品で 0.14，開発品 A で約 1.1 倍となる 0.15 であった。

押付力 1500N を得るには踏面清掃装置を新造する必要があり，必然的に重量増加（現用 7.9kg に対して 9.4kg）を招くことになる。一方，700N 程度の場合には車両の踏面清掃装置の圧力を調整するだけの軽微な変更で済み，導入が容易となる。したがって，現用の踏面清掃装置との組み合わせを前提に開発を進めることとした。

4.2 走行試験による評価（非降積雪期）

4.2.1 仮設概要

2 円筒回転試験機を用いた台上粘着試験の最高速度は 100km/h 程度であるため，200km/h を超える新幹線車両の粘着性能を評価するには，実車両を用いた走行試験を行う必要がある。そこで，供試編成の中間車の 1 台車 4 車輪に供試体を搭載した走行試験を非降積雪期に実施した。なお，試験は現用品，開発品 A の順序とした。

粘着特性を調べるには、レール／車輪間の低粘着条件を人為的に作り出す必要がある。そこで、陳らの研究⁸⁾を参考に、大きな滑走を多発させる方法として低温散水（5℃、5ℓ/min/車輪）を1軸に行った。さらに、正確な空制ブレーキ力（摩擦力）を求める方法として、キャリパブレードに生じる歪値とトルクを予め台上試験機で較正する方法を新たに考案した（特許取得済）。

踏面清掃装置の動作は外付制御装置で行い、制御則は現仕様とした。供試体内部の上下に熱電対を埋め込むとともに、高速回転する踏面温度分布の観察には、台車に搭載可能な超小型サーモカメラシステム⁹⁾を用いた。

4.2.2 試験方法および条件

従来の粘着試験では、編成惰行中に評価する1軸のブレーキシリンダ圧力をのこぎり波状に繰り返し与えて強制的に滑走させる方法であるが、近年の車両ではシステム上、従来の方法を適用できない。このため、本試験では評価対象号車のブレーキ力を高めに設定し、非常ブレーキを作用させた。また、第1軸を先頭として初速度260から230km/hまで編成減速ブレーキ（セラミック噴射なし）を行った。なお、押付力が500、700Nとなるように踏面清掃装置の圧力調整弁で設定した。

4.2.3 試験結果

滑走状態の例を図7に、試番数に対する滑走発生率とブレーキ力を緩める排気弁の動作率の結果を図8に、基準軸との速度差が1km/h以上になった瞬間を滑走開始と判断して求めた粘着係数の結果を図9に、踏面粗さおよび供試体温度の結果を図10にそれぞれ示す。

いずれの条件も、第1軸の滑走発生率はほぼ100%であった。第2軸は現用品で70~100%、開発品Aで0%であり、排気弁の動作率も同傾向であったことから、開発品Aの平均ブレーキ力は現用品の約1.1倍となった。

第1軸の速度250km/h以上における下限値で粘着係数の大小を比較すると、開発品A（500N）≒開発品A（700N）>現用品（700N）≒現用品（500N）の順であり、開発品Aによる水切り効果や増粘着効果が顕著に表れた。

踏面粗さは開発品Aの700Nが最も大きく平均で0.73μmを示し、現用品の約1.3倍であったが、目標とするセラミック噴射後の粗さ1.0μmに達しない他、鋳鉄が踏面へ移着した凸状粗さによる転動騒音への懸念がある。さらに、滑走しなかった第2軸の供試体温度が最大で100℃を超えるなど、金属材に起因する課題が残った。なお、踏面温度は約40℃であり、参考値を下回った。

