

耐雪性能に優れた貨車用合成制輪子

○阪井 章悟（鉄道総研） [機] 西森 久宜（鉄道総研） 狩野 泰（鉄道総研）

安岡 健二郎（日本貨物鉄道） 大河原 雄一（日本貨物鉄道）

New organic composite brake block for freight wagons
with excellent performance under snowing condition

○Shogo Sakai, Hisanori Nishimori, Yasushi Karino, (Railway Technical Research Institute)

Kenjiro Yasuoka, Yuichi Okawara, (Japan Freight Railway Company)

Passenger vehicles and locomotives operating in snowfall areas equip the snowproof brake function which prevents snow and snow melting water from coming into the section between the brake blocks and the wheel tread. However freight wagons hardly equip the same mechanism. Therefore, the brake blocks of the freight wagons are required to keep the frictional performance even if they are surrounded by heavy snow and rich melting water. In this study, by improving material, we propose a new organic brake block of freight wagons. And we carried out a bench test based on the old Japanese National Railways standards and the running tests on a snowy track. The result of tests shows that the proposed brake block can achieve the performance higher than the existent one under snowy condition.

キーワード：ブレーキ摩擦材， 合成制輪子， 雪， 貨車

Key Words：brake friction materials, organic composite brake block, snow, freight wagons

1. はじめに

鉄道車両の安全性を考える上で、ブレーキ性能は非常に重要な項目である。例えば、在来線鉄道車両の場合、最高速度から非常ブレーキをかけた際の制動距離は 600m 以内とすることが省令の解釈基準¹⁾に示されており、車両のブレーキ性能はそれらを満たすように設計される。貨車の場合、電気ブレーキが具備されておらずブレーキ力は踏面ブレーキによって車輪踏面と踏面制輪子の摩擦接触で確保されるが、車輪踏面と制輪子間に水が介在すると摩擦係数が低下し、ブレーキ力が低下する現象が生じる。特に厳冬期の降積雪条件では車輪踏面・制輪子間に氷雪や融雪水が介在し、大幅にブレーキ力が低下する可能性が懸念されることから、降積雪条件においても必要なブレーキ力を確実に確保するための対策が必要となる。

積雪地域を走行する車両においては、走行中にあらかじめ制輪子を車輪踏面に密着させることで摩擦接触面の隙間を無くし、氷雪や融雪水の介在を防ぐ耐雪ブレーキが備え付けられているが、貨車のブレーキシステムに同様の手法を適用することは難しい。そこで、制輪子の改良によって摩擦接触面に介在する氷雪等を排除しながら必要なブレーキ力を確保することとし、制輪子の材質面および制輪子形状に関する検討を行った。

本件では、改良により得られた貨車用合成制輪子の耐雪性能を旧 JRS 規格に基づく実物大台上試験により確認した上で、降積雪環境下での現車走行試験を実施した。

2. 耐雪性能に優れた貨車用合成制輪子の開発

車輪踏面と制輪子の接触位置は、走行中での車輪の動揺や基礎ブレーキ装置の可動部などの影響で常に変化する。このような接触位置の変化がある状況において、降積雪条件下の融雪水介在時に車輪踏面と制輪子間の摩擦係数を確保するためには制輪子に含まれている硬質物質の配合が重要な要素となる。摩擦力をより効率的に確保するための硬質物質の配合形状は古くから検討されており、現在までに数多くのタイプが考案されている²⁾。図 1 に硬質物質の配合例を示す。現用品は数 mm に粉碎した硬質金属を制輪子母材に分散配合させた分散点在型である。本件で新たに開発した貨車用合成制輪子（以下、開発品と呼ぶ）は、車輪踏面と制輪子間の接触位置の変化に対応させることを目的に現用品に分散配合している硬質金属よりも硬く細かな約 0.15mm の無機材（以下、硬質粒子と呼ぶ）を適用することで配合比を増やし、摩擦摺動面全体に占める硬質粒子の割合をこれまで以上に高い密度で分布させた均一型とした。このような硬質物質の配合タイプ変更や成分の配合比

