

ガラストップフォースプレートを用いたバドミントン動作における摩擦力の解析

Analysis of frictional forces of shoe outsoles in badminton movements

using glass top force plates

ミズノ (正) *笹森 哲弥, (非)渥美 貴弘, (非)古瀬 一輝, (正)岩井 智昭

Tetsuya Sasamori*, Takahiro Atsumi*, Kazuki Furuse* Tomoaki Iwai**

*Mizuno Corporation, **Kanazawa University

1. 緒言

スポーツシューズのアウトソールは競技パフォーマンスや競技者の安全性に直結するため、高いグリップ性能が求められる。グリップ性が求められるシーンの一つに、バドミントンのプレー中におけるランジ動作がある。この動作では、プレイヤーがシャトルを拾いに行くために蹴り出した後ろ足、前方へ投げ出した前足のアウトソールともに滑りが発生することがある。そのため、プレイヤーが自分の意図する動作を滑りなく行うためには、アウトソールに適切な材料物性や意匠構造が求められる。一般的にアウトソールには加硫ゴムが使用されるが、ゴムの摩擦力は面圧や速度条件により変わることが知られており、用途に応じた材料開発や意匠設計を行うにあたっては、製品の実使用条件を把握することが必要である。筆者らはこれまでにガラストップフォースプレートを用いてテニスのスライディング動作におけるアウトソールの摩擦条件の解析を試み²⁾、アウトソール全面にかかる平均面圧は算出可能となった一方で、各意匠における面圧や滑り速度等の詳細な摩擦条件の把握ができていなかった。そこで、今回はアウトソールに半球状の意匠を配置したシューズを用いて、各意匠における面圧と滑り速度の評価を試みた。具体的には、ランジ動作における前足の接地時にどのような摩擦が起きているかを解析することを目的として実験を行った。

2. 実験方法

2.1 Hertz の接触理論を用いた面圧校正

光の全反射法を利用して、ガラストップフォースプレートとゴム間の接触部の観察を行った。接触面観察の概略図を Fig. 1 に示す。ガラストップフォースプレート(多成分フォースプレート 9285BA, Kistler 社製)の側面から白色の LED 光源を照射し、ガラス面の下側から高速度ビデオカメラ(FASTCAM Mini AX100, Photron 社製)で撮影を行った。撮影条件はフレームレートを 500 fps、シャッター速度を 1/1000 s とした。本実験では、Hertz の接触理論を応用して各意匠の面圧を求めるためにアウトソールを曲率半径 13.5 mm の半球状の意匠とし、接触部において効率よく光を反射させるため、白色の加硫ゴムを用いた(Fig. 2)。荷重と接触円直径の関係には Hertz の接触理論を適用すると、以下のような比例関係が得られる。

$$d^3 = K \cdot F \quad (1)$$

ここで d は接触円の直径、 F は荷重、 K は弾性定数および曲率半径に依存する比例定数である。アウトソールから切り出したゴム半球に 12, 45, 120, 193 N の荷重をかけた際の様子を撮影し、撮影した画像は閾値を 145 として二値化を行い、白いピクセルを接触面と定義して(1)式の関係を求めた。

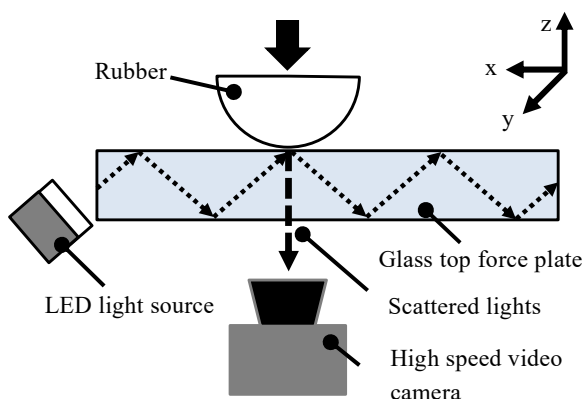


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

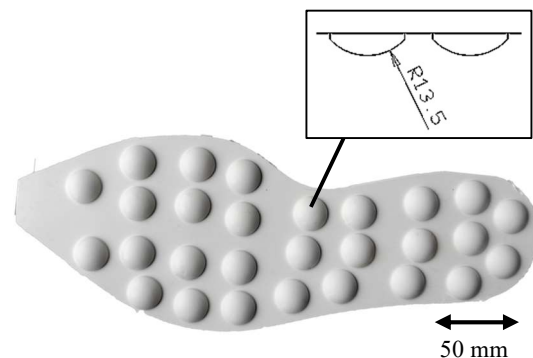


Fig. 2 Shoe outsole

2.2 ランジ動作における接触面観察と床反力計測

2.1 と同様の撮影条件で、Fig. 2 のアウトソールシューズを履いた男性被験者にランジ動作を指示し、ガラスストップフォースプレート上に前足を接地した際の接触面観察を行った。このとき、床反力のサンプリング周波数は 500 Hz とした。撮影した画像は閾値を 145 として二値化を行い、白いピクセルを接触面と定義して動作中の接触面積を算出した。床反力の垂直成分(F_z)を接触面積で除することにより、接地面全体での平均面圧を、垂直方向の合力(F_x と F_y の二乗和の平方根)と接触面積からせん断応力を算出した。また、2.1 の結果を用いて、撮影した画像の接触円の大きさから、各意匠にかかる圧力を算出しヒートマップを作成し、取得した画像間における接触円の重心の移動距離から各意匠の重心の移動速度を算出した。

