

正 [機] ○嵯峨 信一 (鉄道総研) 下田 恵輔 (JR 北海道) 新山 正剛 (JR 四国)

Composition Brake Shoe Equipped with Elastic Structure to Reduce Wheel Tread Damages

Shinich SAGA, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City, Tokyo

Keisuke Shimoda, Hokkaido Railway Company 15-1-1, Chuo-ku Kita 11-jo, Sapporo City, Hokkaido

Masataka Niiyama, Shikoku Railway Company 8-33, Hamanomachi, Takamatsu City, Kagawa

In the railway vehicle using the composition brake shoe, there is a problem that the friction coefficient between and wheel brake shoe decreases under wet conditions, the braking force tends to decrease. As these solutions, the metallic block for removing the water film has been conventionally inserted, resulting in a local temperature rise on the wheel tread surface by the metallic block under dry conditions. Become one of the factors that cause wheel damage and wheel tread wear such as concave shape. We have developed a composition brake shoe both the suppression of the temperature rise of the wheel tread and the brake force maintaining under wet conditions without using a metallic block. In this paper, we report the summary of the evaluation results in dynamo test and running test.

Keywords : brake performance, composition brake shoe, wet condition, tread, elasticity, thermo-camera, FEM

1. はじめに

踏面ブレーキに合成制輪子を使用する車両では、湿潤条件下で制輪子と車輪の間の摩擦係数が低下し、ブレーキ力が低下しやすい課題がある。とりわけ編成両数が1～2両の“短編成車両”では先行車両による水切り効果が期待できないため、ブレーキ性能の低下が顕著になる。

こうした湿潤条件下での摩擦係数低下の対策として、従来から水膜除去用の金属系ブロックが挿入されているが、乾燥条件下になるとこの金属系ブロックは車輪踏面と不均一な接触状態で摺動し、車輪踏面の局所的な温度上昇を招く。この熱負荷が車輪踏面の熱き裂や凹摩耗といった車輪ダメージを生じさせる要因の一つとなる。

そこで、金属系ブロックを用いることなく湿潤条件下でのブレーキ力低下の抑制と車輪踏面の温度上昇の抑制を両立する合成制輪子を開発した。本報告では、開発した制輪子による台上試験および現車試験における評価結果の概略について述べる。

2. 制輪子の応力解析

水膜除去のためにセミメタブロックを挿入した既存の合成制輪子と、接触面圧が均等化するように考案した弾性材型および弾性構造型の3種類の解析モデル(図1)を構築し、応力解析を実施した。なお、新しい制輪子を考案するにあたって着目したのは次の3項目である。

- ・車輪踏面の温度上昇を抑制するため、接触および摺動状態を均等化する
- ・制輪子全体を均一な圧縮弾性率とし、変形を一様にして面圧の局所的な集中を抑制する
- ・制輪子両端部の接触面圧低下を補うため、比較的圧縮弾性率の低い弾性材を中央部に配置する

車輪との接触面圧の解析結果を図2に示す。既存品(ブロック挿入型)におけるセミメタブロックの圧縮弾性率は母材より約5倍高いため、ブロック部に応力集中が発

生している。一方、考案した制輪子は圧縮弾性率の均一化と中央部に挿入した弾性材により応力集中が緩和されている。さらに、弾性材型よりも弾性構造型は中央部における接触面圧の均一化が図られていることから、弾性構造型に対して粉体化したセミメタブロックを均一配合することにより水膜除去能力を高めた(図3)。

