

**走るときに滑りにくい靴底の模様**  
**The least slippery shoe sole pattern**  
 小市崇央 高尾勇一郎 細川蓮 横山綜馬  
 Takao Koichi, Yuichiro Takao, Ren Hosokawa, Soma Yokoyama

**1. 要旨、概要**

走るときに滑りにくい靴底の模様を模索した。図1の様に2本の直線からなる模様をゴム板に彫り、運動場の砂の上へのせ、折れ角 $\theta$ と静止摩擦係数 $\mu$ の関係について調べた。その結果、折れ角 $120^\circ$ での静止摩擦係数 $\mu$ が最も大きい可能性が示唆された。



図1 折れ角 $\theta$

**2. 問題提起、研究目的**

靴底の模様には様々なものがあるため、どの模様が走る時に滑りにくいのか疑問に思った。

先行研究から、直線模様のゴム版において「①平らな面では、ゴムがより大きく変形することで接触面積が増えるため、線の幅が細い横線模様のほうが摩擦力が大きくなる。②接触面が土で溝の深さ1mmと2mmを比べた場合、土との接触面積が増えるため、溝の深い2mmの方が摩擦力が大きくなる。」ということが分かった。ここで言う接触面積とは、ゴム板と砂が接している面積のことを指す。しかし先行研究では模様は角度と摩擦力の関係については調べていなかった。そこで私たちの研究では2本の直線からなる模様を考え、折れ角 $\theta$ と静止摩擦係数 $\mu$ の関係について調べた。(図1)

**3. 研究方法**

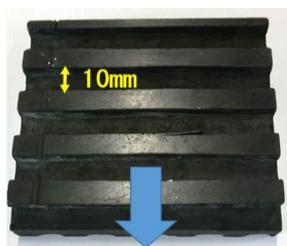
- i) ゴム板(100mm×100mm×20mm)に模様を彫る。
- ii) 運動場の砂あるいはアルミ板の上にゴム板を置き、その上に2kgのおもりをのせる。
- iii) ゴム板に紐をかけ、力センサーをつなげ、水平方向にゆっくりと力を加えていく。
- iv) 最大摩擦力 $F$ を測定する。
- v) 静止摩擦係数 $\mu$ を算出する。(試行回数10回)(図2)



図2 実験方法

**実験① 折れ角 $\theta$ と静止摩擦係数 $\mu$ の関係を調べる。**

ゴム板に、深さ5~7mm、幅10mmの折れ線模様を彫った。折れ線の角度(折れ角)は $60^\circ$ 刻みで変えた。(図3)



