

## 端面角部半径が異なるゴムブロックの無潤滑下及び潤滑下における摩擦特性

Frictional properties of rubber blocks with varying end-face corner radii under dry and lubricated conditions

東北大（学）\*石塚 新太 東北大（非）友定雅貴 東北大（正）山口 健 東北大（正）堀切川一男  
Arata Ishizako, Masaki Tomosada, Takeshi Yamaguchi, Kazuo Hokkirigawa  
Tohoku University

### 1. 緒言

労働死傷災害の主要な原因の1つである転倒事故の4割以上は、すべりに起因するものである<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。一般に端面角部が直角なトレッドブロックを有する靴底意匠は耐滑性に優れることが知られている。一方、使用に伴う靴底ゴムの摩耗による耐滑性の低下も指摘されている。これまで、摩耗によるゴムブロック端部の形状変化の摩擦特性への影響について複数の報告<sup>2)3)</sup>があるが、実験条件によって結果は異なり、ゴムブロックの端部形状が摩擦特性に与える影響は限定的にしか解明できていないのが現状である。そこで本研究では、角部の曲率半径が異なるゴムブロック試験片を作製し、無潤滑下および潤滑下におけるすべり摩擦試験を行って、ゴムブロックの端面角部の曲率半径が摩擦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をFig. 1に示す。試験片はショア硬度HS = 40 (A/15) のシリコーンゴムからなり、高さ5 mm、長さ5 mm、幅50 mmの矩形トレッドブロックが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は $r = 0.83, 0.11$  mmの2種類とした。なお、すべり摩擦試験においてすべり方向は、試験片トレッドブロックの長手方向と直行する方向とした。

直動すべり摩擦試験機の概略図をFig. 2に示す。本研究では、ガラス板(BK7,  $Ra < 0.01 \mu\text{m}$ )にゴムブロック試験片を一定荷重で接触させ、無潤滑下および水あるいはグリセリン潤滑下ですべり摩擦試験を行った。潤滑剤の量は、ゴムブロックの凸部が完全に浸漬するよう、深さ7 mmとした。実験条件をTable 1に示す。すべり終了直前の0.1秒間の平均値を動摩擦力 $F_k$ とし、これを垂直荷重で除することで動摩擦係数 $\mu_k$ を算出した。また、Fig. 3に示すように、2色のLEDライトを用いて接触面観察を行った。赤色のLEDライトはガラスと潤滑剤の間で全反射する角度でガラスに入射させることでガラスとゴムの接触部を明部として可視化し、青色のLEDライトはガラスに垂直に光を入射させることでガラスとゴムの間の空隙領域を明部として可視化する。

### 3. 実験結果

$r = 0.83$  mm,  $r = 0.11$  mmのゴムブロック試験片の、各潤滑条件における動摩擦係数をFig. 4に示す。同図(a)より、 $r = 0.83$  mmの試験片では無潤滑下で最も動摩擦係数が高く、潤滑下では潤滑剤の粘度が高いほど動摩擦係数が減少する傾向を示す。また水潤滑下ではすべり速度の増加に伴い動摩擦係数が減少する傾向を示し、グリセリン潤滑下では増加する傾向を示す。一方で同図(b)より、 $r = 0.11$  mmの試験片の動摩擦係数は無潤滑下では $r = 0.83$  mmに比べて26~39%低いが、水潤滑下ではすべり速度によらず動摩擦係数が0.5程度の値を維持し、 $r = 0.83$  mmに比べて10~90%高い動摩擦係数を示す。また、グリセリン潤滑下ではすべり速度の増加に伴い動摩擦係数が増加し、 $v = 0.05$  m/s以上では無潤滑下よりも高い1.0以上の動摩擦係数を示す。

