

## グリセリン潤滑下におけるゴムブロックの高摩擦発現に及ぼす流体圧力の影響

### Effect of Fluid Pressure on the High Friction of Rubber Block under Glycerin Lubrication

東北大（学）\*石塙 新太（非）松本 英（正）山口 健

Arata Ishizako, Hide Matsumoto, Takeshi Yamaguchi

Tohoku University

#### 1. 緒言

労働死傷災害における転倒の要因は4割がすべりに起因することが報告されている<sup>1)</sup>。すべりによる転倒事故は濡れた床面で生じることが多く、耐滑性に優れた靴底の開発が求められている。耐滑性に関する課題の1つとして、靴底ゴムの摩耗による耐滑性の低下が指摘されている。Ishizakoら<sup>2)</sup>は、潤滑液中において端面角部半径が異なるゴムブロックとガラス板のすべり摩擦試験を行い、端面角部半径が小さいほど潤滑液中での摩擦係数が増加することを明らかにした。また接触面観察より、ゴムブロックとガラスの接触界面に液体の介在しない空隙が形成されており、この空隙の面積が端面角部半径の減少に伴い増加することを明らかにした。これは、ゴムブロックとガラス板の接触界面で負の流体圧力が発生することでキャビテーションが発生し、負圧による吸着力が高摩擦化に寄与したことを見唆していると考えられる。しかし、実際に接触界面の流体に負圧が発生していたかどうかは未確認である。そこで本研究では、端面角部半径が異なるゴムブロックとステンレス平板の潤滑液中における摩擦において、接触界面で発生する流体圧力を圧力センサを用いて測定し、ゴムブロックの端面角部半径の違いが流体圧力および摩擦特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

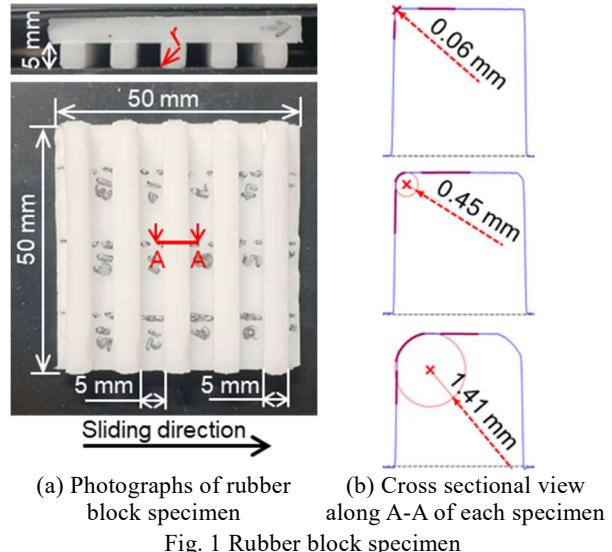
#### 2. 実験方法

本研究で用いたゴムブロック試験片の外観および各試験片のブロックの断面形状の例をFig. 1に示す。試験片はショア硬度HS=43(A/15)のシリコーンゴムからなり、高さ5mm、幅5mm、奥行50mmの矩形ブロックが5列並行に並んだ構造を有している。トレッドブロック端面角部の曲率半径の測定には3次元形状測定機(VR-5200, KEYENCE)を用いており、計15点の平均値を平均端面角部半径 $r$ とした。ゴムブロックの端面角部を#1000の研磨紙で一様に研磨することで、 $r = 0.10\text{ mm}, 0.46\text{ mm}, 1.37\text{ mm}$ の計3種類のゴムブロック試験片を作製した。なお、すべり摩擦試験におけるすべり方向は、トレッドブロックの長手方向と直行する方向とした。

すべり摩擦試験の実験条件をTable 1に、摩擦試験機の概略図をFig. 2に示す。本研究では、電解研磨されたステンレス板( $R_a = 0.01\text{ }\mu\text{m}$ )にゴムブロック試験片を一定荷重(38.2N)で接触させ、グリセリン中ですべり摩擦試験を行った。ステンレス板の中央には圧電型圧力センサ(113B28, 東陽テクニカ)を取り付けた。圧力センサの頭上には $\phi 3\text{ mm}$ の穴が空いており、その上をゴムブロックが通過した時に穴に入りする流体の圧力変化を測定した。グリセリンの液膜の厚さ $t$ は、ゴムブロックが完全に浸漬し接触界面に外部から空気が流入しない $t=7\text{ mm}$ の条件と、外部から空気が流入しやすい $t=1\text{ mm}$ の2条件とした。各試行は5回ずつ行い、すべり試験終了直前の0.1秒間の摩擦力の平均値を平均摩擦力 $F$ とした。

#### 3. 実験結果

ゴムブロックの端面角部半径と摩擦力の関係をFig. 3に示す。いずれの潤滑条件においても端面角部半径の減少に伴い摩擦力が増加する傾向を示した。しかし、 $r = 1.37\text{ mm}$ の