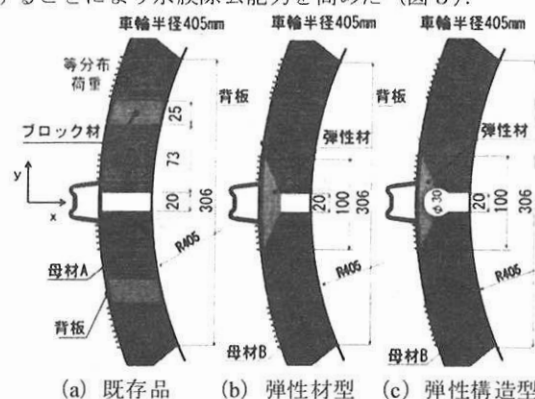


Fig.1 Analysis Model

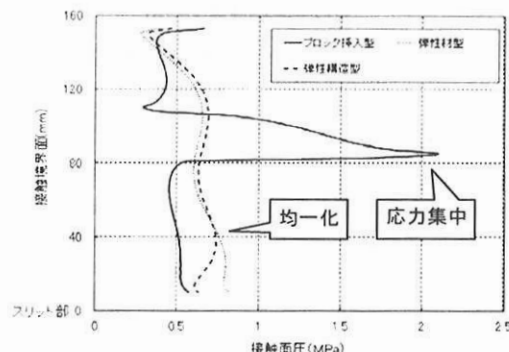


Fig.2 Results of Stress

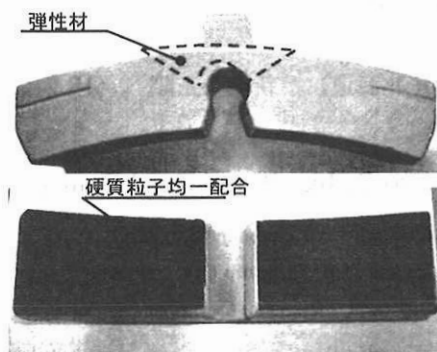


Fig.3 Prototype of Composition Brake Shoe

3. 台上ブレーキ試験

既存品（ブロック挿入型）に比べて高い摩擦係数を狙った開発品 A および同等の摩擦係数を狙った開発品 B（いずれも弾性構造型）について、台上ブレーキ試験を実施した。試験条件は想定車両重量 49ton とし、初速度およびブレーキ種別は JIS E 4309（鉄道車両用合成輪子一品質要求）に定める条件とした。

(1) 平均摩擦係数

距離平均摩擦係数を図 4 に示す。開発品 A は全ての条件で既存品よりも摩擦係数が 10～40% 向上し、開発品 B は全ての条件で既存品と同程度の摩擦係数が得られた。これは、開発した制輪子の材料配合を適宜調整することで所望の摩擦係数が得られることを示しており、開発品との置き換えを容易にする高い汎用性を有しているといえる。この汎用性の高さがその他の制輪子に比べて設計の自由度が高いとされる合成制輪子の長所でもある。

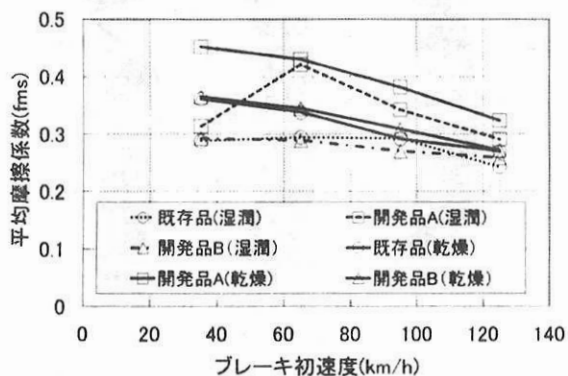


Fig.4 Result of Friction Coefficient (Ave.)
(Service Brake, 9.8kN×2)

(2) 車輪踏面温度

乾燥条件におけるブレーキ中の車輪踏面温度を高速サーモカメラにより測定した（図 5）。任意時刻における温度分布から、既存品は 500℃以上の局所的な温度上昇がみられるが、開発品 B は全体に均一な温度分布となり、最高温度は 300℃程度へ抑制される効果が確認された。

以上の結果から、在来線の短編成車両による走行試験の検討を進めることとした。

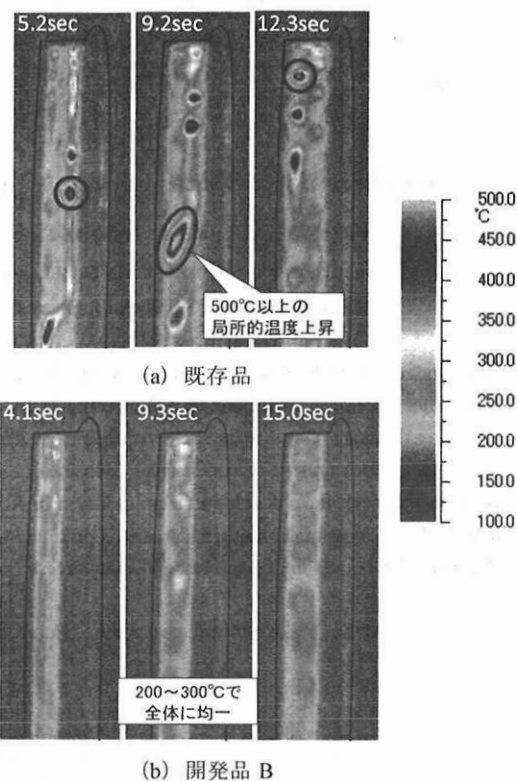


Fig.5 Comparison of Wheel Tread Temperature
(V_0 125km/h, 14.7kN×2)

