

踏面制輪子の湿潤条件下における基礎的性能の調査

○ [機] 池内 健義 [機] 半田 和行 (鉄道総研)

Experimental investigation of the fundamental performance of tread brake blocks in wet conditions

○Katsuyoshi Ikeuchi, Kazuyuki Handa, (Railway Technical Research Institute)

Tread brake is generated braking power from friction force by brake block and wheel tread. To determine the performance of tread brakes in wet conditions, some experimental conditions were defined in Japan Industrial Standards (JISs) and old Japanese National Railways Standards (JRSs). In the present experiment, resin brake blocks, which are compliant with the old JRSs, of different shapes than the designed shape were investigated experimentally at a brake testing unit to determine their performances as friction coefficient in wet and variable velocity conditions. Consequently, the brake blocks performance was decreased by heavy wet condition and braking force and shapes was improved brake performance.

キーワード: 制輪子, 踏面ブレーキ, 台上ブレーキ試験, 摩擦係数, 湿潤条件

Key Words: Brake block, Tread brake system, Brake testing unit, Friction coefficient, Wet condition

1. はじめに

踏面ブレーキは制輪子を車輪に押し当て生じる摩擦力によりブレーキ力を得る摩擦ブレーキの方式であり、その安全性は制輪子の摩擦特性により担保されている。例えば合成制輪子については、JISE4309¹⁾ (以下「JIS 規格」) にて試験方法とそこで満たすべき摩擦係数が規定されている。試験方法には一般的な乾燥状態で実施する乾燥試験のほか、雨天などの湿潤条件を模擬する散水試験が定められているが、散水試験により得られる摩擦係数については規定されておらず、湿潤条件下での踏面ブレーキの性能は必ずしも明らかではない。本報告では、湿潤条件が踏面ブレーキに与える影響の基礎的データ取得を目的として、旧 JRS 規格に準じた合成制輪子に対し台上ブレーキ試験を実施した。試験では様々な条件下での性能を確認するため、異なる散水条件での試験を実施しブレーキ性能を確認したほか、押付力や摩擦材形状の差異などが与える影響を調査した。

なお関連する手法として、当該規格以前に旧国鉄で用いられていた 1958 年制定の JRS12202-1F-15AR0A²⁾ (以下「旧 JRS 規格」) には湿潤条件下での摩擦係数が規定されているほか、当該規格には JIS 規格にない 35km/h での湿潤繰り返し試験が要求されている。また、特に耐雪性能を考慮した制輪子の規格化を目的として、1973 年に制定された JRS12202 -7B-15BR6A³⁾ に 4 種と規定されている制輪子は 1000ml/min での湿潤試験が規定されている。以上の規格を参考にした、湿潤条件下での台上ブレーキ性能試験が過去にも実施されている。例えば、鉄道事業者が制輪子メーカ

に対し制輪子の性能を確認する際の散水試験時に、概ね散水量を 200ml/min と規定しているほか⁴⁾、湿潤状態を模擬するための台上試験において基準となる散水量を 200ml/min とし、散水量の依存性を確認するため最大 4000ml/min までの散水試験を実施した試験がある⁵⁾。低温・降雪などのより過酷な条件を模擬するために車輪の冷却や最大 1000ml/min の散水を行い、ブレーキ試験を実施した研究も報告されている⁶⁾。

2. 試験条件

2.1 試験機の構成

試験は鉄道総研所有の踏面ブレーキ試験機で実施した。試験機の構成を図 1 に示す。車輪はモータに直接接続されている主軸に取り付けられ、モータから直接回転力を得る。主軸の慣性モーメントは 2008kgm² (車重約 60t 相当) とした。制輪子は片押しとし、霧吹きタイプの散水ノズルを散水位置が制輪子進入端から踏面円周方向に約 300mm の踏面中央に、踏面から約 50mm の高さになるよう設置した。散水した水は常温の水道水である。

車輪は JIS E5402 に規格されている SSW-QS で車輪径 860mm の B 型車輪である。車輪には温度測定用の熱電対を 3 か所埋め込んだ。制輪子は旧 JRS 規格に準ずる合成制輪子を使用した。また、制輪子形状が耐水性能に及ぼす影響を調査するため、設計形状の制輪子を試験的に改変した同種制輪子を試作し、試験に供した。これらの制輪子のリム側から深さ約 35mm の穴を制輪子の上下セグメントに 1 か