180°



0°

接地面積 149.5cm<sup>2</sup>

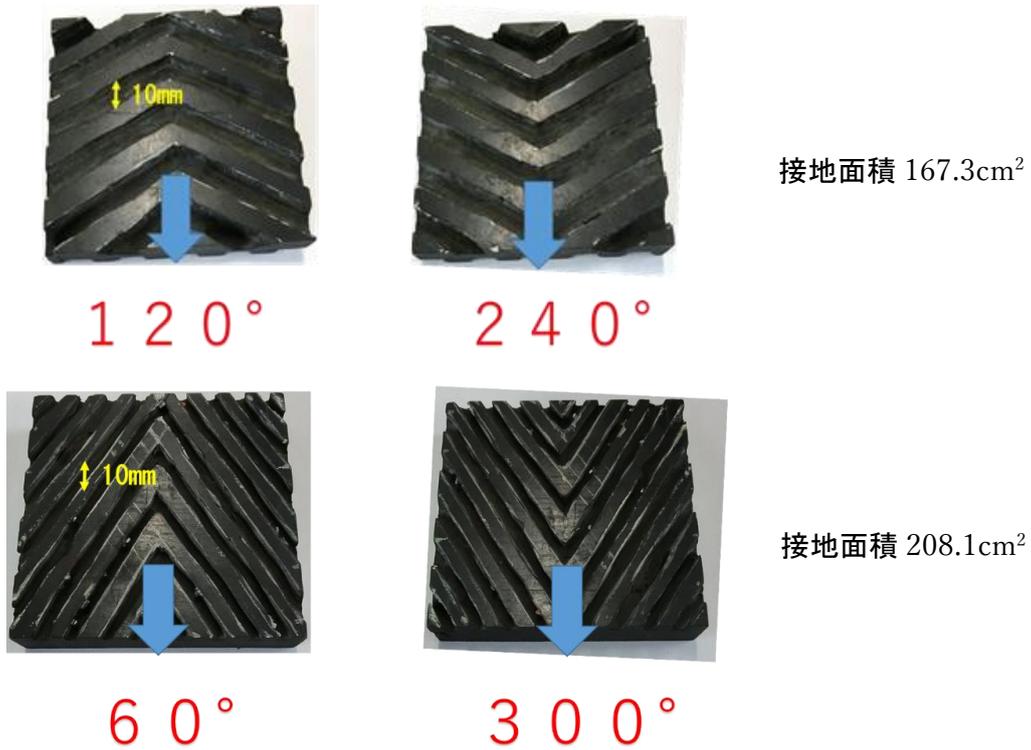


図3 実験①で用いたゴム板

**実験② 溝の深さ  $d$  と静止摩擦係数  $\mu$  の関係調べる。**

折れ角  $180^\circ$  のゴム板で、溝の深さを  $0\text{mm}$ 、 $2\text{mm}$ 、 $4\text{mm}$ 、 $6\text{mm}$ 、 $8\text{mm}$  と変えた。

**実験③ 折れ角  $\theta$  と静止摩擦係数  $\mu$  の関係調べる。**

実験②から溝の深さを、最も静止摩擦係数の大きかった  $2\text{mm}$  とした。また、実験①で溝の幅の取り方を引く方向に対して平行にとったことで、 $60^\circ$  から  $120^\circ$  の間で溝の本数、接触面積が大きく変わってしまったので、溝の幅の取り方を模様に対して垂直にとった。(図4)(図5)

試行回数を 20 回に変更し実験を行った。

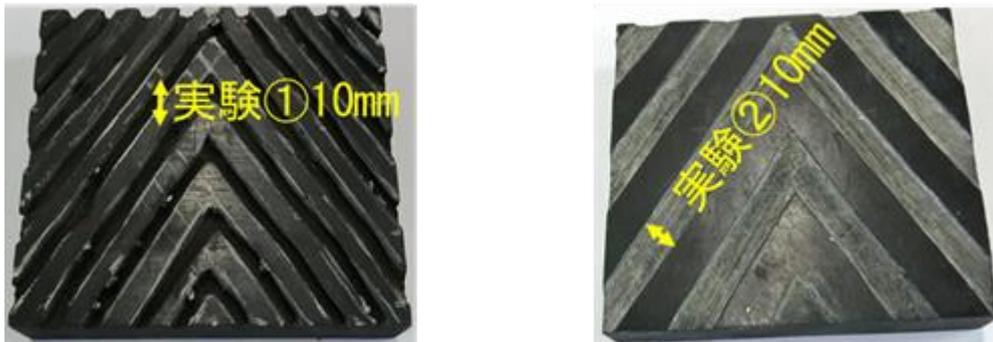


図4 実験③で用いたゴム板

$\theta$	0 180	120 240	60 300
$\text{cm}^2$	126.0	124.1	123.9

図5 実験③で用いたゴム板の折れ角  $\theta$  による接触面積

#### 実験④

実験①③の結果より、静止摩擦係数が大きくなった原因が中心の部分に砂がはまることではないかと考えられたため、直線模様を彫ったゴム板を傾けて実験を行い、ゴム板の傾き $\phi$ と静止摩擦係数 $\mu$ の関係を調べた。