4. 短編成車両によるブレーキ試験

特急形気動車（2 両編成、滑走再粘着制御なし）を供試車両とし、以下の条件でブレーキ試験を実施した。測定仮設を図 6 に示す。

- ・ブレーキ初速度：30, 60, 90, 100, 110, 120km/h
- ・ブレーキノッチ：EB（非常ブレーキ）
- ・レール条件：乾燥
湿潤（開発品 B：2 軸散水，4L/分/輪）
- ・制輪子：既存品，開発品 B
- ・測定項目：ブレーキ指令，軸速度，BC 圧力
前後振動加速度，制輪子温度，車輪温度

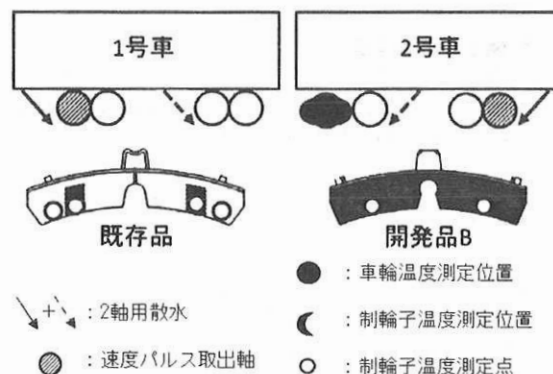


Fig.6 Schematic of Measurement Settings for Test

(1) 停止距離

測定したブレーキ距離について、勾配（レベル換算）および初速度による補正を行った平均値の結果を図 7 に示す。開発品 B の乾燥条件に対する湿潤条件のブレーキ

距離の延伸率は、平均値で初速度 30km/h および 60km/h が約 20%, 90km/h が約 17%, 120km/h が約 6% であった。また、開発品 B のブレーキ距離の最大値は、乾燥条件で 550.3m, 2 軸散水の湿潤条件で 550.6m であり (いずれも初速度 120km/h), 乾燥・湿潤ともに同等の結果で初速度 120km/h から 600m 以下の停止を達成した。

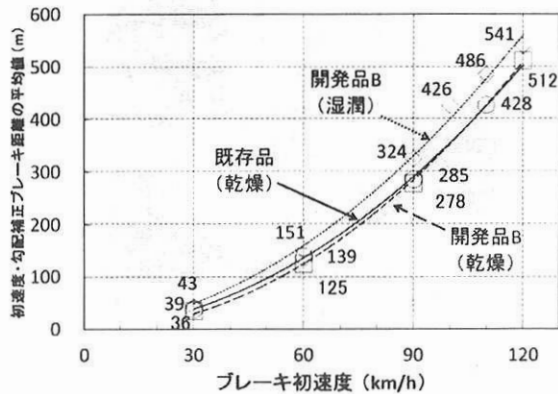


Fig.7 Results of Brake Distance (Ave.)

合成制輪子は従来から湿潤時の摩擦係数の低下率 (ダウン率) が弱点となっていたため、ダウン率の小さいとされる焼結合金制輪子がこれに代わって使用されている例も少なくない。しかし、開発品 B はこの弱点を克服した性能を持っていることから、今後、焼結合金制輪子の代替品として期待することができる。

(2) 減速度

勾配 (レベル換算) による補正を行ったブレーキ距離から求めた距離基準の実平均減速度の平均値を図 8 に示す。実平均減速度の最小値は、乾燥条件で既存品 4.16km/h/s (初速度 110km/h), 開発品 B が 3.91km/h/s (初速度 120km/h) であった。一方、開発品 B の湿潤条件では 3.89km/h/s (初速度 120km/h) であった。

