

弾性構造を適用した新しい合成制輪子

車両制御技術研究部 ブレーキ制御研究室

副主任研究員 嵯峨 信一

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。

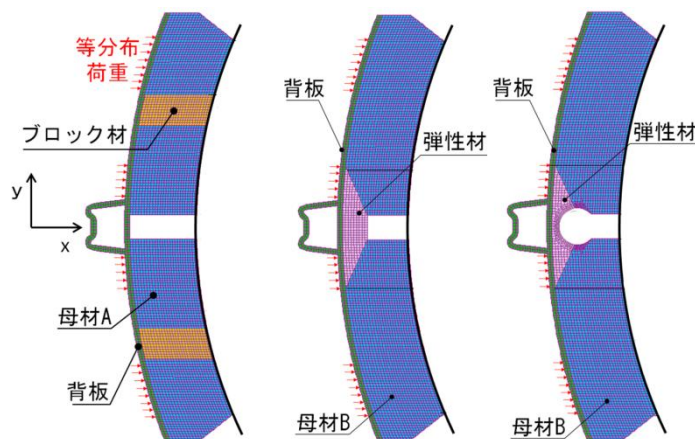
こうした湿潤条件下での摩擦係数低下の対策として、従来から水膜除去用の金属系ブロックが挿入されているが、乾燥条件下になるとこの金属系ブロックは車輪踏面と不均一な接触状態で摺動し、車輪踏面の局所的な温度上昇を招く。この熱負荷が車輪踏面の熱き裂や凹摩耗といった車輪ダメージを生じさせる要因の一つとなる¹⁾。

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2.1)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。

- ・車輪踏面との接触および摺動状態を均等化するため、粉体化したセミメタブロックを均一配合する。
- ・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。



(a) 既存品 (b) 弾性材型 (c) 弾性構造型

図 2.1 解析モデル

車輪との接触面圧の解析結果を図2.2に示す。既存品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等化が図られていることから、弾性構造型をベースとして制輪子の試作を行った(図2.3)。

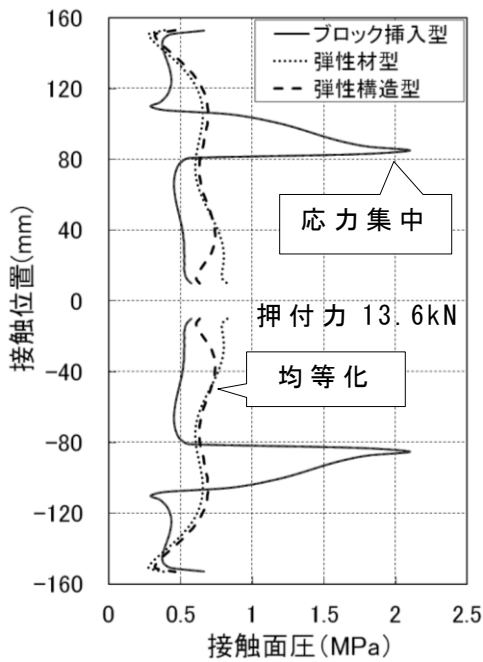


図 2.2 解析結果（接触面圧）の比較

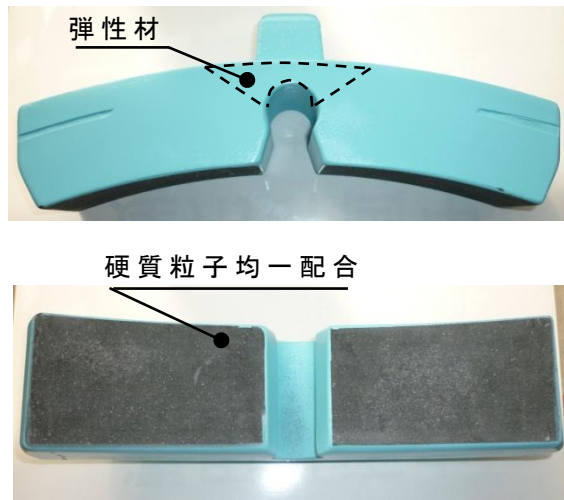


図 2.3 試作した弾性構造型合成制輪子

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—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 3.1 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。この汎用性の高さこそが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。