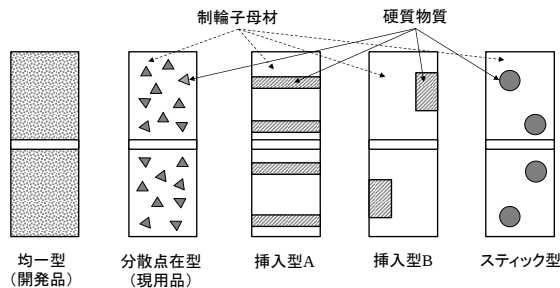


図1 硬質物質の配合例

変更のほか、硬質物質と並んで摩擦係数確保のための重要な要素である制輪子基材の見直しを行った。また、制輪子形状に関しては、堆雪しにくさ、融雪水排除効果を考慮して制輪子の端部形状の変更を行った。図2に現用品および開発品の外観を示す。

3. 実物大台上試験

3. 1 JIS 規格におけるブレーキ試験

合成制輪子における現在有効な規格は、JIS E 4309 (以下、JIS 規格と呼ぶ) である³⁾。そのため、JIS 規格の性能評価方法に基づいたブレーキ試験を実施し、雨天時などの環境条件がブレーキ性能に与える影響を確認した。表1にJIS 規格による試験条件を示す。なお、試験には車輪径 860mm のB型圧延車輪を使用し、慣性モーメントは 1,478kgm² (輪重 7.4ton 相当、慣性倍率 1.05) に設定し、車輪踏面と各制輪子の当たりを70%以上確保するため試験前に摺り合わせを実施した (乾燥条件、押付力 15kN、初速度 65km/h)。

3. 2 試験結果 (JIS 規格)

開発品に対して JIS 規格の性能評価方法に基づいたブレーキ試験を実施し、評価を行った。図3に代表例として湿潤試験の初速度 35km/h の瞬間摩擦係数を示す。

図3より、湿潤試験で得られた瞬間摩擦係数の評価は、ブレーキ直後から停止まで JIS 規格に基づいて規定される

表1 JIS 規格に基づいた試験条件

試験名称	回数	初速度 (km/h)	押付力 (kN)	試験環境
乾燥試験	各3回	35、65、95	15、34	乾燥
湿潤試験		35、65、95	15	散水 (200ml/min)

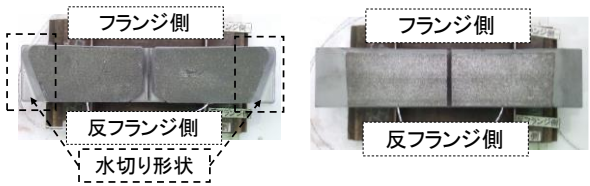


図2 制輪子の外観

上限、下限①、下限②を全て満足する結果であった。また、瞬間摩擦係数について、ブレーキ直後でも摩擦係数が安定して得られていることが認められた。そのため、開発品は、雨天時などの環境条件による摩擦係数の低下が小さく、ブレーキ性能に与える影響が小さいことが認められた。

3. 3 旧 JRS 規格におけるブレーキ試験

前項より、開発品は雨天時などの環境条件による摩擦係数の低下が小さく、ブレーキ性能に与える影響が小さいことが認められた。一方で、降積雪環境下においては、摩擦面間には氷雪やそれらが解けた融雪水が介在することとなり、通常的环境条件に比べてさらに摩擦係数の低下が懸念されるが、現行の JIS 規格では降積雪条件を想定した評価基準は存在しない³⁾。そこで本件では、合成制輪子に関する旧規格である JRS 11203-7B-15BR06A (以下、旧 JRS 規格と呼ぶ) に着目した。旧 JRS 規格には合成制輪子 4 種が耐雪型制輪子として規定されている⁴⁾。表2に旧 JRS 規格による試験条件を示す。