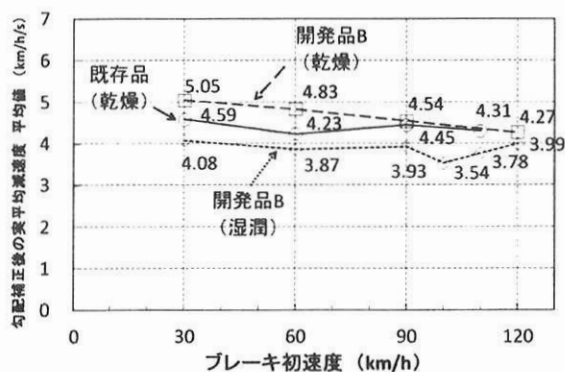


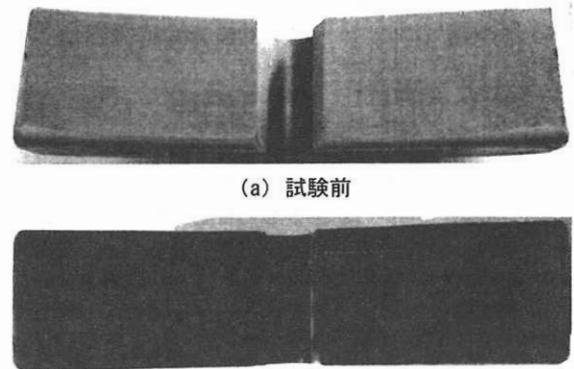
Fig.8 Results of Brake Deceleration (Ave.)

(3) 制輪子温度

制輪子温度は摺動面の 10mm 直下に熱電対を挿入して計測した。ただし、湿潤条件では散水の影響で試験回数を重ねる度に温度が低下したため、乾燥条件で比較することとした。全試験を通した制輪子温度の最大値 (乾燥条件) は、既存品が 170℃, 開発品 B が 111.2℃ であり、

開発品 B の温度が低い結果となった。また、いずれの試番も制輪子の目安温度である 250℃ 以下であった。

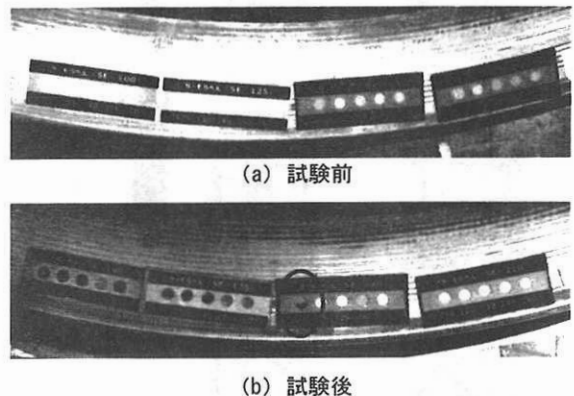
試験後における開発品 B の摺動面状態は顕著な荒損もなく、良好であった (図 9)。



(a) 試験前
(b) 試験後 (2 号車 13 位)
Fig.9 Surface of the Brake Shoe B

(4) 車輪温度

車輪温度は反フランジ側のリム部にサーモラベルを貼り付けて計測した。試験終了後の入庫時におけるサーモラベルの指示値の最大は、既存品が 220℃, 開発品 B が 170℃ であり、制輪子温度と同様に開発品 B の温度が低い結果となった。また、いずれもの試番も車輪の目安温度である 300℃ を下回ることが確認された (図 10)。



(a) 試験前
(b) 試験後
Fig.10 Results of Wheel Temperature (Brake Shoe B)

5. 車輪ダメージと車輪踏面温度に関する考察

車輪のダメージとして代表される車輪踏面の熱き裂は、走行距離の増大に伴い進展し、やがて隣接するき裂同士の間架橋効果により車輪踏面が剥離に至り、乗り心地の悪化や転動音の増大を招く。こうした問題を予防するため多くの鉄道事業者では、頻繁な車輪転削を余儀なくされており、台車検修コストに占める割合を高めている。

熱き裂の対策としては制輪子の材質変更、ブレーキ時の MT 各車の遅れ込み制御の変更、発電ブレーキ装置の搭載など車輪踏面への熱負荷を低減する手法がこれまでにとられ、一定の効果を上げていたと報告されているがある程度コストを要する対処療法的な手法にならざるを得なかった。

しかし、近年の研究により熱き裂の発生メカニズムは、①ブレーキ時における車輪踏面の最高温度、②レール方

向の接線力負荷、③転動荷重の重畳効果によることが分かってきた。このうち、接線力は車両の減速度、転動荷重は輪重にそれぞれ関係することから容易に変更することはできない。したがって、ブレーキ時の熱負荷低減が有効な方法といえるが、そのためにブレーキ回数を減らす、あるいは運転速度を下げるといった運転ダイヤの変更は現実的でない。よって、制輪子による対策がコスト面からも望ましいと考えられる。