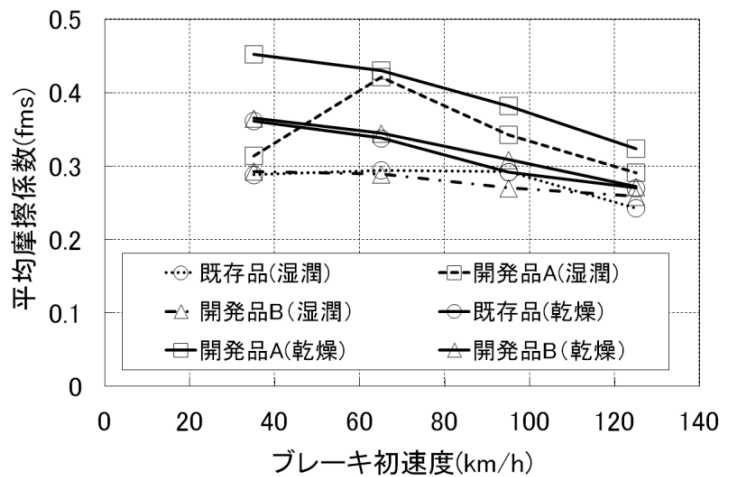
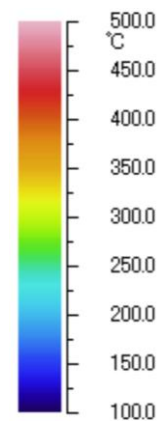


図 3.1 距離平均摩擦係数
(常用ブレーキ、9.8kN×2)

(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 3.2）。各時刻の温度分布から、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。



(1) ブレーキ距離

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 4.2 に示す。乾燥条件に対する湿潤条件のブレーキ距離の延伸率は、開発品 B の平均値で初速度 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 以下を達成した。

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) 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。全試番を通した制輪子温度の最大値(乾燥条件)は、既存品が170℃(初速度60km/h)、開発品Bが111.2℃(初速度120km/h)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。

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。

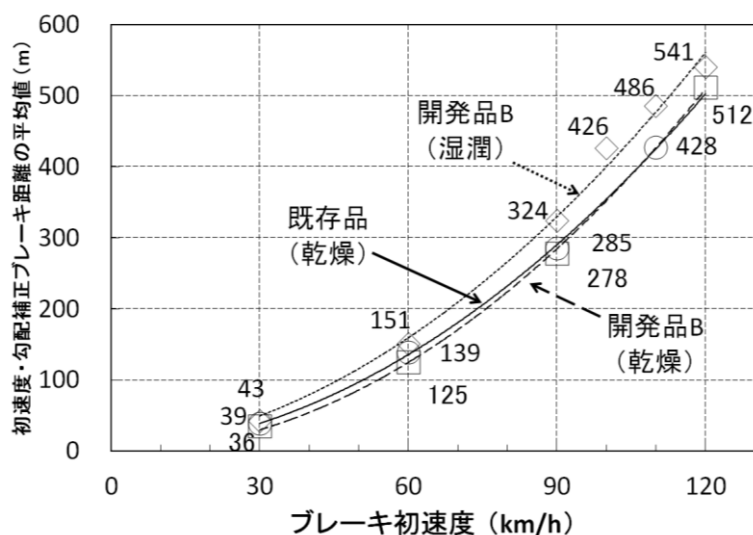


図 4.2 ブレーキ距離の結果

5. 現在の取り組み

現在、開発した弾性構造型合成制輪子(開発品B)を1編成中の半分の台車に搭載した長期耐久試験を実施しており、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る。走行距離約4万kmにおける摩耗形状から8万km後を推定²⁾した比較を図5.1に示す。開発品の凹摩耗が抑制されているのが分かる。

今後は、1編成の全ての台車に開発品を搭載した長期耐久試験を実施する予定である(平成25年1月中旬～)。

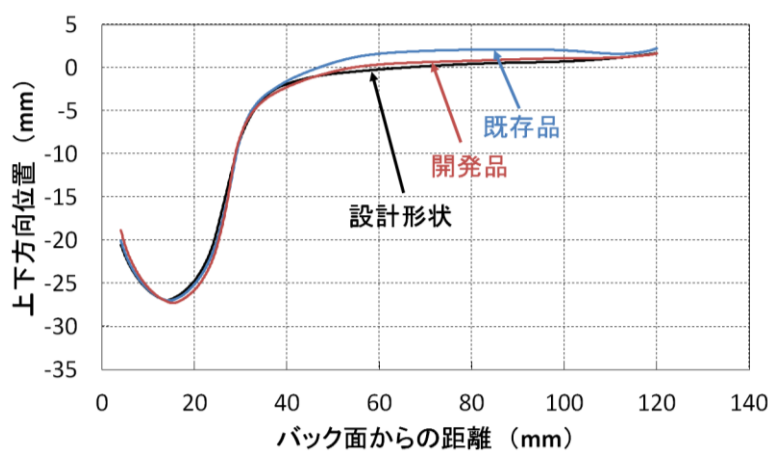


図 5.1 摩耗形状比較(走行距離8万km相当)

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
- 2)芳賀昭弘：鉄道車両用車輪の摩耗傾向と寿命予測、日本機械学会誌、vol.113、No.1094、2010.1