

乾き際のブレーキ材に生じる摩擦力上昇のメカニズム

Mechanism of increase in friction force appearing in brake materials under semi-dry conditions

横国大(学)※中島 宏太, NISB(非)栗本 健太, (非)棚町 脩平, (非)砂川 祐介, (非)山口 慶之, 横国大(正)中野 健
Kota Nakajima¹, Kenta Kurimoto², Shuhei Tanamachi², Yusuke Sunagawa², Yoshiyuki Yamaguchi², Ken Nakano¹

¹Yokohama National University, ²Nisshinbo Brake Inc.

1. 緒言

近年、電気自動車やハイブリッドカーの台頭によってエンジンがモータに置き換わり、自動車の静音化が急速に進んでいる。それに伴い、ブレーキノイズが相対的に際立つようになり、技術的な解決が望まれている。ブレーキノイズの原因は摩擦により発生する機械的な振動なので、ブレーキの静音化に向けては、振動の境界条件となる摩擦力の把握が必要不可欠である[1]。特に、ブレーキの摩擦力に及ぼす水の影響は技術的にも重要で、水の乾き際に摩擦力が上昇し、ブレーキノイズが発生することが知られている[2]。そこで、本研究では、摩擦力に及ぼす摩耗粉の影響に着目して、実用材料を用いた摩擦試験において、水が介在する摩擦面のその場観察を行った。

2. 方法

摩擦試験機(Bruker 社製 UMT TriboLab)に専用の治具を準備して、ピン・オン・ディスク型の摩擦試験を行った。実用ブレーキパッドから削り出したピン(直径:10 mm)と、実用ブレーキディスクと同等な鋳鉄製のディスク(直径:110 mm)を試験片として用いた。摩擦面をその場観察するために、ディスク試験片のトラック上(半径:37.5 mm)にサファイアガラス製のガラス窓(直径:14 mm)を二箇所設けた。

摩擦面のその場観察に先立ち、ピン試験片とディスク試験片の擦合試験を行った。擦合試験では、ガラス窓の代わりに同形状の鋳鉄製の部品を設置した後、垂直荷重 $W = 33.7 \text{ N}$ 、駆動速度 $V = 4 \text{ m/s}$ (回転速度:1020 rpm)の条件下で1時間行った。次に、ディスク試験片にガラス窓を設置した後、その場観察試験を行った。その場観察試験では、ピン試験片直下に水を $20 \mu\text{l}$ 滴下した後、垂直荷重 $W = 33.7 \text{ N}$ 、駆動速度 $V = 29.5 \text{ mm/s}$ (回転速度:7.5 rpm)の条件下で300秒間行った。ディスク試験片を挟んでピン試験片の反対側に設置したビデオスコープ(Olympus 社製 IPLEX RX)を用いて摩擦面の動画を撮影し、それと同時に垂直荷重 W と摩擦力 F の時間変化を計測した。

3. 結果および考察

摩擦力 F を垂直荷重 W で除して求めた摩擦係数 μ の時間変化を図1に示す。摩擦係数のスパイクを無視した摩擦係数(白点)に注目すると、摺動直後の値 $\mu = 0.45$ (A)から僅かに低下して、 $\mu = 0.44$ (B)で落ち着いた後、徐々に増加して、最大値 $\mu = 0.50$ (C)に達した。その後は減少に転じて、緩やかに $\mu = 0.25$ (F)に収束した。なお、ピン試験片がガラス窓に差し掛かるタイミング(周期:約4秒)で、摩擦係数のスパイクが周期的に現れた。これは、ピンと鋳鉄の摩擦係数よりもピンとガラスの摩擦係数が高いことにより生じたスパイクである。同時に撮影した摩擦面のスナップショットを図2に示す。AとBは「ウェット状態」にあり、摩擦面の流入側と内部に「摩耗粉を含有する懸濁水」の存在が認められる。摩擦係数が最大値を示したCは「セミドライ状態」にあり、懸濁水が白い横筋となって残存している。その後、Dは「ドライ状態」にあり、摩擦面が全体的に黒色に変化している。つまり、水が介在するブレーキ材の摩擦力は乾き際に上昇し、それは摩擦面に存在する懸濁水の状態と強く関係している。

次に、摩擦面に存在する懸濁水に着目して、スナップショットを二値化処理し、黒色部の面積 A_B と見掛けの接触面積 A_0 の比(黒色面積比 ϕ)を算出した。その時間変化を図3左に示す。黒色面積比は、摺動直後の値 $\phi = 0.47$ (A)から0.57 (C)まで緩やかに増加し、0.74 (D)まで急増したのち収束した。まず、青で示した「ウェット状態」では、 μ と ϕ は正の相関を示した(図3右)。黒色部を懸濁水と捉え、摩擦面に流入する懸濁水が摩擦力を増加させたと理解できる。続いて「セミドライ状態」では、摩擦面のスナップショット(図2(C))を改めて注意深く見ると、摩擦面の流入側と流出側に懸濁水が偏析している。摩擦面の周囲に形成されるメニスカスが乾燥するプロセスの中で、摩耗粉が摩擦面内部に引き込まれ、摩擦力を増加させたと予想される。一方、赤で示した「ドライ状態」では、 μ と ϕ は負の相関を示し、ウェット状態とは異なる相関を示した(図3右)。ウェット状態とドライ状態では「黒色」が示すものが異なり、二値化処理だけでは摩擦面の状態を把握するのは困難と考えられる。例えば、ウェット状態で偏在した懸濁水がドライ状態で摩耗粉となり、微細な摩耗粉がピンの表面に付着したことで、摩擦面全体が黒く変化したと考えられる。