ここでは、合成制輪子、焼結合金制輪子、合金鑄鉄制輪子をそれぞれ適用した場合に車輪踏面温度がどのように異なるのかをより詳細に比較する。図11は予め非常ブレーキ性能が同等（ブレーキ距離500～550m）となるように制輪子の押付力を調整した台上ブレーキ試験において、ブレーキ中の車輪踏面を高速サーモカメラで撮影したものである。既存品と開発品Bは均一な温度分布となり、最高温度が抑えられた開発品Bに比べて焼結合金制輪子と合金鑄鉄制輪子は局所的に800℃を超える著しい温度上昇がみられた。

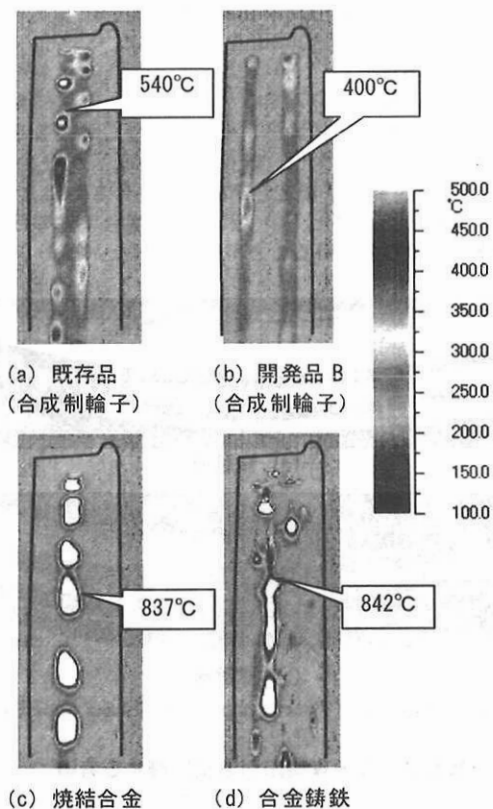


Fig.11 Comparison of Wheel Tread Temperature (V₀ 125km/h, Emergency Brake)

使用した高速サーモカメラ（図12）は1秒間に約30枚のサーモ映像を取得することができる。また1枚の映像には約6万点の温度データが含まれており、これを初速から停止まで各温度範囲における度数で集計し、総数との割合で示したものを図13に示す。なお、割合の分布は試験3回の平均で、縦軸の割合は高温域での比較を容易にするために常用対数表示で示している。

この図から、金属成分を主とする焼結合金制輪子および合金鑄鉄制輪子による車輪踏面の温度上昇が大きく、また高温域の割合も高いことが推定される。車輪の目安

温度である300℃を超過した割合でみると、焼結合金制輪子が約15%、合金鑄鉄制輪子が約10%、既存の合成制輪子が約4%、開発品Bが約1%となり、合成制輪子の熱的優位性が示された。とりわけ、既存品の温度をさらに抑制した開発品Bの効果が期待される。



Fig.12 High Speed Thermo Camera

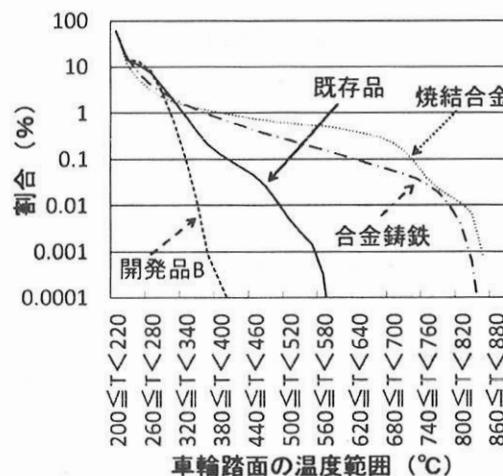


Fig.13 Results of Wheel Tread Temperature Distribution

6. 今後の取り組み

既存品との代替が可能な弾性構造型合成制輪子を開発し、2両編成の特急気動車で2軸散水条件下におけるブレーキ試験を実施した。試験の結果、600m以内の停止と車輪踏面温度の抑制効果を確認した。

現在、開発した弾性構造型合成制輪子を搭載した長期耐久試験を実施しており、定期的な車輪踏面形状等の各種調査結果を基に、車輪踏面へのダメージ軽減効果について評価を行っていく。

謝辞

本制輪子を開発するにあたって、ご指導とご協力を頂きました上田ブレーキ㈱の関係者各位に感謝いたします。また、走行試験を実施するにあたり、多大なるご協力とご配慮を頂きました四国旅客鉄道㈱の関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 半田, 森本, 深貝, 柿嶋: 車輪踏面熱き裂の発生メカニズムと対策法, 鉄道総研報告, vol.25, No.10, 2011.10