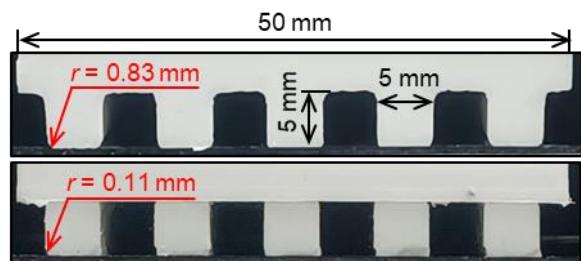


Fig. 1 Cross sectional view of rubber block specimens

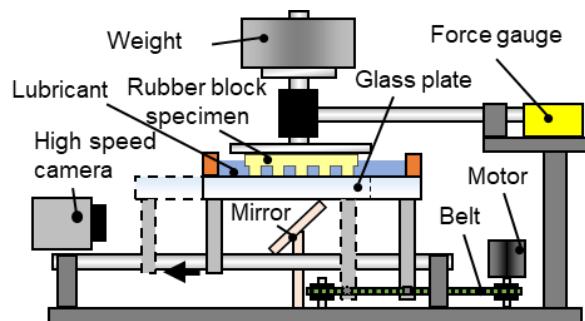


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup

Table 1 Experimental condition

End-face corner radius of rubber block $r$ , mm	0.83, 0.11
Counter material	Glass plate
Normal load $W$ , N	38.2
Sliding velocity $v$ , m/s	0.01, 0.05, 0.1, 0.2
Lubrication conditions	Dry Water Glycerin
Viscosity of lubricant $\eta$ , mPa · s	— 1.011 1198
Number of trials $N$ , times	5

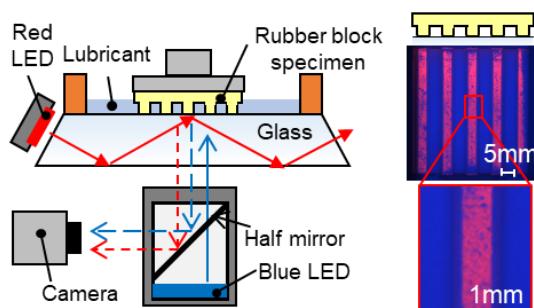
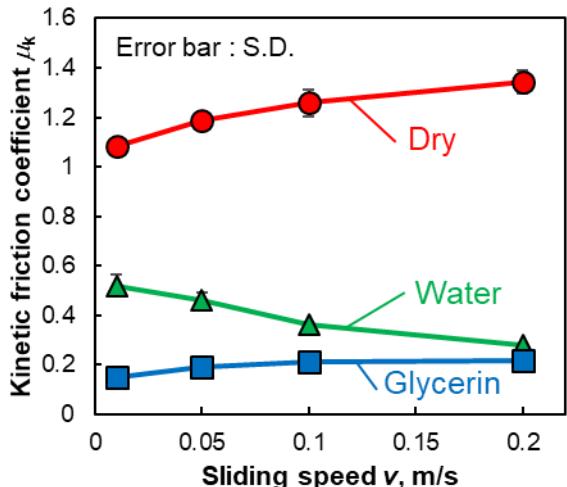
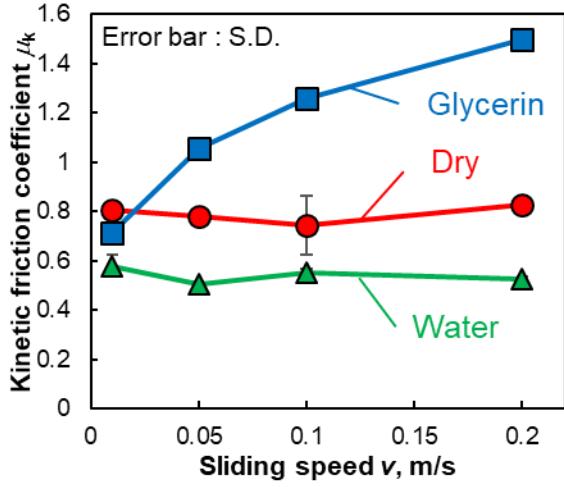


Fig. 3 Experimental setup for contact area observation and observation images



(a)  $r = 0.83$  mm



(b)  $r = 0.11$  mm

Fig. 4 Relationship between end-face corner radius and friction coefficient under each lubricated condition

#### 4. 考察

無潤滑下および水潤滑下における、単一のゴムブロック凸部とガラス板の接触面を赤色LEDで観察した画像をFig. 5およびFig. 6に示す。Figure 5より、無潤滑下では $r$ によらず摩擦力によるゴムブロックの変形により後端が浮き上がり、ゴムブロックの前端部分で接触していることが分かる。一方、Fig. 6より、水潤滑下ではゴムブロックの変形は $r$ によらず無潤滑下に比べて小さく、ゴムブロックの前端から中央付近まで接触していることが分かる。また水潤滑下において、摩擦係数の小さい $r=0.83$  mmの試験片の方が、接触幅が広いことが分かる。このことから、 $r=0.83$  mmに比べて $r=0.11$  mmでは接触界面のせん断強度が大きいため、接触幅の広い $r=0.83$  mmよりも高い摩擦係数を示したことが示唆される。