所ずつあげ、温度測定用の熱電対を埋め込んだ。

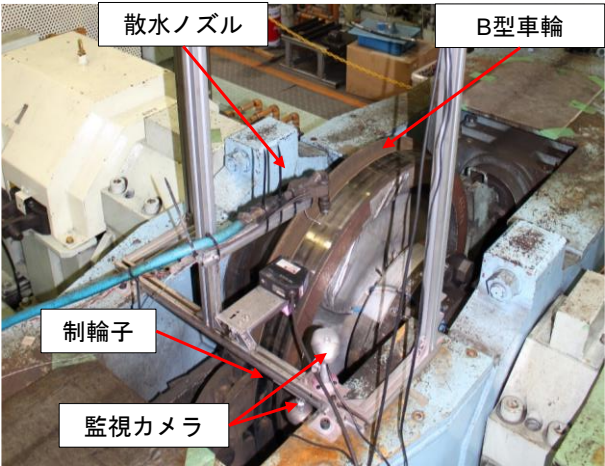


図 1 路面ブレーキ試験機の仮設状況

2.2 実験条件および評価手法

実験条件は表 1 のとおりである。形状ごとに以下の試験条件のもと試験を実施した。

すり合わせは摩擦面の車輪路面との接触部分を面積比 70%以上出すための初期すり合わせと、散水量条件の変更前に制輪子摩擦面や車輪路面の状態を乾燥試験後と同等の状態に戻すための中間すり合わせを行った。初期すり合わせのブレーキ回数は制輪子によって異なり、中間すり合わせは 10 回とした。本試験は初期すり合わせ終了後に乾燥試験、散水試験、散水連続試験の順で実施した。散水量 600ml/min については、JIS 規格や旧 JRS 規格に規定されている 200ml/min と 1000ml/min の中間値であることから両者と比較するため実施した。また連続散水試験は旧 JRS 規格のみに規定されている試験で、3 回目以降に停止距離が 1000m を超えた場合試験を中断した。

試験中には車輪の速度、制輪子押付力、ブレーキトルクを計測し、摩擦係数や停止距離として集約した。温度は車輪および制輪子の熱電対温度を計測した。試験中は監視カメラからの映像を通じて、散水状態の把握や水の挙動などを監視し記録した。試験後、制輪子の重量測定や摩擦面の写真撮影、車輪路面や制輪子摩擦面の粗さ測定を実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 乾燥・散水試験におけるブレーキ性能の変化

乾燥・散水試験により得られた距離平均摩擦係数および停止距離を図 2・図 3 に示す。速度に関係なく、散水量の増加とともに摩擦係数は低下し、停止距離は延伸した。特に 1000ml/min での距離平均摩擦係数はすべて 0.1 を下回

り、停止距離は 1000m 以上であった。

次に湿潤条件下における性能低下度合いを示す、常温乾燥条件と湿潤条件との相対誤差である摩擦係数ダウン率を図 4 に示す。ダウン率は、乾燥試験と散水試験の摩擦係数の差を乾燥試験の摩擦係数の結果で除したもので、散水量 200ml/min では高速になるほどダウン率が低かったものの、散水量の増加とともに速度に関係なく最大 90% 程度のダウン率となった。