5. 合成系研磨子の開発

5.1 開発コンセプト

開発品Aの課題である踏面粗さの生成能力、騒音懸念および供試体の温度上昇を解決するため、以下に示す

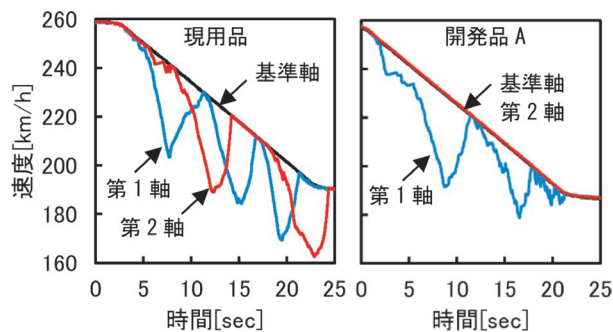


図7 滑走状態の比較

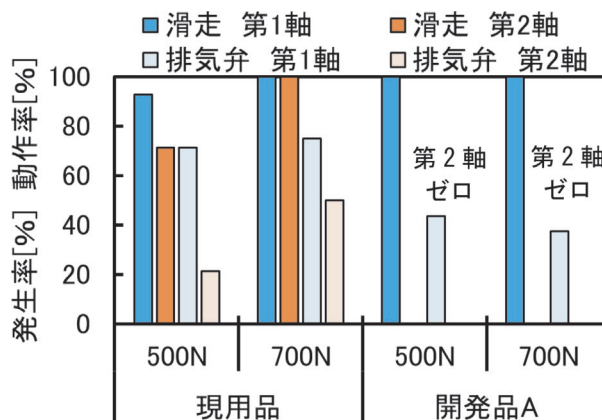


図8 滑走発生率および排気弁動作率の結果

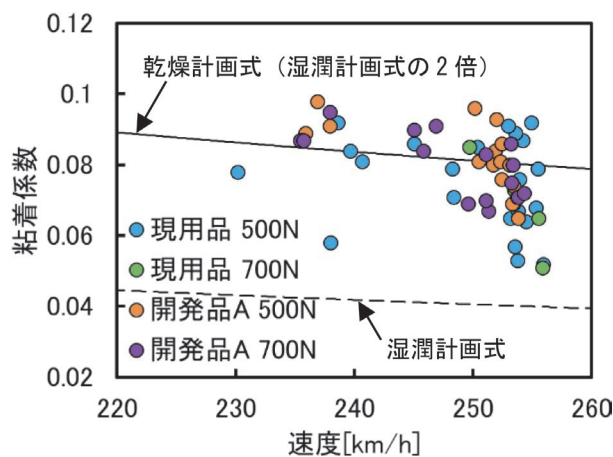


図9 粘着係数の結果

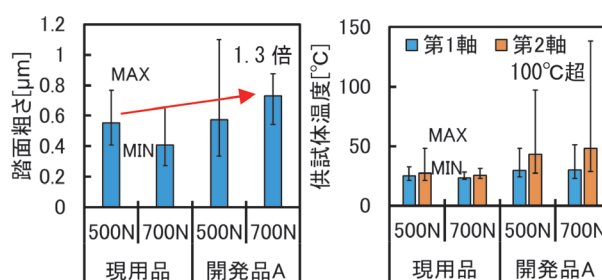


図10 踏面粗さおよび供試体温度の結果

コンセプトに基づき合成系研摩子（以下、開発品 B）の開発を進めた。

- ・強度、粗さの生成能力、耐かじり鉄片の配合組成および成型体構成は現用品に準拠
- ・硬質金属の充填割合増加、バインダの樹脂量調整摺動面の活性化促進、粗さの生成能力向上
- ・温度上昇による水切り性能と増粘着性能の向上
金属材および繊維材による熱伝導性の向上
- ・開発品 A（2.8kg）より軽量化、現用品と同等

5.2 台上試験による評価

5.2.1 試験条件

台上試験では再生ブレーキにより、現実的なランカーブを模擬した高速摺動試験と粘着試験および騒音試験による比較評価を行った。各種条件を以下に示す。

- ・高速摺動試験 各 3 回
速度 300 → 30km/h, 押付力 700N
- ・粘着試験（4.1 節と同じ）各 3 回
速度 100km/h, 押付力 700N, 低温散水 50ml/min（5℃）
- ・騒音試験 正転逆転各 1 回
速度 260, 360, 400 → 70km/h, 押付力 700N

5.2.2 試験結果

高速摺動試験および粘着試験の結果を図 11 に、騒音試験の結果を図 12 に示す。開発品 B は現用品に比べて、供試体温度は約 1.4 倍に、踏面温度は約 1.1 倍に抑えられており、開発品 A よりも同等もしくは低い値を示した。さらに、踏面粗さは約 1.7 倍に、粘着係数は約 1.4 倍に増大し、高い増粘着効果が見込まれる。