(a) Photographs of rubber block specimen      (b) Cross sectional view along A-A of each specimen  
Fig. 1 Rubber block specimen

Table 1 Experimental conditions

Average end-face corner radius of rubber block $r$ , mm	0.10, 0.46, 1.37
Counter material	Stainless steel
Normal load $W$ , N	38.2
Sliding velocity $v$ , m/s	0.01, 0.05, 0.1, 0.2
Lubricant	Glycerin
Thickness of lubricant $t$ , mm	7, 1
Viscosity of lubricant $\eta$ , mPa·s	1174 ( $\pm 228$ )
Number of trials $N$ , times	5
Measurement range of pressure sensor, kPa	0.07–345
Measurement frequency, Hz	1000

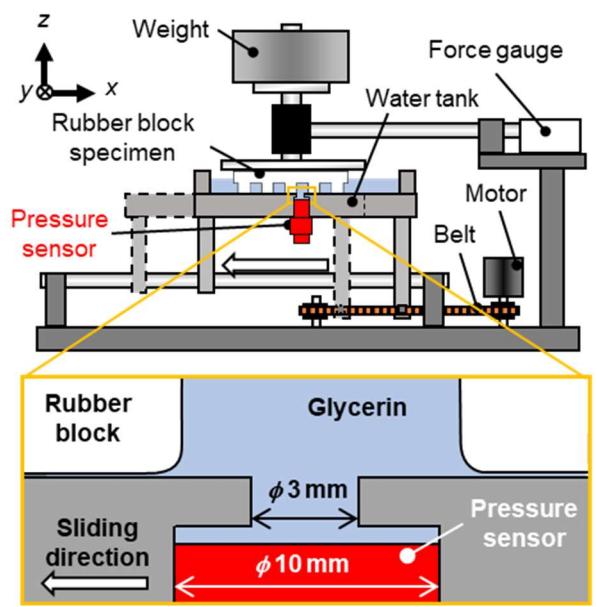
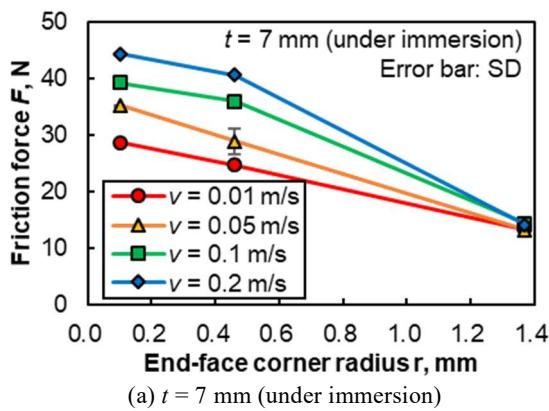
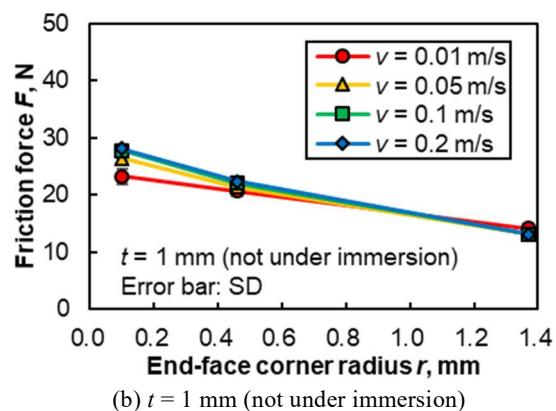


Fig. 2 Schematic of experimental device



(a)  $t = 7 \text{ mm}$  (under immersion)



(b)  $t = 1 \text{ mm}$  (not under immersion)

Fig. 3 Effect of end-face corner radius on friction coefficient of each lubrication condition

摩擦力は潤滑条件によらず同等の値を示した一方で、 $r = 0.10 \text{ mm}$ ,  $0.46 \text{ mm}$  では  $t = 7 \text{ mm}$  の条件の方が  $t = 1 \text{ mm}$  の条件よりも摩擦力が高い傾向を示した。すべり速度が大きいほどこの差は顕著に表れ、 $v = 0.2 \text{ m/s}$ において  $t = 7 \text{ mm}$  の条件は  $t = 1 \text{ mm}$  の条件より摩擦力が  $16\text{-}18 \text{ N}$  高い値を示した。

各潤滑条件におけるすべり方向に対する流体圧力の分布の一例を Fig. 4 に示す。 $r = 0.10 \text{ mm}$ ,  $v = 0.2 \text{ m/s}$  の条件において、 $t = 7 \text{ mm}$  の条件ではゴムブロックとステンレス板の接触界面に最大-23 kPa の負圧が発生している一方で、 $t = 1 \text{ mm}$  の条件では負圧の発生は見られなかった。 $t = 7 \text{ mm}$  の条件で発生する負圧は、端面角部半径が小さいほど、またすべり速度が大きいほど強くなる傾向を示した。