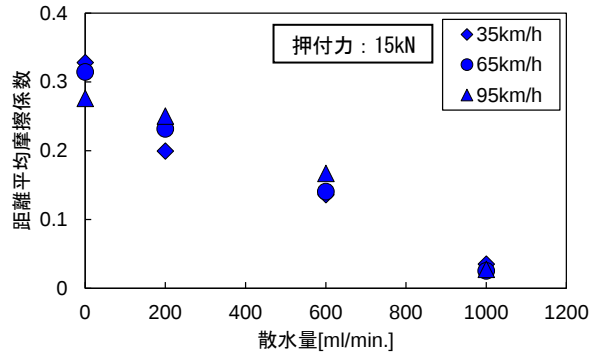


図 2 散水試験における距離平均摩擦係数の比較

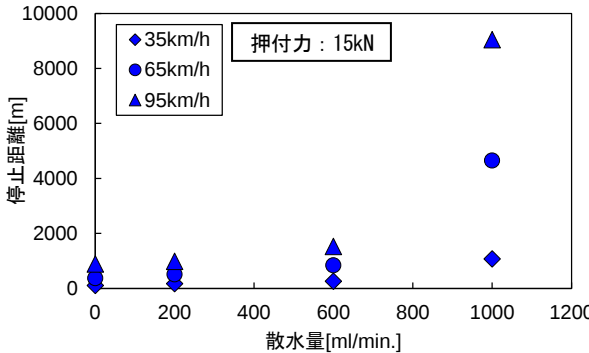


図 3 散水試験における停止距離の比較

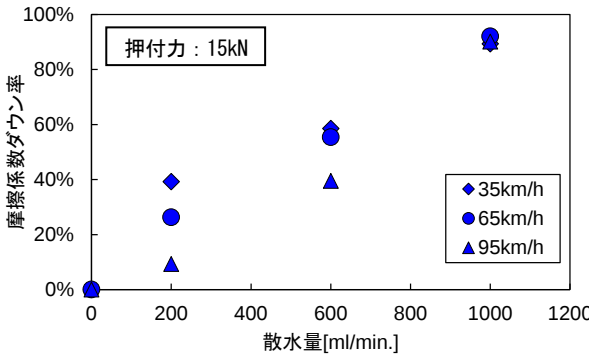


図 4 散水試験における摩擦係数ダウン率の比較

表 1 実験条件

	乾燥試験	散水試験	連続散水試験	すり合わせ
散水	なし	200・600・1000ml/min		なし
ブレーキ初速	35・65・95km/h	35・65・95km/h	35km/h	65km/h
制輪子押付力	15kN	15kN (一部 35kN)	15kN	15kN
回数	各 3 回	各 3 回	最大 20 回	実施場面により異なる

3.2 連続散水試験におけるブレーキ性能の推移

連続散水試験について、図5に距離平均摩擦係数の連続試験時における推移を示す。横軸はすべてブレーキ回数を示す。条件によらず、連続して試験をすると摩擦係数が低下し、停止距離が延伸した。散水 200ml では 10 回以内に、600ml/min では試験開始時から摩擦係数 0.1 を下回り、20 回目には 0.05 以下となった。なお散水 1000ml/min での連続試験は、散水試験実施時に停止距離が大幅に延伸してしまうことが分かったため実施していない。

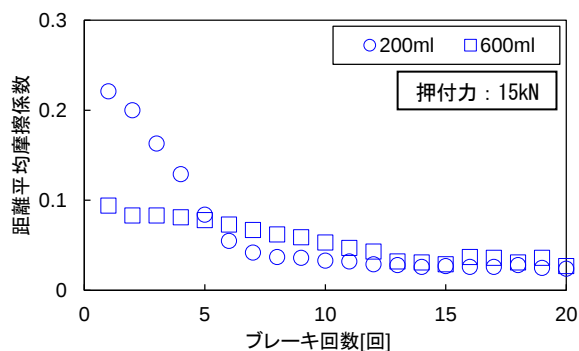


図5 連続散水試験における距離平均摩擦係数の推移

3.3 異なる押付力および制輪子形状に関する調査

前節までの試験で見られたブレーキ性能の低下減少に着目し、押付力の向上と摩擦材を試験的に加工した同種の制輪子を使用した試験を実施した。

図6および図7は散水試験において 1000ml/min 散水時に押付力を 35kN としたときの距離平均摩擦係数と停止距離の比較である。速度は顕著に摩擦係数が低下した 65km/h と 95km/h で実施した。押付力をほぼ倍にすることで、摩擦係数は 0.1 以上、停止距離は 1000m 弱となり、乾燥状態での試験で得られた結果ほどではないものの、湿潤条件下でのブレーキ性能の低下をある程度抑制する効果があることが確認できた。