騒音は供試体から正対して 1500mm 離れた位置で測定した。開発品 B は現用品と同等レベルもしくはそれ以下であり、開発品 A よりも大幅に低減することを確認した。

5.3 走行試験による評価（降積雪期）

5.3.1 試験条件

粘着性能を評価する走行試験では、試験期間の天候が必ずしも降積雪条件とは限らないため、非降積雪期に人為的な散水を行い実施している。冬季の粘着特性に関する知見が少ないのはこれらの理由に因るものである。

このため、本研究では実際に自然降積雪環境下を走行する際の性能評価を行うこととした。なお、試験仮設の内容は 4 章で実施した走行試験と基本的には同様である。ただし、低温散水は 5℃、2ℓ/min/車輪とし、編成停止ブレーキ試験を実施した。主な条件は以下の通りである。

- ・初速度：160, 260, 275, 320km/h
- ・ノッチ：電制非常ブレーキ
空制非常ブレーキ
電制常用最大 7 ノッチブレーキ
空制常用最大 7 ノッチブレーキ

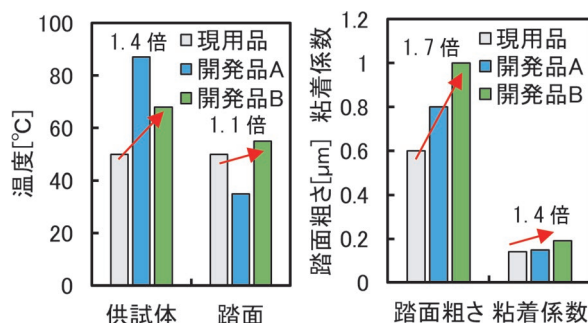


図 11 高速摺動試験および粘着試験の結果

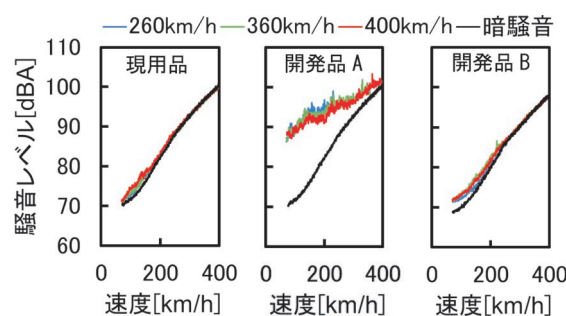


図 12 騒音試験の結果

- ・押付力：500N, 700N
- ・セラミック噴射：なし

5.3.2 試験結果

試番数に対する滑走発生率および踏面粗さの結果を図 13 に示す。開発品 B は現用品に比べて滑走回数が大幅に少ない傾向を示し、700N が優位であった。踏面粗さは、現用品では押付力の違いによる差異はなかった。一方、開発品 B では 700N が最も大きく、平均で現用品の約 1.4 倍となる 0.83μm であり、目標とする 1.0μm に近づいた。

図 14 は超小型サーモカメラシステムを用いた踏面温度分布の観察結果例である。いずれも転動部付近の摺動幅（発熱部分）は 500N よりも 700N の方が広い傾向を示し、最も広い開発品 B の 700N では、効果的に転動部の粗さを生成しているものと考えられる。踏面温度は氷雪や外気温の影響を受けて概ね 30℃ 程度となり、踏面への熱影響や車輪応力へ影響は小さいものと考えられる。

供試体温度および摩耗量の結果を図 15 に示す。本試験は編成停止ブレーキであり、短時間の減速を繰り返す粘着試験よりも踏面清掃装置の動作時間が長くなる、さらに ATC ブレーキも供試体のベース温度を底上げする働きを担うことになる。これらの影響を踏まえても開発品 B は現用品より高い温度を示した。顕著な温度上昇は増粘着に寄与する反面、耐摩耗性の悪化が懸念される。

踏面清掃装置の動作ロジックは、ある速度以上で走行中に、ブレーキ指令（全てのノッチ）を受けて動作（間欠）を開始するものである（以下、現行パターン）。そこで、ATC ブレーキのノッチ頻度を分析し、摩耗量を

