

液体潤滑下におけるゴムブロックの高摩擦化に関する研究

Study on High Friction of Rubber Blocks under Liquid Lubrication

東北大（正）*山口 健 （学）石塔 新太 （非）西本 葵 （正）西 駿明

Takeshi Yamaguchi, Arata Ishizako, Aoi Nishimoto, Toshiaki Nishi

Tohoku University

1. 緒言

ゴムなどのソフトマテリアルは乾燥摩擦条件では高摩擦を示すため、靴底や自動車用タイヤなどに用いられている。しかし、液体中では接触界面に流体潤滑膜を形成しやすく、無潤滑下と比べて低摩擦となりやすい。そのため、液体中でも高摩擦を示すゴムトレッドの開発が望まれている。従来靴底やタイヤトレッドの高摩擦化手法としては、流体を接触界面から排除することを目的としてトレッド溝の深さや向きの最適化が行われてきているが、液体中で無潤滑下の摩擦係数に匹敵する高摩擦を示すようなゴムトレッドの開発には至っていない。近年、グリセリンのような粘性流体中におけるゴムブロックと平滑な鋼板あるいはガラスとの摩擦において、無潤滑下よりも高い摩擦係数が発現する事例が報告されている¹⁾。これは、摩擦に伴うゴムブロックの変形によって、接触界面に形成された拡大隙間で生じる流体中の負圧に起因する。本報告では、ゴムブロックの液体中でのすべり摩擦における流体負圧の発生による高摩擦発現メカニズムと、それを利用したゴムブロックの高摩擦設計に関する研究事例について紹介する。

2. 液体潤滑下における流体負圧の発生によるゴムブロックの高摩擦化

Ishizako らは、グリセリン中における矩形ゴムトレッドブロックと平滑なガラス板間のすべり摩擦において、トレッドブロックの端面角部半径が小さい場合や^{2,3)} (Fig. 1), トレッドブロックの長手方向の向き⁴⁾がすべり方向と平行 ($\theta=0^\circ$) な場合に、1.0 を超える高い摩擦係数を示すことを明らかにしている。この摩擦係数の値は、同ゴムトレッドブロックの無潤滑下における摩擦係数と同等あるいはそれよりも高い。このような高摩擦が発現する条件では、トレッドブロックの後端部は摩擦トルクに伴う変形によりガラス面から剥離しており、その結果、相手面との間に拡大隙間が形成されること、そして、拡大隙間の形成により流体に負圧が発生することが実験的に明らかにされている^{3,4)} (Fig. 2)。また、この流体負圧の発生により垂直荷重が増加し流体膜厚が減少することで、ゴムトレッドブロック前端的粗さ突起と相手面との直接接触が生じることや流体の粘性抵抗が増加することが、グリセリン中での高摩擦発現メカニズムとして提案されている (Fig. 3)⁴⁾。

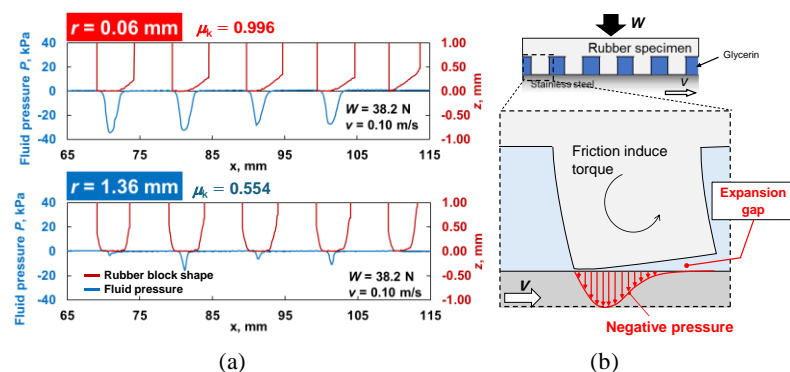


Fig. 2 (a) Experimental results of cross-sectional shape of rubber blocks and fluid pressure distribution between rubber tread block with different end-face corner radius ($r = 0.06$ mm and 1.36 mm) and mating surface under glycerol lubrication³⁾ and (b) schematic diagram of negative fluid pressure distribution at an expansion gap