グリセリン潤滑下における、単一のゴムブロック凸部とガラス板の接触面を2色のLEDライトで観察した画像をFig. 7に示す。同図より、 $r=0.11$  mmの試験片でゴムブロックの中央に液体が介在しない空隙を意味する青い線状の領域が確認された。この空隙の発生メカニズムをFig. 8に示す。まず、ゴムブロックが摩擦力によりたわむことで後端が浮き上がる。このとき、 $r=0.11$  mmの試験片ではゴムブロック前端からの液体の流入が抑制される。そして、ゴムブロック後端側の液体が隙間に流入すると考えられるが、液体の濡れ速度がガラスの移動速度よりも遅い場合、ゴムブロック後端側の液体がすべり方向前方に浸入できないため、濡れ速度の遅い高粘度なグリセリン潤滑下かつガラスの移動速度が速い条件下において空隙が発生すると考えられる。この空隙は大気圧よりも低圧であると考えられるため、吸引力が作用したことで接触面にかかる垂直荷重が増加し、摩擦力が増加したと考えられる。

#### 5. 結言

- (1) 無潤滑下では、 $r=0.11$  mmのゴムブロック試験片は $r=0.83$  mmに比べて26~39%低い動摩擦係数を示す。
- (2) 水潤滑下では、 $r=0.11$  mmのゴムブロック試験片は $r=0.83$  mmに比べて10~90%高い動摩擦係数を示す。
- (3) グリセリン潤滑下において、 $r=0.83$  mmのゴムブロック試験片ではすべり速度によらず0.2あるいはそれ以下の低い動摩擦係数を示す一方、 $r=0.11$  mmのゴムブロック試験片ではガラスとの接触界面に空隙が発生し、すべり速度0.05 m/s以上で無潤滑下よりも高い1.0以上の動摩擦係数を示す。

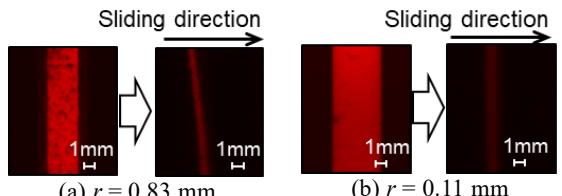


Fig. 5 Red component image of contact surface before and during sliding at 0.2 m/s under dry condition

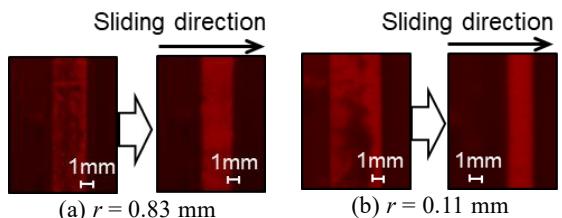


Fig. 6 Red component image of contact surface before and during sliding at 0.2 m/s under water lubrication

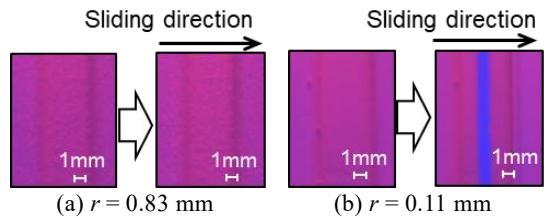


Fig. 7 Blue and red component image of contact surface before and during sliding at 0.2 m/s under glycerin lubrication

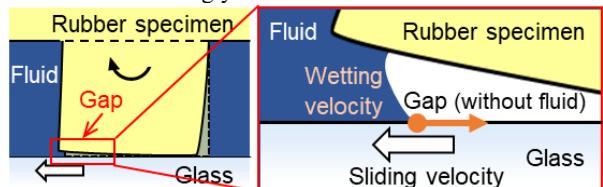


Fig. 8 Schematic diagram of mechanism of generation of gap without fluid between rubber and glass specimens

#### 参考文献

- (1) 大西明宏,人間工学, 56 (2020) pp.101-107.
- (2) 中島幸雄, 高橋文男, 新版ゴム技術の基礎, 75, No.1 (2002), pp.26-31.
- (3) 宋垣錫, 東北大学大学院修士学位論文 (2020).