また、より細かな角度で実験するために $15^\circ$ ずつ傾けた。(図6) 溝の深さ2mmのゴム板を使用した。

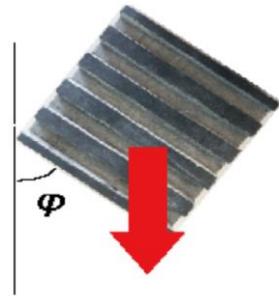


図6 実験④ゴム板の傾け方

#### 追加実験 おもりの重さWを変えると、静止摩擦係数 $\mu$ がどのように変化するか調べる。

実際に走るときにはより大きな力が靴底にかかるが、そのような状況下で静止摩擦係数 $\mu$ がどのように変化するかを調べた。

しかし、先行研究だけでは分からないことがあったため企業に問い合わせた。

<企業からの回答>

- ・走るときには体重の2~3倍の力が靴底にかかる。(アキレス株式会社)
- ・蹴り出し時には地面の垂線とふくらはぎとの角度が約 $15^\circ$ となっている。(ミズノ株式会社)

以上の回答をもとに計算を行った。

- ・体重を50kgwとし、走るときに靴底にかかる力を体重の3倍とすると150kgw
- ・地面の垂線とふくらはぎとの角度は約 $15^\circ$ なので、地面に垂直方向にかかる力は約145kgw
- ・地面の垂線とふくらはぎとの角度が約 $15^\circ$ となるようにし、5つの異なる靴で接地面積調べると平均 $71.3\text{cm}^2$  (図7)

以上より、走るときは、 $25\text{cm}^2$ あたり約50kgwの力が地面に垂直にかかっていると想定した。

折れ角 $180^\circ$ のゴム板を4分の1サイズにし(図8)、のせるおもりの重さを5kgw、10kgw、20kgw、30kgw、40kgw、50kgwと変えた。(図9)

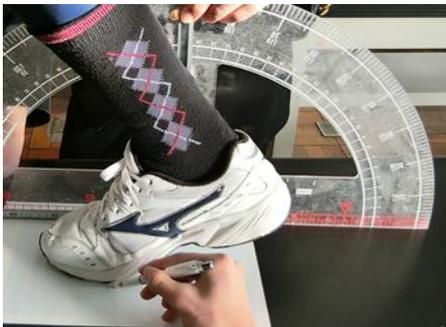


図7



図8



図9 追加実験

## 4. 結果

### 実験①

- ・静止摩擦係数 $\mu$ は、アルミ板上では変化しなかったが、砂上では変化した。
- ・砂上での実験において折れ角 $120^\circ$ での静止摩擦係数 $\mu$ が最も大きかった。(図10)

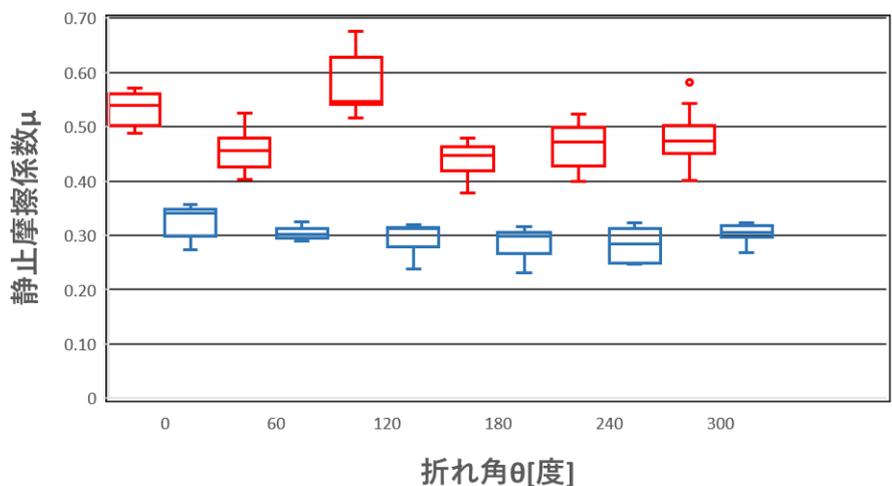


図10 実験①の結果(系列1: 砂 系列2: アルミ板)

### 実験②

- 溝の深さ 2mm のゴム板において静止摩擦係数  $\mu$  が最も大きかった。(図 11)