次に、試験に使用した制輪子（以下「元形状」と同種の制輪子の形状を、水の侵入を防ぐことを意図した形状に加工した制輪子を同じ条件で散水試験および散水連続試験に供した（以下、「試作形状」と称する）。図8は散水試験におけるブレーキ初速 65km/h での距離平均摩擦係数の比較、図9は連続散水試験における 200ml/min 散水時の距離平均摩擦係数の推移である。試作形状であっても散水量の増加とともに摩擦係数が低下するものの、元形状と比較して摩擦係数の低下や停止距離の延伸が比較的小さく、1000ml/min の散水でも摩擦係数が 0.2 程度となり、200ml/min 散水試験時の結果と同程度を維持していた。また、図9に示す連続散水試験の結果では、元形状が5回目以降に摩擦係数 0.1 を下回ったのに対し、試作形状はブレーキ回数に伴い摩擦係数が低下したものの最後まで 0.1 を下回らなかったことから、形状の変更がブレーキ性能の低下をある程度抑制していると考えられる。

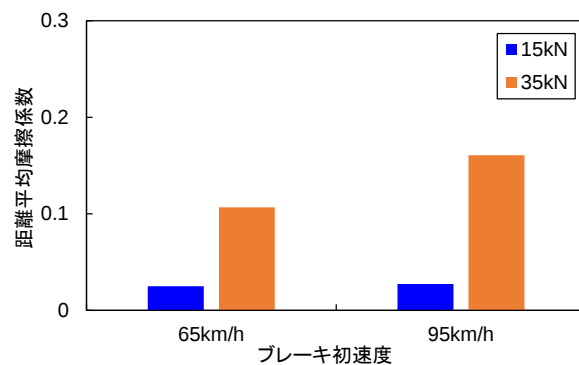


図6 異なる押付力で実施した散水試験における距離平均摩擦係数の比較（散水 1000ml/min）

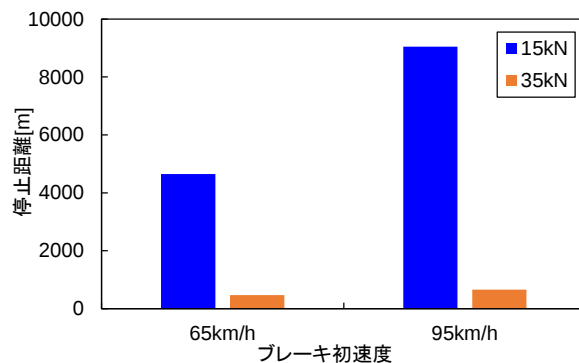


図7 異なる押付力で実施した散水試験における停止距離の比較（散水 1000ml/min）

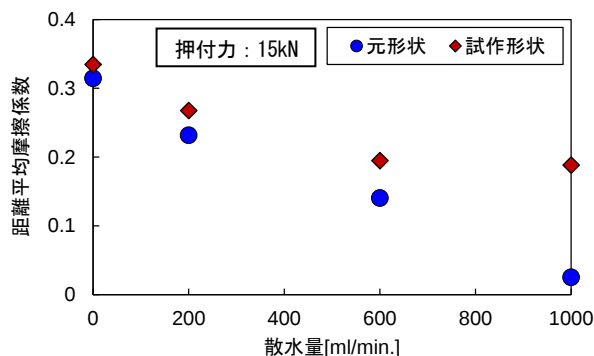


図8 散水試験における距離平均摩擦係数の比較（ブレーキ初速 65km/h）

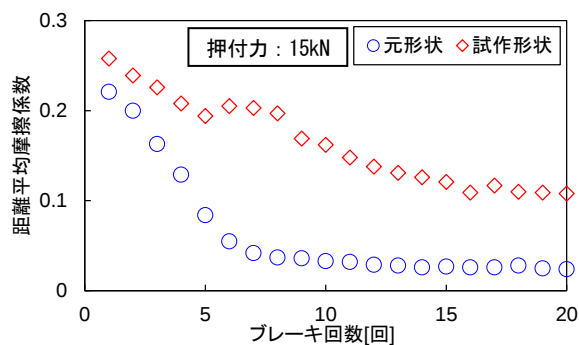


図9 連続散水試験における距離平均摩擦係数の比較（散水量 200ml/min・ブレーキ初速 35km/h）

3.4 制輪子の表面状態の調査

前節までの試験で見られた摩擦係数の変化について、制輪子の摩擦面状態が影響する可能性を検証した。図 10 に 200ml/min 連続散水試験後における元形状と試作形状の摩擦面を示す。最下段には参考としてすり合わせ直後の元形状摩擦面も示した。すり合わせ直後は細かな凹凸のある光沢のある摩擦面であるが、連続散水試験後はどれも平滑な光沢面（以下「光沢部」と呼ぶ）と赤褐色の面（以下「赤褐色部」）に分かれていて、試作形状の赤褐色部は元形状に比べて幅が広いことが確認できた。これらの異なる特徴を有する制輪子摩擦面の粗さを測定したところ、赤褐色部が Ra4.0～9.4 であったのに対し、光沢部は Ra1.0～2.9 であり、赤褐色部の粗さが大きかった。なお赤褐色部は車輪踏面粗さ（おおむね Ra1.5 以下）より高い値だった。また、携帯型蛍光 X 線分析装置により赤褐色部と光沢部の成分を分析したが、ケイ素（Si）が若干赤褐色部から多めに検出される程度であり、鉄（Fe）など他の元素に大差はなかった。



図 10 200ml/min 連続散水試験後の制輪子摩擦面