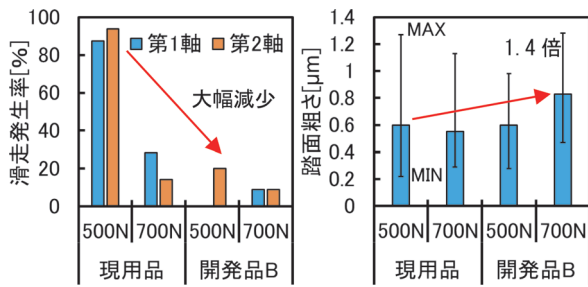


図 13 滑走発生率および踏面粗さの結果

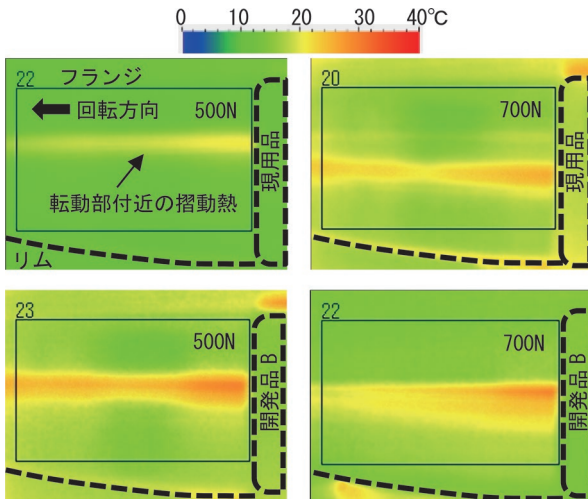


図 14 踏面温度分布の観察結果例 (300km/h 時)

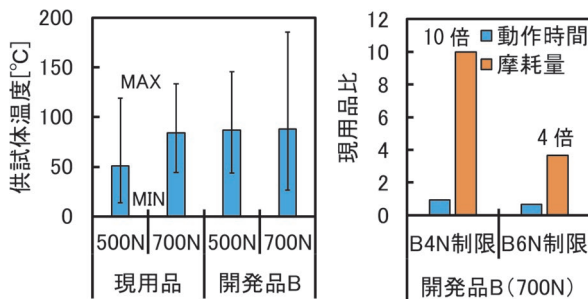


図 15 供試体温度および摩耗量の結果

低減する方策として以下に示すノッチ制限を検討した。

- ・ B4N 以上で動作を開始 (以下, B4N 制限)
- ・ B6N 以上で動作を開始 (以下, B6N 制限)

ノッチ制限により動作時間は、現行パターンに比べて B4N 制限で約 10%, B6N 制限で約 30% 減少したが、摩耗量は現用品に比べて B4N 制限で約 10 倍, B6N 制限で約 4 倍となった。このため、開発品 B の 700N では踏面清掃装置の動作パターンを抜本的に見直す必要がある。

5.4 摩耗対策の台上試験

5.4.1 動作パターンの策定

動作パターンのイメージを図 16 に示す。現行パターンは、ブレーキ指令 (全てのノッチ) に連動して圧着と

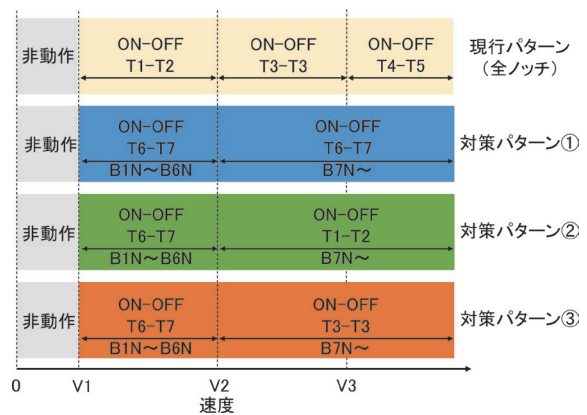


図 16 動作パターンのイメージ

緩解を交互に繰り返す間欠動作を行い、予め設けられた速度帯毎にそれぞれ異なる時間のパラメータが設定されている。例えば、現行パターンの速度 V1~V2 では、ON 時間 T1 と OFF 時間 T2 の組み合わせで間欠動作を行う。したがって、速度帯を跨いで減速する際には、隣り合う 2 つの設定が連続的に動作する場合があります。結果として動作時間が長くなって摩耗に影響することになる。