4. 結言

本研究では、摩擦試験機のディスクにガラス窓を設けて、摩擦力の計測と摩擦面の観察を同時に行った。水の乾き際に生じる

ブレーキ材の摩擦力上昇を理解するためには、「摩耗粉を含有する懸濁水の状態の把握」が鍵になることがわかった。

文献

- [1] 中野 健, 田所 千治, 前川 寛, 角 直広, すべり摩擦に現れる振動の対策, トライボロジスト, **61**, 416 (2016).
- [2] 後藤 良次 他 8 名, 摩擦面観察装置の応用, 自動車技術会論文集, **46**, 819 (2015).

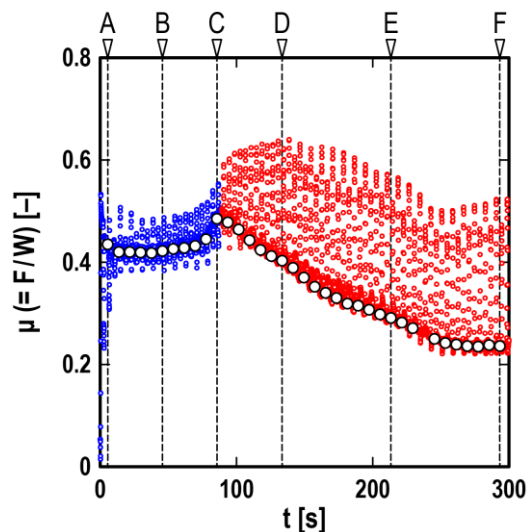


図1 摩擦係数 μ の時間変化(青：ウェット状態，赤：ドライ状態)

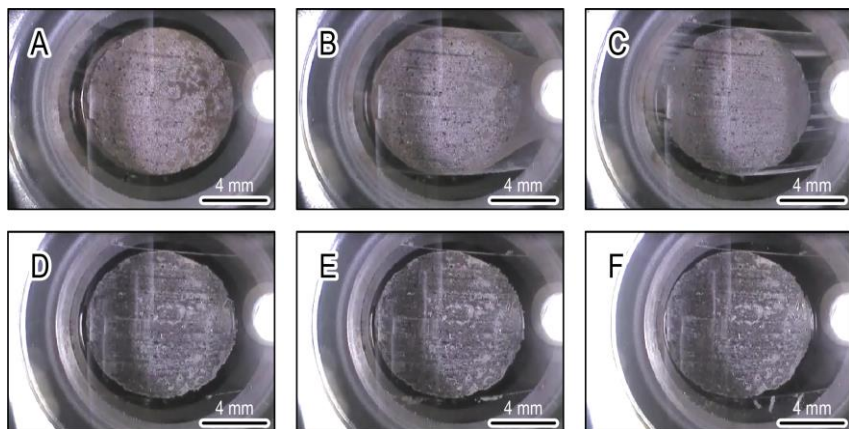


図2 摩擦面のスナップショット(中央に固定したピンに対するディスクの進行方向：右から左)

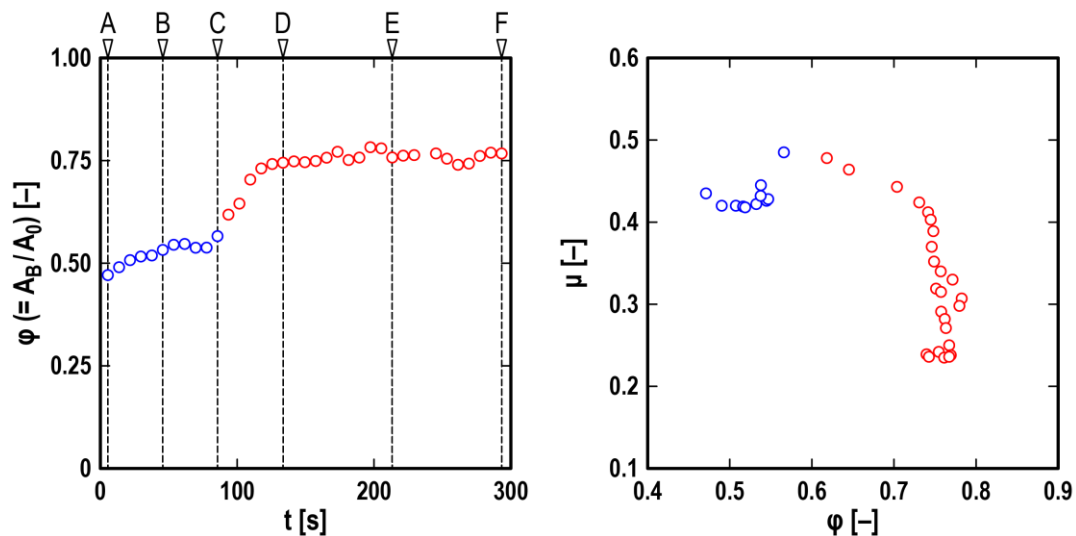


図3 左：黒色面積比 ϕ の時間変化，右：摩擦係数 μ と黒色面積比 ϕ の関係(青：ウェット状態，赤：ドライ状態)