

アスファルトブロックとすべり摩擦を行うゴムの接触面内におけるひずみ分布に関する研究

Study on In-plane Strain Distribution of Rubber Surface Sliding over Asphalt Block

東北大 (正) *山口 健 (非) 上野 恭平 (非) 織田 次郎 (正) 西 駿明

ブリヂストン (非) 杉澤 進也 (非) 秦 大樹

Takeshi Yamaguchi*, Kyohei Ueno*, Jiro Oda*, Toshiaki Nishi*, Shinya Sugisawa**, Daiki Shin**

*Tohoku University, **Bridgestone Corporation

1. 緒言

自動車タイヤに要求される性能の中でも、様々な路面状況における制動性の向上は重要な課題である。自動車タイヤとアスファルト路面のような粗面との摩擦では、凝着摩擦に加えて相手表面突起によるゴムの粘弾性変形に起因する摩擦（ヒステリシス摩擦）が生じる。粗面との摩擦におけるゴム表面層の変形挙動については、粗面の表面粗さスペクトルに基づいた数値シミュレーションによる解析などが行われているが、ゴム表面層の面内ひずみ分布を実験的に計測した例は見当たらない。

そこで本研究では、アスファルトブロックとすべり摩擦を行うゴムの見かけの接触面内におけるひずみ分布計測を行い、摩擦係数との関係を議論する。具体的には、透明シリコンゴムブロック表面に作成したランダムパターンを裏面から観察し、デジタル画像相関法（DICM）を用いたひずみ計測を行う。これにより、アスファルトブロックとのすべり摩擦における見かけの接触面内におけるゴム表面層のすべり方向のひずみ分布を明らかにする。

2. 方法

2.1 実験方法

本研究で用いたゴム試験片の概略図を Fig. 1 に示す。ゴム試験片はシリコンゴム（SYLGARD 184, Dow Inc., USA）に黒色食用色素を 1% 混合した黒色層と、透明シリコンゴムの二層からなり、黒色層と透明層の間に白色の酸化チタン（TITONE A-190, 堺化学工業）粉末が散布されている。ゴム試験片は幅 38 mm、長さ 87 mm、高さ 5.3 mm のプレート状であり、黒色層の厚さは 0.5 mm である。また、アスファルト試験片の外観と表面の高さ分布を Fig. 2 に示す。

摩擦試験装置の概略図を Fig. 3 に示す。ゴム試験片の黒色層面を垂直荷重 58.8 N のもとでアスファルト試験片と接触させ、すべり速度 $v = 0.02$ m/s、すべり距離 $d = 0.02$ m で一方すべり摩擦試験を行い、摩擦力を測定した。シリコンゴム試験片とガラスステージはジグにより固定されており、黒色層面の裏側から鏡を介して、高速度カメラにより観察した。実験は大気中無潤滑下とグリセリン（粘度: 1.1–1.4 Pa·s）潤滑下のそれぞれで 1 回ずつ行った。

2.2 解析方法

観察面内（32 mm × 40 mm）に等間隔に配置されたサブセットの中心点周りの輝度分布の相関をとり、最も相関係数が高い点を変位後のサブセットとして設定することでサブセット中心の変位を求め、ひずみを算出した。サブセット中心位置のすべり方向（ x 方向）への移動量を u とすると、 x 方向の垂直ひずみ ε_x は以下の式で表される。

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1)$$

3. 結果及び考察

摩擦係数の時系列変化と各時刻におけるすべり方向の垂直ひずみ ε_x の面内分布を潤滑条件別にそれぞれ Fig. 4, Fig.