3. 実験結果と考察

接触円の直径の 3 乗と荷重のプロットを Fig. 3 に示す。本実験においても(1)式が成り立つことがわかる。この結果を基に、接触円直径から接触圧力を算出し、ランジ動作における各意匠の面圧を推定した。

次に、ランジ動作時における平均面圧とせん断応力、接触面積の時間変化を Fig. 4 に示す。 F_z が 30 N を越えた時点を時刻 0 とした。接地直後はかかと部分の小さな接地面に体重がかかるために大きな平均面圧を示した。その後、最大 1.0 MPa のせん断応力がアウトソールに生じた。

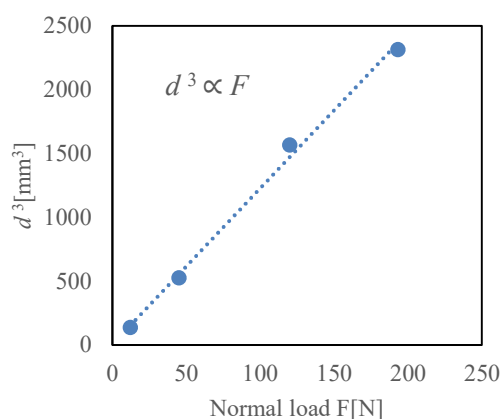


Fig. 3 Relationship between d^3 and normal force

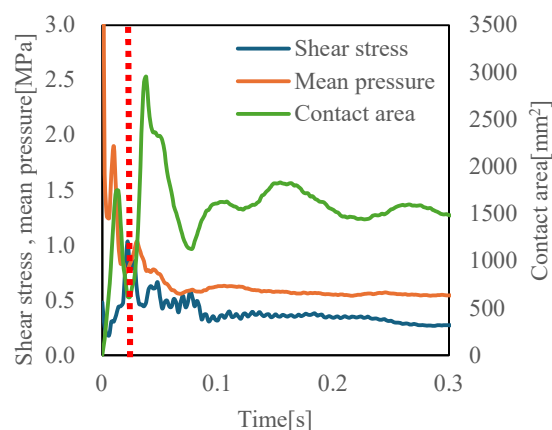


Fig. 4 Shear stress and mean pressure during front lunge

赤点線で示した動作内における最大のせん断応力がかかる時の接触面の元画像、ヒートマップで面圧を表示した画像、重心移動の速度ベクトルを表示した画像を Fig. 5 に示す。赤点線のタイミングではアウトソール全体の平均面圧は約 0.8 MPa しか検出されてないが、実際には 1.0 MPa 以上の面圧が生じるゴムブロックが存在することがわかった。また、この時進行方向に対して接触円の重心移動が発生しており、その速度は 0.4~1.6 m/s 程度であった。

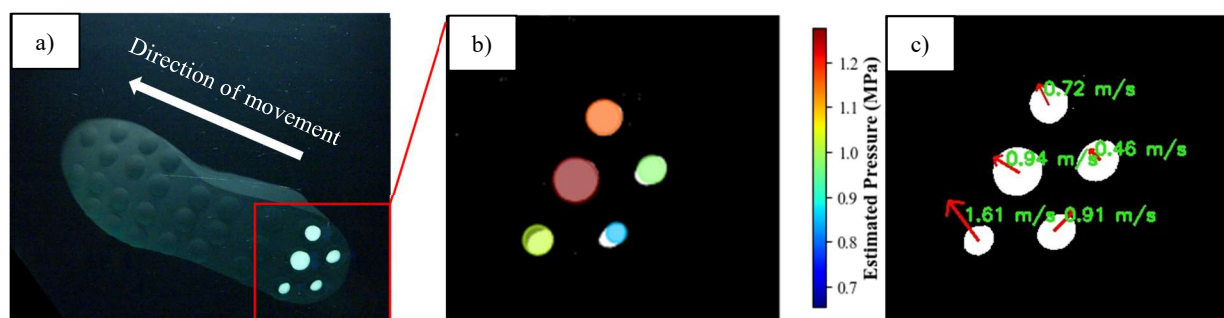


Fig. 5 Analysis at the moment of contact: original contact surface image(a), estimated contact pressure(b), velocity vectors on the contact region(c)

4. 結言

アウトソールに半球状の意匠を配置したシューズを使用し、ガラスストップフォースプレートに全反射法を適用することにより、実動作における各意匠ブロックの面圧の算出が可能となった。一方で、各意匠の重心の移動速度は求めることができたが、その速度が滑り由来か球状意匠の転がり由来かを判別することが今後の課題である。

文献

- 1) Grosch, K. A.: The relation between the friction and viscoelastic properties of rubber, Rubber Chem. Technol., 37, 2, (1964) 386.
- 2) 笹森・田中・岩井：シューズソールの接触面観察による摩耗箇所の評価, トライボロジー会議 2024 秋名護