このため、対策パターンとして、高速側の速度 V3 を撤廃し、在来線の速度帯と新幹線の速度帯に二分した。その他、ATC ブレーキによる入駅を想定した B6N までの制限 (B6N 以下で動作) を低速側に、粘着力不足を想定した B7N 制限 (B7N 以上で動作) を高速側にそれぞれ設けることとした。

次に、摺動トルクの時間変化から、粗さ生成フェーズ (高いトルクを維持) と摩耗フェーズ (トルクが急減) の境界を見極め、粗さ生成の最小圧着時間 T6 を見出し、これをベースに対策パターン①を策定した。対策パターン②および対策パターン③の ON 時間は、それぞれ対策パターン①の約 2 倍、約 3 倍に相当し、総合的な動作時間は対策パターン①が最短で、現行パターンが最長である。

5.4.2 試験条件

以下に示す条件において、実物大車輪を用いた台上試験を実施し、踏面粗さと摩耗量の比較評価を行った。

- ・ 高速摺動試験 各 10 回

速度：260 → 70km/h, 360km/h → 70km/h (回生ブレーキ)

押付力：500N (現用品), 700N (開発品 B)

動作パターン：現行パターン

対策パターン①

対策パターン②

対策パターン③

5.4.3 試験結果

踏面粗さおよび摩耗量の現用品比の結果を図 17 に示す。踏面粗さはいずれのパターンも現行パターンに比べて 1.2 倍以上の値を維持した。摩耗量は動作時間が長いほど増大し、対策パターン①で目標とする約 2 倍、対策

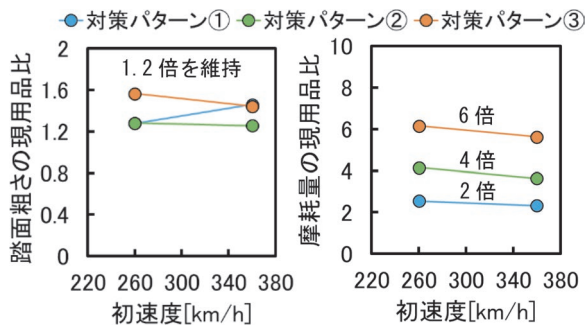


図 17 踏面粗さおよび摩耗量の結果

パターン②で約 4 倍、対策パターン③で約 6 倍であった。

5.5 走行試験による対策の検証（降積雪期）

5.5.1 試験条件

摩耗の対策効果と粘着性能を評価するため、自然降積雪環境下での走行試験を実施した。試験仮設は 5.3 節で実施した内容と基本的には同様であるが、これまでの台車単位による評価では、各供試体の試験時期が異なっており、厳密には同一の気象や環境条件ではなかった。

そこで、本走行試験では、1 軸に現用品（押付力 500N、現行パターン）を、もう 1 軸に開発品 B（押付力 700N、対策パターン①→対策パターン②→対策パターン③の順で実施）を搭載し、両者の同時刻評価を行うこととした。また、低温散水は氷雪よりも温度が高く、巻き上げや巻き込みによる低粘着への影響を抑えてしまう可能性を踏まえて実施しないこととし、レール/車輪付近を観察する特殊なカメラを台車に取り付けて走行環境を把握した。

5.5.2 試験結果

走行中における観察カメラの映像例を図 18 に示す。映像からは、氷雪の猛烈な巻き上げと巻き込みが生じているのが分かる。すなわち、レール/車輪間には大量の氷雪が供給・介在しており、低粘着の状態にあるものと推測される。測定チャート例を図 19 に示す。現用品では、空転と滑走が比較的多くみられる傾向がある。

試番に対する滑走発生率の結果を図 20 に示す。開発品 B は現用品に比べていずれのパターンにおいても再粘着傾向が強く、滑走発生が約 15~20% 抑制された。

粘着係数の結果を図 21 に示す。以降は紙面の都合で対策パターン②についてのみ掲載し、他の対策パターンについては結果のみ言及する。自然降積雪環境下では、湿潤計画式を下回る低粘着傾向を示す場合（貯雪区間、外気温 -8℃ 程度、湿潤計画式より 20% 低下）があることが分かった。近似曲線で両者を比べると、対策パターン①および対策パターン②ではほぼ同等であった。対策パターン③では開発品 B の方が若干優位であった。しかし、粘着係数は前述した通り、滑走し始めの点データの集合である。すなわち、一点の瞬間的な現象を表し