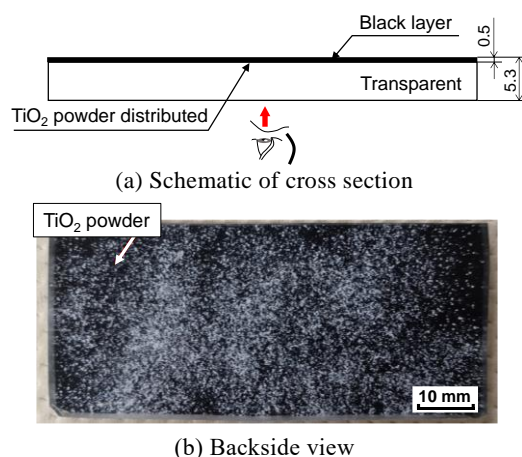


Fig. 1 Silicone rubber plate specimen

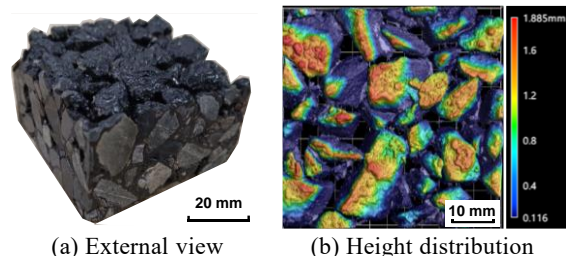


Fig. 2 Asphalt block specimen

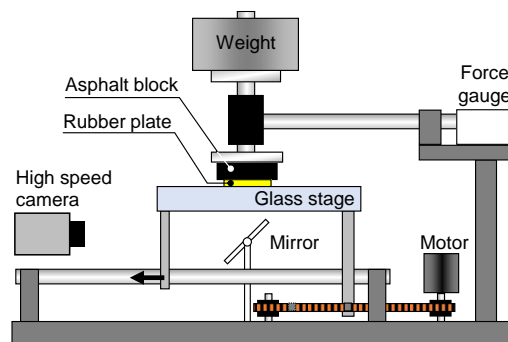


Fig. 3 Schematic of experimental setup

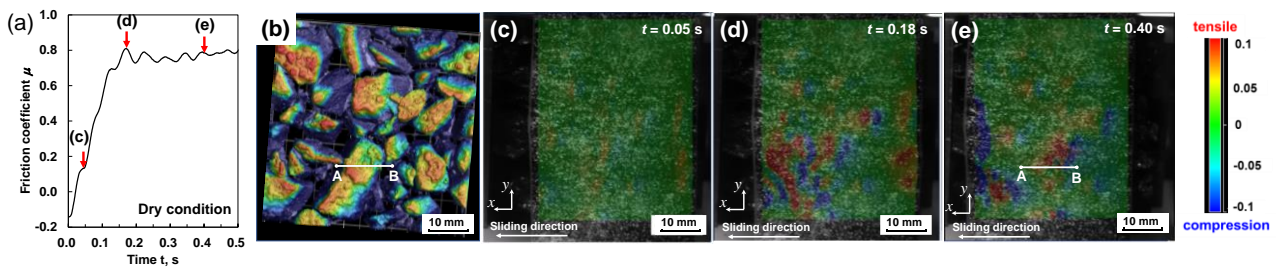


Fig. 4 Temporal change in the friction coefficient (a), height distribution of asphalt block (b), and strain distribution in the sliding direction at $t = 0.05$ s (c), 0.18 s (d), and 0.40 s (e) under dry conditions.

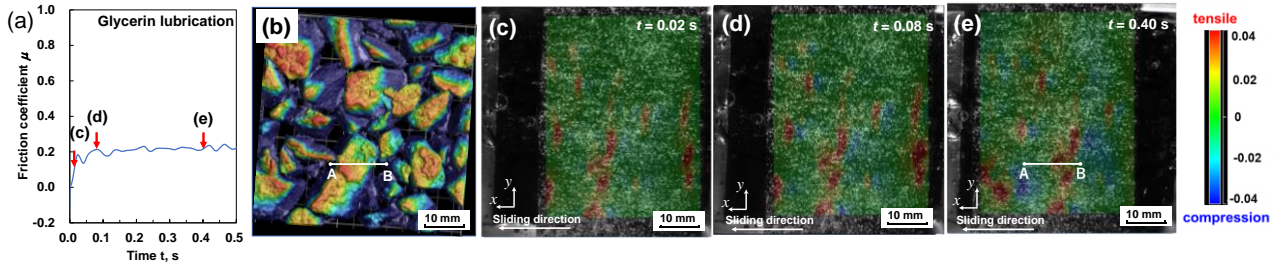


Fig. 5 Temporal change in the friction coefficient (a), height distribution of asphalt block (b), and strain distribution in the sliding direction at $t = 0.02$ s (c), 0.08 s (d), and 0.40 s (e) under glycerin lubrication.