表2に示した旧 JRS による試験条件は、車輪踏面と制輪子間の水膜破断性を耐雪性能としたもので、融雪水が常に摩擦面に供給される状況を想定した常温散水試験と、厚い水膜が介在する条件を想定した常温散水繰り返し試験が規定されている。現在、耐雪性能の評価基準が存在しないこ

表2 旧 JRS 規格に基づいた試験条件

試験名称	回数	初速度 (km/h)	押付力 (kN)	散水量
常温散水試験	各3回	35、65、95	15	1000ml/min
常温散水 繰り返し試験	20回	35	15	1000ml/min

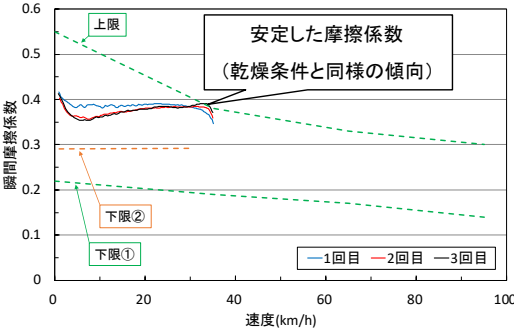


図3 湿潤試験 (初速度 35 km/h) の瞬間摩擦係数

とから、旧 JRS 規格による耐雪性能の評価方法に基づいたブレーキ試験を実施した。

3. 4 試験結果 (旧 JRS 規格)

本項では、ブレーキ試験を実施した常温散水試験と常温散水繰り返し試験の内、特徴的な試験結果が得られた常温散水繰り返し試験について紹介する。

(1) 常温散水繰り返し試験

常温散水繰り返し試験での平均摩擦係数の結果を図4に示す。常温散水繰り返し試験で得られた平均摩擦係数を比較すると、開発品では、繰り返し11回目で最も大きな摩擦係数の低下が認められている。これは、10回目の終了時点で実施した制輪子の取り外し（摩擦面を観察するため）が影響したもので、12回目からは摩擦係数も回復し、繰り返し試験20回を通して概ね0.33から0.36の間で安定した平均摩擦係数が得られた。一方、現用品では、5回目において最大値0.34を示したが、6回目以降から摩擦係数の低下傾向となった。また、繰り返し11回目で開発品と同様に大きな摩擦係数の低下が認められており、10回目の終了時点で実施した制輪子の取り外しが影響したものである。その後、12回目から13回目まで摩擦係数は上昇したが、14回目以降からは回数を重ねるごとに低下し、繰り返し20回目での平均摩擦係数は0.22であった。

これらの結果より、開発品は現用品に比べて高い耐雪性能を有することが確認された。

(2) 常温散水繰り返し試験 (追加試験)

現用品より高い耐雪性能を示した開発品において、常温散水繰り返し試験を20回実施した後、最大50回まで追加試験を実施することとした。図5に追加試験の結果を含め

た平均摩擦係数を示す。

追加試験で得られた開発品の平均摩擦係数は、繰り返し21回目で最も大きな摩擦係数の低下、31回目、41回目でも摩擦係数の低下が認められた。これは、前項と同じ制輪子の取り外し（摩擦面を観察するため）が影響したものである。その後、試験回数を重ねていくと摩擦係数が回復する傾向が認められ、繰り返し試験50回を通して概ね0.32から0.37の間となり、50回終了時で0.34と試験終了時でも安定した値を示した。

追加試験の結果より、開発品では50回目においても繰り返し試験初期と同等の摩擦係数を示し、高い耐雪性能を維持できることが確認された。

4. 現車走行試験

実物大台上試験でのブレーキ試験によって、高い耐雪性能を維持できる開発品について、降積雪環境下における現車走行試験を実施した。

4. 1 試験概要

コンテナ貨車1両に、開発品と現用品を各2軸分装着し、機関車を含む10両編成の営業列車において現車試験を実施した。

走行区間は北海道・石勝線の苫小牧～帯広間で、試験車両の連結位置は上り方向では機関車後位、下り方向では最後尾（貨車9両目）である。試験車両にはコンテナ（約6.5ton）を5個搭載し、車両質量は約51.2tonである。走行距離は約1,350km、外気温は-16℃～-6℃、線路内の全線において積雪が認められる状況であった。図6に現車試験の測定内容、図7に供試制輪子の装着部位、図8にブレーキバ