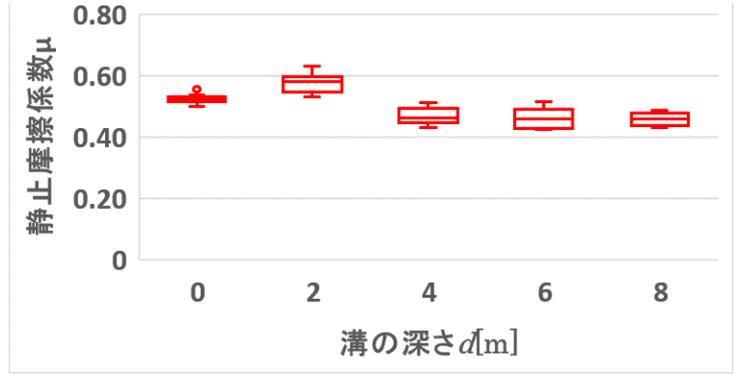


図11 実験②の結果

### 実験③

- 静止摩擦係数  $\mu$  は、アルミ板上では変化しなかったが、砂上では変化した。
- 実験①ほど明確ではないが、やはり折れ角  $120^\circ$  での静止摩擦係数  $\mu$  が最も大きくなった。
- 実験①と比べて、全体的に静止摩擦係数  $\mu$  が大きくなった。(図 12)

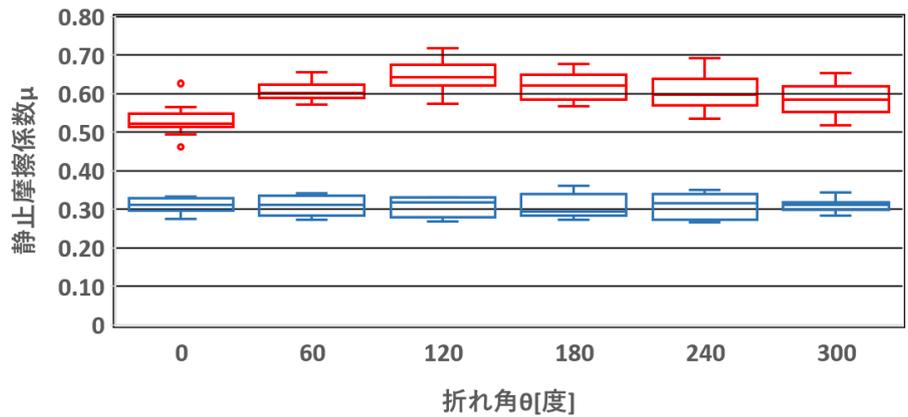


図12 実験③の結果 (系列1: 砂 系列2: アルミ板)

### 実験④

- 直線模様を彫ったゴム板を傾けるだけでは、静止摩擦係数  $\mu$  はほとんど変化しなかった。(図13)

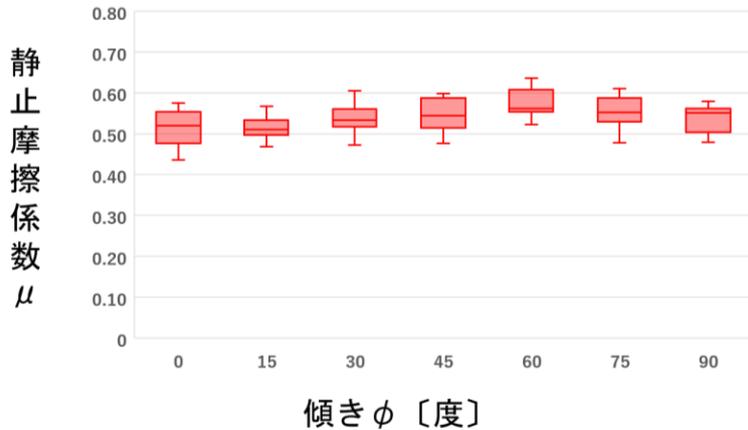


図13 実験④の結果

### 追加実験

- おもりの重さが 5kgw ~ 50kgw の間で、静止摩擦係数  $\mu$  は 0.10 程度変化した。(図 14)