5に示す。Fig. 4(a)より、大気中無潤滑下では $t = 0.18$ sまで摩擦係数は増加し、その後わずかに増加する傾向を示す。またFig. 5(a)より、グリセリン潤滑下では、 $t = 0.08$ sまで摩擦係数は増加するものの、その後0.2付近のほぼ一定の低い値を示す。Fig. 4(c)-(e)及びFig. 5(c)-(e)より、潤滑条件によらず、アスファルト表面突起の分布に応じて引張りひずみと圧縮ひずみがすべり方向に隣接して生じていることが分かる。また、摩擦係数の増加とともに圧縮・引張りひずみの発生領域とその大きさが増加していることも分かる。

Figure 6に、Fig. 4(b), (e), Fig. 5(b), (e)中のA-B線分に対応する ϵ_x の変化を示す。同図より、潤滑条件によらず、アスファルト表面突起のすべり方向前方で圧縮ひずみが、後方で引張りひずみが生じていることが分かる。また、この圧縮ひずみ、引張りひずみともにグリセリン潤滑下の方が低い値を示す。これはアスファルト突起-ゴム間の凝着が抑制されたためであり、凝着摩擦の低減によりゴムのひずみが低減されるといえる。ここで、引張・圧縮ひずみに関わらず、ゴムにはすべり方向とは逆の向きに力が働くため、ゴム弾性率がひずみに対し一定であるとすれば、摩擦力は ϵ_x の総和の増加とともに増加すると考えられる。ゴム試験片のひずみ計測面に生じる ϵ_x の絶対値の合計値の時系列変化をFig. 7に示す。同図より、潤滑条件によらず $|\epsilon_x|$ の合計値は試験開始直後に増加し、その後増加量は減少する傾向を示す。また、グリセリン潤滑下では、試験初期の $|\epsilon_x|$ の合計値は無潤滑条件下とほぼ同じ変化を示すものの、 0.03 s以降においては無潤滑条件よりも小さいことが分かる。これは、先に述べた凝着摩擦の低減によると考えられる。また、これらの $|\epsilon_x|$ の合計値の時系列変化及び潤滑の影響はFig. 4(a)及びFig. 5(a)に示される摩擦係数の時系列変化と類似しており、摩擦係数の変化が接触面内におけるゴムのすべり方向のひずみの変化と関係していることを示唆している。

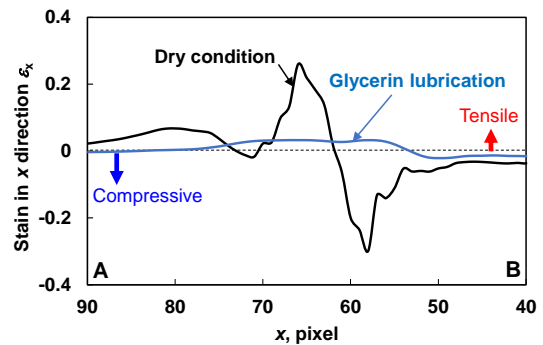


Fig. 6 Strain in the x direction between positions A and B

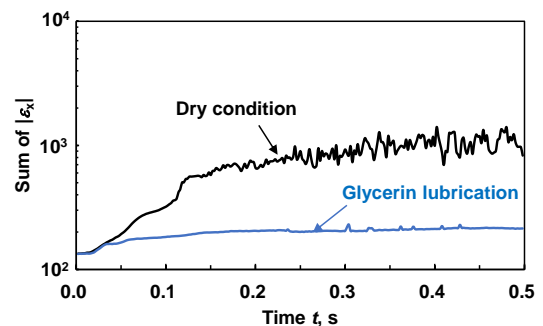


Fig. 7 Temporal change in the sum of strain in the sliding direction

4. 結言

デジタル画像相関法により、アスファルトブロックとすべり摩擦を行うゴムの表面近傍に生じるすべり方向のひずみ分布とその時間変化を明らかにした。その結果、ゴム試験片の面内ひずみの合計値の時系列変化と摩擦係数の時系列変化は潤滑条件によらず類似していることが分かった。

参考文献

- 1) MA Sutton et al. Image and Vision Computing, 1, 3 (1983) 133–139.