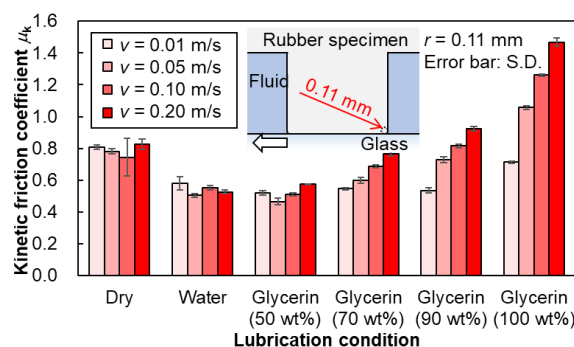


Fig. 1 Friction coefficient of rubber tread block with end-face corner radius of 0.11 mm under various lubrication conditions¹⁾

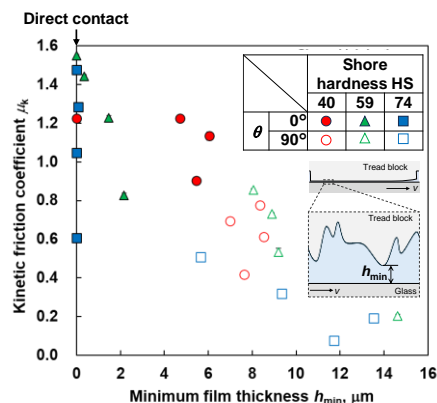


Fig. 3 Relation between minimum fluid film thickness and friction coefficient⁴⁾

3. 液体潤滑下におけるゴムブロックの摩擦に及ぼす溝形状の影響

前述の通り、すべり摩擦中のゴムブロックの変形によって相手面との間に拡大隙間が形成され、その結果発生する流体負圧が液体中における高摩擦を生む。よって、すべり方向に隙間が拡大する溝形状をトレッドブロックにあらかじめ設けることにより、液体中での高摩擦発現が期待できる。石塚ら⁵⁾は、断面内の隙間が拡大するように傾斜溝を設けたトレッドゴム試験片と矩形溝を有する試験片 (Fig. 4(a)) を作製し、グリセリン潤滑下における摩擦係数を測定している。Fig. 4(b)より、低すべり速度条件では両者の摩擦係数には差が見られないが、すべり速度の増加とともに傾斜溝を設けたトレッドゴム試験片がより大きな摩擦係数を示し、同設計が高摩擦発現に有効であることが実証されている。なお、すべり速度による摩擦係数の増加はすべり速度の増加に伴う流体負圧の増加に起因する (Fig. 4(c))。

西本ら⁶⁾は、すべり方向に対して水平面内の溝幅が一定、縮小、拡大する溝形状を有するゴムブロック (Fig. 5(a)) を作製し、溝部中央に生じるすべり方向の流体圧力分布 (Fig. 5(b)) と摩擦力 (Fig. 5(c)) を比較している。Fig. 5(b)に示されるように、溝中央部における流体圧力は拡大溝において負の値を示し、縮小溝では正の値を示す。また、Fig. 5(c)より、拡大溝を有するゴムブロックは縮小溝、一定幅溝に比べて高い摩擦係数を示すことが分かる。以上のことから、水平面内における溝形状によって流体圧力の制御することで、流体中におけるゴムブロックの摩擦制御も可能である。