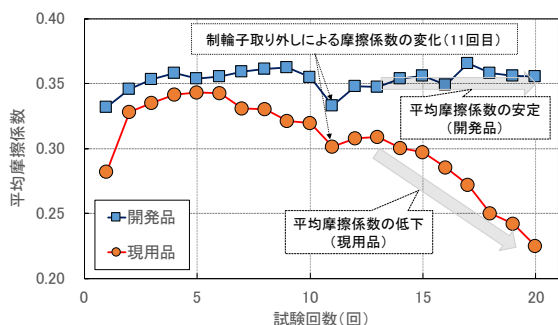


図4 常温散水繰り返し試験における平均摩擦係数

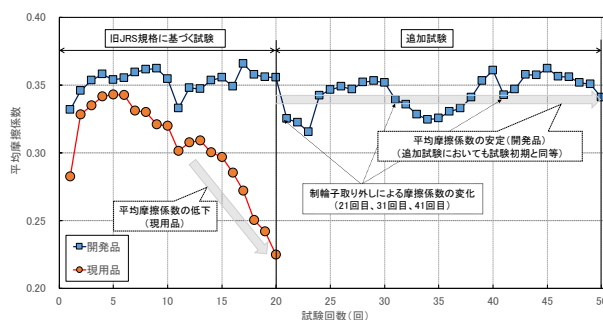


図5 常温散水繰り返し試験 (追加) での平均摩擦係数

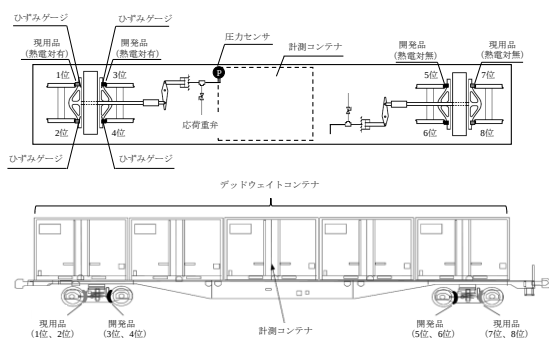


図6 現車試験の測定内容

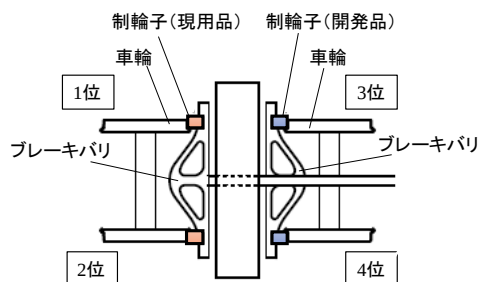


図7 供試制輪子の装着部位

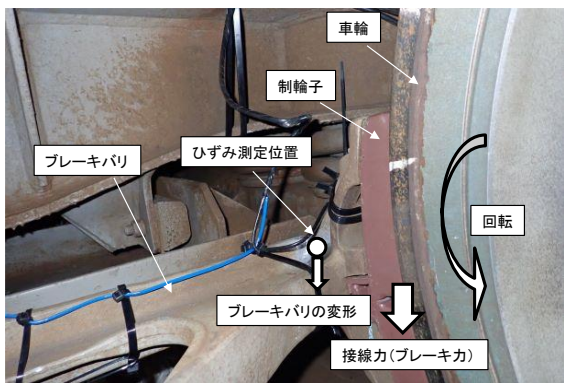


図8 ブレーキバリが受けるブレーキ力の様子

リが受けるブレーキ力の様子をそれぞれ示す。

図7,8に示すとおり、貨車の台車部品の一つであるブレーキバリは、各軸の左右兩位に設置された制輪子頭（制輪子を取り付け固定するための台座）どうしをつなぐ一体構造のハリである。ブレーキバリは、車輪に制輪子を押し付ける役割とともに、回転する車輪に制輪子を押し付けた場合に発生する接線方向の力（ブレーキ力）を受け止める構造体としての役目も担っている。したがって、ブレーキバリはブレーキ力の大小に応じた変形が生じる。そこで、ブレーキバリの変形量をひずみゲージによって測定（ブレーキバリのひずみ量を測定）し、得られたひずみ量の変化を指標に各制輪子の耐雪性能を比較することを試みた。

4. 2 試験結果

（1）走行後の着雪状態

走行後の制輪子周りへの着雪状態の一例を図9に示す。全試験日において制輪子周囲には冰雪が堆積したものの、開発品と現用品では明確な差は認められなかった。また、目視では車輪踏面と制輪子の間に冰雪が介在し噛みこみが生じた様子は観察されなかった。

（2）ブレーキバリひずみ量の比較

降積雪環境下における耐雪性能を比較するためには、非降積雪環境下のブレーキバリのひずみ量に対して降積雪環境下のブレーキバリのひずみ量がどの程度低下したかを表す指標が必要となる。そのため、ブレーキバリひずみ量（以下、ひずみ量とよぶ）の低下率を用いることとし、各部位についてブレーキ時に生じるひずみ量から低下率を算出した。ε_dは非降積雪環境時に生じるひずみ量、ε_wは降積雪環境時に生じるひずみ量であり、式（1）により算出される。