以上の結果より、散水試験および連続散水試験において、押付力を増大させた試験や試作形状を有する制輪子を使用した試験において、ブレーキ性能の低下がある程度抑制できることについて考察する。まず、押付力の増大や、制輪子形状を変化により、従来試験していた条件よりも接触が良好になり、散水により車輪踏面に形成された水膜を除去するか、車輪・制輪子間への水分の侵入を抑制する効果があったものと考えられる。また形状変更した制輪子は摩擦面に粗い赤褐色部が残留することで、連続散水試験においてブレーキ力が元形状に比べ低下しにくかったと推定される。

ただ、停止した車輪に対する制輪子の摩擦面接触状態を

感圧紙により調べた結果からでは、形状による明確な差異は現れなかった。また、形状変更による赤褐色部残留など摩擦面状態が変化したことや、回転している車輪に対し摩擦熱により温度が上がった制輪子との接触状態など接触が良好になったことなどの具体的なメカニズムについては、今後の検討を要する。

4. まとめ

湿潤条件下で生じるブレーキ性能の違いについて、旧 JRS 規格に準ずる合成制輪子を使用し各種湿潤条件下で試験を行った。その結果以下のような傾向がみられた。

- ・散水試験においては、湿潤条件下でのブレーキ性能の低下（停止距離の延伸・平均摩擦係数の低下）が確認できた。これらは散水量の増大により傾向が顕著となった。連続散水試験では、複数回実施することで散水試験時よりも低い摩擦係数となることが確認できた。

- ・これらのブレーキ性能の低下は、制輪子押付力の増大や、摩擦材形状を加工した制輪子を使用することである程度抑制できることが確認できた。

- ・連続散水試験後の制輪子摩擦面はすり合わせ後の表面とは異なり、粗さの小さい光沢部と粗さの大きい赤褐色部で構成されていることが分かった。粗さの大きい赤褐色部は元形状よりも試作形状の制輪子の摩擦面に多く見られた。

- ・ブレーキ性能の低下が抑制できた理由として、押付力の増大や形状変更に伴う車輪と制輪子の接触状態の変化によると考えられるが、具体的なメカニズムについてはさらなる検討を要する。

参考文献

- 1) JIS E4309：鉄道車両用合成制輪子—品質要求, 2001.
- 2) JRS 12202-1F-15AR0A：車両用合成制輪子（1種・2種・3種）, 1958.
- 3) JRS 12202-7B-15BR6A, 車両用合成制輪子（4種・5種）, 1973.
- 4) 篠田勝：湿潤時（散水）における制輪子摩擦係数の変化, 電気車の科学, 45-9, pp. 27-29, 1992.
- 5) 熊谷則道, 保田秀行, 仲野政志：湿潤状態における車輪踏面粗さと踏面制輪子摩擦係数の変化についての一考察, 鉄道総研報告, 6-7, pp. 11-18, 1992.
- 6) 嵯峨信一, 半田和行, 道辻洋平：冬期走行環境を模擬した制輪子のブレーキ性能評価手法, 鉄道総研報告, 33-3, pp. 17-22, 2019.