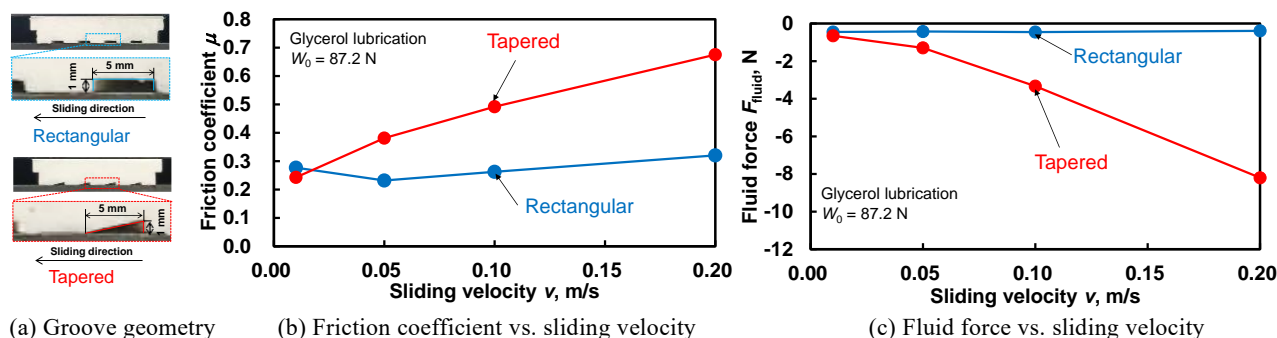


Fig. 4 Effect of groove shape in the cross-sectional plane on the friction coefficient and fluid force⁵⁾

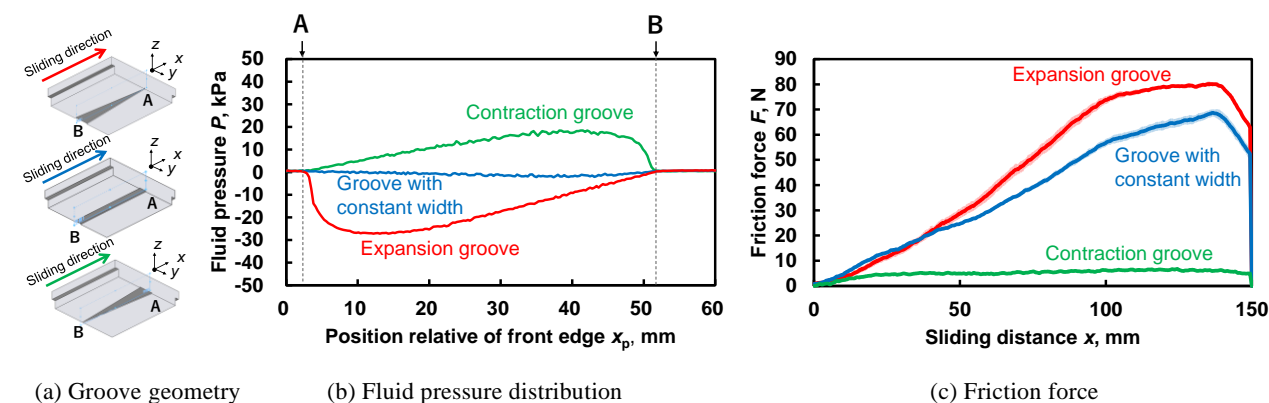


Fig. 5 Effect of groove shape in the horizontal plane on the fluid pressure distribution and friction force⁶⁾

4. 結言

流体負圧に起因するゴムトレッドブロックの高摩擦発現メカニズムと、それを応用した高摩擦ゴムブロックの設計に関する研究事例を紹介した。今後、本研究の知見に基づき、高摩擦発現のためのゴムブロックの形状や材料特性が解明され、耐滑靴底やウェットグリップ性に優れたタイヤトレッドの開発につながることを期待する。

文献

- 1) A. Ishizako, M. Tomosada, T. Yamaguchi, Impact of the end corner face radius of rubber block on friction under dry and lubricated conditions, Tribol. Int., 174 (2022) 107705.
- 2) A. Ishizako, H. Matsumoto, T. Yamaguchi, Effect of end-face corner radius of a rubber block on the friction coefficient and fluid-free gap under glycerol lubrication, Tribol. Int., 184 (2023) 108473.
- 3) A. Ishizako, T. Nishi, High Friction of Rubber Caused by Negative Fluid Pressure under Glycerol Lubrication, T. Yamaguchi, Tribol. Int., 192 (2024) 109213.
- 4) A. Ishizako, T. Nishi, T. Yamaguchi, Effect of orientation of rubber tread block and hardness on the friction coefficient under glycerol lubrication and its underlying mechanisms Tribol. Int., (2024) 109904.
- 5) 石塚・西本・西・山口：拡大隙間に発生する流体負圧を利用した高摩擦ゴムトレッドに関する研究，日本設計工学会 2024 年度秋季研究発表講演会 (2024)。
- 6) 西本・石塚・西・山口：潤滑下におけるゴムブロックの摩擦に及ぼす溝形状の影響，日本設計工学会 2024 年度秋季研究発表講演会 (2024)。