$$\left(1 - \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_d}\right) \times 100[\%] \dots\dots\dots (1)$$

なお、比較に用いた非降積雪環境、および降積雪環境の選定には、車両の運転状況記録から算出した編成減速度を用いた。また、ひずみ量は特定区間で5Nブレーキを扱った際のものとし、軸単位で比較を行うこととした。表3にひずみ量低下率による耐雪性能の比較結果を示す。

表3のとおり、ブレーキバリのひずみ量の低下率を算出



(a) 開発品（3位） (b) 現用品（1位）
図9 走行後の着雪状態（苫小牧→帯広走行後）

表3 各制輪子のひずみ量低下率（軸単位）

制輪子	搭載部位	ひずみ量低下率 ^(注記)
開発品	1位、2位	32%
現用品	3位、4位	41%

注記：ひずみ量の低下率が小さいほど非降積雪環境に近い性能を示す

した結果、開発品は32%、現用品は41%のひずみ量の低下となり、開発品の方がひずみ量の低下率は小さい値を示した。このことから、本件で実施した現車走行試験では、開発品は現用品に対して降積雪環境下においても優れた耐雪性能を有する傾向が示された。

5. おわりに

本研究では、耐雪性能に優れた貨車用合成制輪子の改良を試み、得られた制輪子の耐雪性能を旧JRS規格に基づく実物大台上試験で把握したところ、安定した耐雪性能が維持できる可能性を示した。また、降積雪環境下での営業列車に開発品と現用品を装着し、ブレーキバリひずみ量の低下率を比較したところ、開発品は現用品に対して優れた耐雪性能を有する傾向が示された。

今後の耐雪性能に優れた貨車用合成制輪子の開発プロセスにおいて、旧JRS規格に基づく実物大台上試験を摩擦材選択のための基礎試験として活用していきたいと考える。

謝辞

本研究を進めるにあたってご協力頂きました上田ブレーキ（株）の関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) 国土交通省鉄道局：解説 鉄道に関する技術基準（運転編），2002
2) 出村要，佐々木好見：制輪子物語，電車，No. 2，1985
3) 日本規格協会：JIS E 4309：2001 鉄道車両用合成制輪子 一品質要求，2011
4) 日本国有鉄道：JRS 12202-7B-15BR6A 車両用合成制輪子（4種，5種），1976