

ディスクブレーキの摩擦面に微小水分が介在する時の摩擦係数の変動解析 - 摩耗粉に着目した摩擦係数変動要因の推察 -

松森唯益¹⁾, 後藤良次¹⁾, 杉浦昇¹⁾, 阿部健司²⁾, 大澤貴弘²⁾, 秋田陽介²⁾, 若松智之³⁾, 岡山勝弥³⁾, 小坂享子³⁾

1) (株)豊田中央研究所, 2) トヨタ自動車(株), 3) (株)アドヴィックス

概要

ブレーキの摩擦係数(μ)の変動抑制は、効きの安定化、鳴きや異音の低減、それに伴う乗員の安心感向上に加えて、回生と摩擦の協調制動のためにも重要な技術課題である。我々はこれまでに、μ変動が発生しやすい低温環境条件において、従来研究では重要視されなかったディスクロータとパッドの摩擦界面に介在する摩耗粉の影響を解明してきた(関連文献1-3)。

本論文では、微小水分が摩擦界面に存在し、摩耗粉と混合することで引き起こされるμ変動メカニズムの仮説を提案し、実験と数値シミュレーションにより検証した。本研究により仮説が検証されたことで、μ変動の対策指針が得られ、摩耗粉の凝集性を制御する手法を製品開発へフィードバックできた。



μ変動メカニズムの仮説

低温環境下においてディスクロータとパッドの摩擦界面(右図)に微小水分が介在する場合のμ変動メカニズム

Step 1: 摩耗粉が空気中の微量の水分と結合し、液架橋力により凝集体を形成

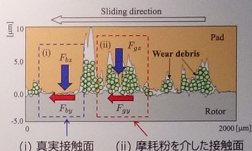
Step 2: 凝集体が摩擦界面の微小隙間で圧密化し、摩擦力(F_{gy})が上昇

$$\mu_{\text{total}} = \frac{F_{by}}{F_{bz}} + \frac{F_{gy}}{F_{gz}}$$

$$F_{by}, F_{bz}: \text{摩擦面(i)の方向}$$

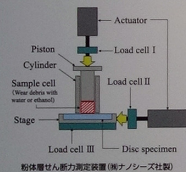
$$F_{gy}, F_{gz}: \text{摩擦面(ii)の方向}$$

$$y: \text{y軸方向, } z: \text{z軸方向}$$



液架橋力が摩耗粉のμ変動に与える影響

表面張力の異なる液体(水とエタノール)を混ぜさせた摩耗粉のμを計測
液架橋力は表面張力に比例
= 水と摩耗粉の混合物は摩耗粉間にはたらく液架橋力が大きい



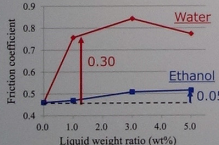
2粒子間の液架橋力 F_c

$$F_c = 2\pi\gamma R_1 R_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

R_1, R_2 : 液架橋の曲率半径

γ : 表面張力
(水:0.30, エタノール:0.05)

粉体懸せん断力測定装置(新ノジス社製)



混合する水分量を変えて(0.5-0.5wt%)計測したμ
(5.0wt%における摩耗粉と水の混合物はPendular状態と判定)

水と摩耗粉の混合物で高いμ上昇を計測

⇒ 液架橋力が水と摩耗粉の混合物のμ上昇に寄与したと推察

水分付与時の粉体挙動

摩耗粉を介した接触面における液架橋力を考慮した粉体挙動を数値シミュレーション

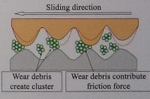
個別要素法によるモデル化

1. 摩耗粉: 2種類の粒子を準備(平均粒子径 $r_1 = 5\mu\text{m}$, $r_2 = 20\mu\text{m}$)
2. 摩耗面: 周期的、規則的な凹凸面
3. 液架橋力: 接触する粒子間に付着力を付与(Pendular状態)

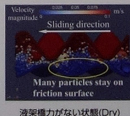
$$m_i \ddot{u}_i = \sum_{j=1}^N \mathbf{F}_{ij} + \sum_{j=1}^N \mathbf{F}_{c,ij} + \mathbf{F}_{g,i}$$

$$I_i \dot{\omega}_i = \sum_{j=1}^N \mathbf{T}_{ij}$$

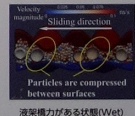
i : 粒子の番号, N : 粒子数, m : 質量,
 u : 変位ベクトル, ω : 角速度ベクトル,
 T : 慣性モーメント, T : モーメントベクトル



摩耗粉を介した接触面の摩耗粉の挙動(仮説)

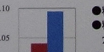


液架橋力が無い状態(Dry)



液架橋力がある状態(Wet)

$\Delta\mu_{\text{wet}}$



- 粒子が液架橋力により粒子群を形成
 - 粒子群が摩擦面間の間隔が狭くなる領域に介在して圧密化され、大きな摩擦力が発生
- ⇒ 液架橋力がμ変動に寄与

※ $\Delta\mu_{\text{wet}}$ は粒子径 r_1 のみを使ったDryの μ_{wet} との差

【関連文献】 (1) 秋田陽介, 後藤良次, 若松智之: ブレーキ摩擦特性の観察, 自技会秋季大会講演前副要, No.142-13, p.1-5 (2013).

(2) 後藤良次ほか: 摩擦面観察装置の応用—ブレーキの水濡れ時に生じる摩擦係数変動の要因解析—, 自技会論文集, Vol.46, No.4, p.819-824 (2015).

(3) 小坂享子ほか: 微量水分が介在するブレーキ摩擦変動の考察, 自技会秋季大会講演前副要, No.114-14, p.1-6 (2014).