ており、必ずしも動的に変化する連続的な粘着現象を表すものではない。そこで、編成速度に対する各軸速度の比で表されるすべり率に着目した評価を行った。

図 22 はすべり率を速度 5km/h 毎に平均した対策パターン②の結果である。開発品 B の現用品に対する比をみると、対策パターン①では約 30~70% の減少、対策パターン②では約 30~90% の減少、対策パターン③では約 40~80% の減少をそれぞれ示しており、いずれ



図 18 レール/車輪間の映像例（220km/h 時）

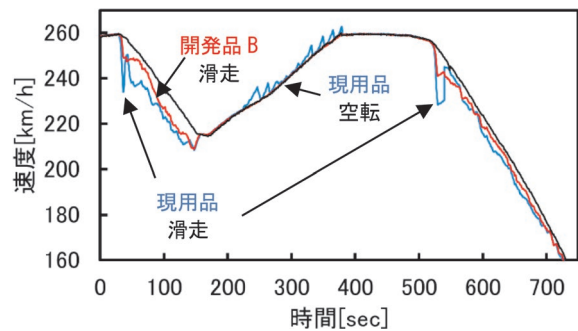


図 19 空転・滑走の測定チャート例

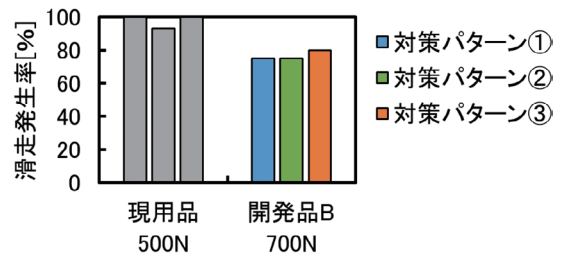


図 20 滑走発生率の結果

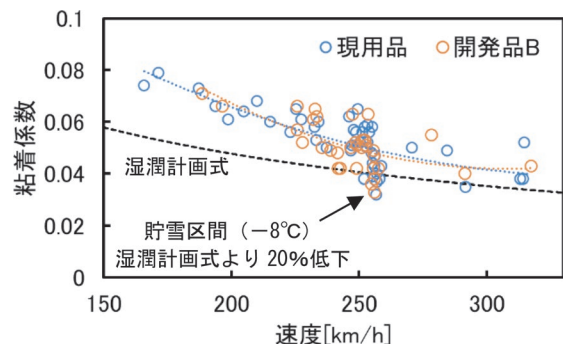


図 21 粘着係数の結果（対策パターン②）

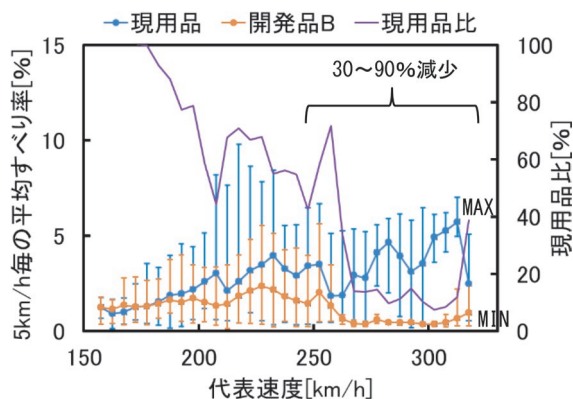


図 22 すべり率の結果 (対策パターン②)