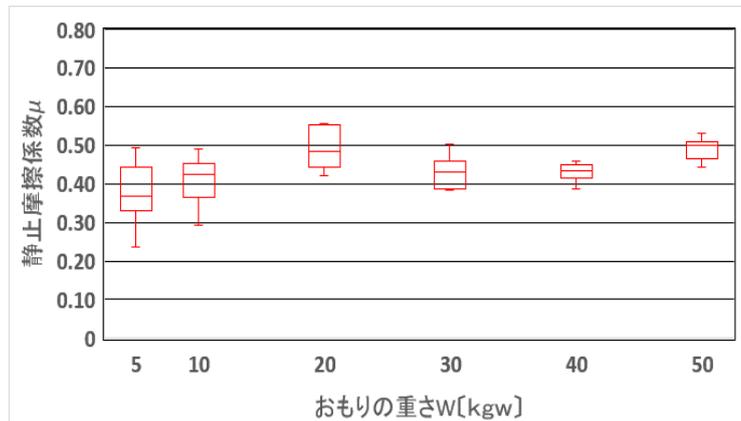


図14 追加実験の結果

## 5. 考察

### 実験①

アルミ板上での実験においては静止摩擦係数 $\mu$ はアルミ板とゴム板という2つの素材によって決定されていたが、砂上で実験することで砂とゴム板という2つの素材のみならず、ほかに静止摩擦係数 $\mu$ を決定する要素が現れたと考えられる。

折れ角 $120^\circ$ での静止摩擦係数 $\mu$ が最も大きかった理由として土との接触面積が大きいことと、引く方向に対して横向きであることのバランスが取れていたのではないかと、また、折れ角 $120^\circ$ は中心の部分に砂がはまりやすいのではないかと考えた。

### 実験②

溝の深さ2mmでは溝の底にしっかりと砂が接触していたが、溝の深さ4~6mmでは溝の底にしっかりと砂が接触していなかった可能性、深さ2mmの溝に砂粒がはまり、スパイクのような役割を果たした可能性が考えられるため、検証を行う必要がある。

溝の深さは、深ければ深いほど静止摩擦係数 $\mu$ が大きくなるわけではないということも分かった。

### 実験③

実験①③より接触面積がほぼ一定でも静止摩擦係数に変化が見られたことから、溝の中心の部分に砂がはまることで静止摩擦係数が大きくなるのではないかと、直線模様の傾きによって静止摩擦係数が変わるのではないかと考えた。

実験①と比べて、全体的に静止摩擦係数 $\mu$ が大きくなった要因については溝の深さを2mmに変えたからだと考えられる。

### 実験④

直線模様を彫ったゴム板を傾げるだけでは、静止摩擦係数 $\mu$ はほとんど変化しなかった。このことから、静止摩擦係数 $\mu$ に影響を与える要素として重要なのは、中心の部分に砂がはまることではないかと考えた。

### 追加実験

おもりの重さを大きく変えることで作用する静止摩擦係数を変化させる要因がある。

静止摩擦係数 $\mu$ を変化させる要因は分かっていない。

## 6. 結論(課題)

走るときに滑りにくい靴底の模様として折れ角 $120^\circ$ で溝の深さ2mmの模様が最も滑りにくいということが分かった。

また、以下のことを調べる必要がある。

- ・折れ角 $120^\circ$ で静止摩擦係数 $\mu$ が大きくなった要因
- ・砂粒の大きさと溝の深さの関係
- ・おもりの重さ5kgw ~ 50kgw間で、静止摩擦係数 $\mu$ が変化した要因

## 7. 参考文献

「滑り止めの模様の効果について」慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 田中 健吾

「靴底の溝による摩擦力」慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 松代 悠暉

## 8. 謝辞

ご指導いただいた本田一恵先生、佐藤哲也先生、伊賀史郎先生、吉田猛先生をはじめとして理科・数学の先生方に厚くお礼申し上げます。