#### 4. 考察

Figure 5 に各潤滑条件におけるゴムブロックと相手面の接触の模式図を示す。ゴムブロックの端面角部半径が小さいほどゴムブロック前端部に応力が集中するため、ゴムブロック前端側の液膜の厚さ  $h_{in}$  は端面角部半径が小さいほど薄くなると考えられる。そのため潤滑条件によらず端面角部半径の減少に伴い摩擦力が増加したと考えられる (Fig. 3)。また  $t = 7 \text{ mm}$  の条件のように外部からの空気の流入がない場合、ゴムブロック接触界面において前方から後方にかけて拡がり隙間になることで負の流体圧力が発生し、これが吸着力として荷重に付加されるため、負圧が発生しない  $t = 1 \text{ mm}$  の条件よりも高摩擦を示したと考えられる (Fig. 3(a))。Figure 6 に、測定された負圧が奥行方向に一様に分布していると仮定して負圧を積分することで算出した吸着力  $F_a$  と、 $t = 7 \text{ mm}$  条件と  $t = 1 \text{ mm}$  条件の摩擦力の差  $F_d$  の関係を示す。摩擦力差と吸着力には強い正の相関がみられた。摩擦力差が吸着力の約 3 倍で増加する傾向を示したことについては、圧力センサの頭上の穴で圧力損失が発生したことで流体圧力が低く測定された可能性と、吸着力の付加により  $h_{in}$  が薄くなりせん断応力が増加したことで吸着力以上に摩擦力が増加した可能性が考えられる。

#### 5. 結言

- (1)  $t = 7 \text{ mm}$  のグリセリン中においてゴムブロックとステンレス板の接触界面に負圧が発生し、 $t = 1 \text{ mm}$  の条件と比較して高い摩擦力が示すことが確認された。
- (2)  $t = 7 \text{ mm}$  条件と  $t = 1 \text{ mm}$  条件の摩擦力差は流体圧力から算出された吸着力の増加とともに増加した。

#### 参考文献

- 1) 大西明宏, 人間工学, 56 (2020) 101.
- 2) 石塙新太, 松本英, 山口健, トライボロジー会議 2022 秋 福井, E12

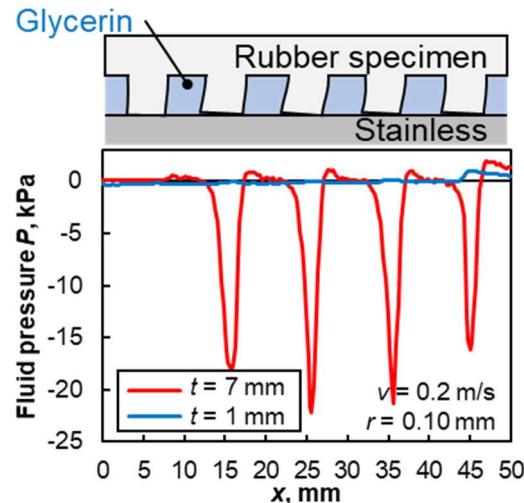
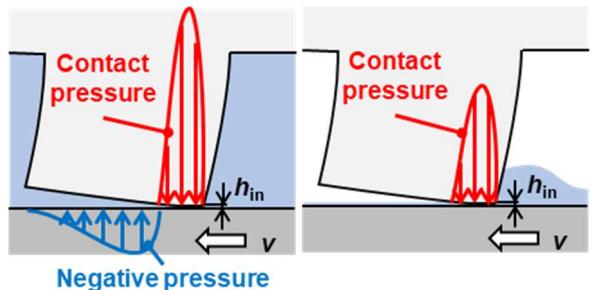


Fig. 4 Fluid pressure distribution under each lubrication condition



(a) Immersion condition      (b) Not immersion condition  
Fig. 5 Schematic of rubber block-stainless contact under each lubrication condition

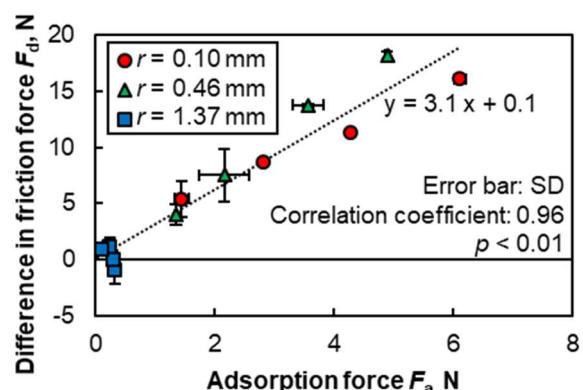


Fig. 6 Relationship between adsorption force and difference in friction force among different lubrication conditions