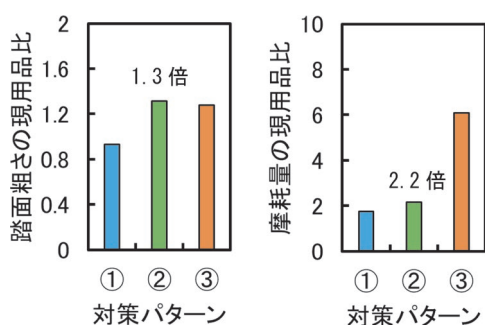


図 23 踏面粗さおよび摩耗量の結果

も開発品 B による滑走の抑制効果がみとめられる。特に高速域では動作時間の長い順で効果が高い傾向を示した。このように、すべり率が抑制されることで、滑走再粘着制御における滑走検知の頻度を減じ、その後の緩め動作によるブレーキ力の低下を抑え、停止距離の短縮すなわち高減速化に寄与することが期待できる。

踏面粗さおよび摩耗量について、現用品比の結果を図 23 に示す。対策パターン②の踏面粗さは現用品の約 1.3 倍であり、氷雪介在下でも摺動できたものと考えられる。また、摩耗量は約 2.2 倍であり、5.4 節の台上試験結果と概ね整合する結果であった。

供試体および踏面の温度の結果を図 24 に示す。供試体温度は、開発品 B では動作時間が長いほど温度が高まる傾向があり、特に対策パターン③は摩耗量に直接的な影響が出たものと考えられる。一方、踏面温度は両者で同等の値を示したことから、踏面への熱影響や車輪応力へ影響は小さいと考えられる。

以上の結果から、対策パターン②は増粘着効果と耐摩耗性を兼ね備えた機能を有していると考えられる。

6. まとめ

本研究では、レール湿潤条件下よりも低粘着が懸念されるレール氷雪条件、すなわち降積雪環境下における粘着性を高め、なおかつ導入容易な合成系の増粘着研摩

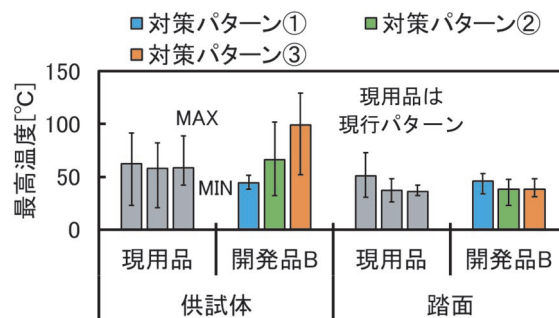


図 24 供試体および踏面温度の結果

子を開発した。また、増粘着効果と耐摩耗性を兼ね備えた踏面清掃装置の動作パターンを提案した。

将来的に、踏面清掃装置の制御仕様に線区や時期を加味し、降積雪の多い線区とその期間には対策パターン②を、それ以外にはさらに短い動作パターンを設定することで、摩耗量が平準化されて通年の使用が期待できる。

謝 辞

走行試験の実施にあたり、東日本旅客鉄道株式会社の北村賢一氏、藤田晋平氏、森弘元人氏、西日本旅客鉄道株式会社の山口拓也氏をはじめ、関係者には多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) 大山忠夫：粘着の話—車輪とレール間の粘着力とその有効利用—, レールアンドテック出版, 2002
- 2) 大野薫：増粘着材噴射装置（セラジェット）—その1—, RRR, Vol.63, No.1, pp.36-37, 2006
- 3) 嵯峨信一, 宮部実, 川村淳也, 杉田裕伸, 竹間克俊：一本リンク牽引力を用いたブレーキ性能評価手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.2, pp.23-28, 2015
- 4) 望月旭編：新幹線電車の技術経緯, 日本鉄道車両機械技術協会, 2014
- 5) 酒井秀男：タイヤ工学, グランプリ出版, 2002
- 6) 陳樺, 井戸達哉：低温条件下における車輪/レールの粘着試験, 鉄道総研報告, Vol.35, No.9, pp.23-28, 2021
- 7) 大山忠夫：増粘着研摩子, RRR, Vol.64, No.5, pp.38-39, 2007
- 8) 陳樺, 伴巧, 石田誠, 中原綱光：湿潤条件下の車輪とレール間の粘着係数に影響を及ぼす因子, 鉄道総研報告, Vol.26, No.2, pp.45-50, 2012
- 9) 嵯峨信一, 池内健義, 石坂啓, 半田和行, 藤田晋平, 松橋克幸, 篠原高征, 畑弘敏：走行する鉄道車両における車輪温度の評価手法, 第 28 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2021) 講演論文集, No.SS1-4-3, 2021