

外傾インソールの装着が下肢動作に及ぼす影響 Effects of wearing an outward tilting insole on lower limbs movement

高橋 栄一[†]
Eiichi Takahashi

伊藤 昭久[†]
Akihisa Itou

鹿嶋 祥太[†]
Shota Kashima

鳶田 聡[†]
Satoshi Shimada

1. まえがき

歩行や走行、および各種スポーツでの重心移動を伴う動作において、足底や下肢の機能の活用を向上させたり、負荷を低減させたりすることは運動のパフォーマンス向上や怪我の予防の点から重要なテーマである。これらを実現する方法として、著者らは外側に傾くインソール（以下、外傾インソールと呼ぶ）を靴に装着することに着目している。本稿では、外傾インソールを靴に装着することがポジティブに作用するかを検証するために、歩行動作を対象として、足底の圧力分布について分析する。

2. 計測方法

2.1 測定項目

外傾インソールを靴に装着して歩行した場合には、足底の回外運動・回内運動やローリング、および足関節の底屈運動・背屈運動に変化があると予想される。また、片脚接地期間でのバランスを保持するために支持脚の足の接地位置が変わると考えられる。これらの変化を定量的に評価するには足底の圧力分布が有効である^[1]。また、足関節や膝関節の角度変化、足の接地位置は直接計測することができる。そこで、足圧分布、下肢の姿勢変化、足の接地位置を計測する。

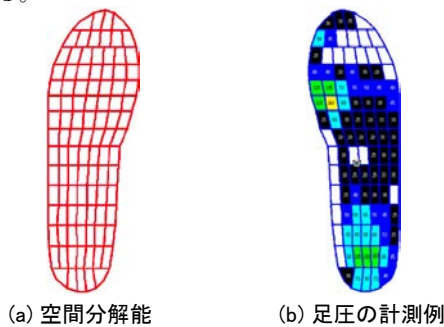


図1 足圧センサの空間分解能

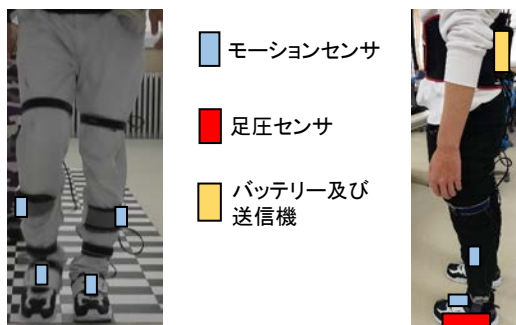


図2 センサの装着

2.2 用いるセンサ

足圧分布の計測は Novel 社の pedar-x SYSTEM（以下、足圧センサ）を用いる。この足圧センサはインソール型で、図1に示す99点の荷重値を計測できるので高い空間分解能の足圧分布が得られる。また、計測した足圧データをワイヤレスでPCに転送し、リアルタイムで計測結果を確認することができる。図2のように、被計測者の腰にバッテリーや送信機を装着する必要があるが、軽量でコンパクトなので被計測者の動きを妨げることはない。

下肢の姿勢変化は DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ（以下、モーションセンサ）を用いる。本センサは、加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサをそれぞれ3軸ずつ搭載している。センサ部はサイズが38mm(W), 53mm(D), 11mm(H)と小さく、重さ24gと軽量なので、図2に示すように両足の脛の外側と足の甲に装着できる。

足の接地位置については、15cm四方のタイルパターンカーペットを床に設置し、被験者の後方から足が接地する様子を高解像度(4K)のビデオカメラで記録する。ビデオにおける足の接地位置を検出し、カーペットを基準とした実世界での座標系にマッピングすることで歩幅や歩隔の歩行パラメータを算出する。

3. 実験方法

足のサイズが26.5~27.0cmの男子大学生10人を被験者とし、以下の方法で歩行動作の計測を行う。大教室に10mの歩行路を確保し、外傾インソール装着の有無別に3回の歩行を計測する。すべての被験者は同じ靴を履いて歩行を行ってもらい。足底センサとモーションセンサのサンプリング速度は50Hzとする。

計測の手順を以下に示す。図2のように足底センサとモーションセンサを被験者に装着し、まず、外傾インソールを装着しない場合の普段通りの自由歩行を計測する。3試行の測定を行う。次に、外傾インソールを装着し、30分程度の間、自由に動き回ってもらい、靴に違和感がないことを確認後、歩行路の自由歩行を3回、計測する。計測の様子を図3に示す。



図3 歩行動作の計測

[†] 日本大学工学部 Nihon University

4. 実験結果

4.1 足圧分布の計測結果と分析

足圧分布の計測結果として、ある被験者の例を図4に示す。外傾インソールを装着することで、接地するときの踵、支持している足がフラットになったときの拇指、離地時の指のあたりで荷重が大きくなっていることが分かる。他の試行や被験者でも類似した傾向を確認できた。

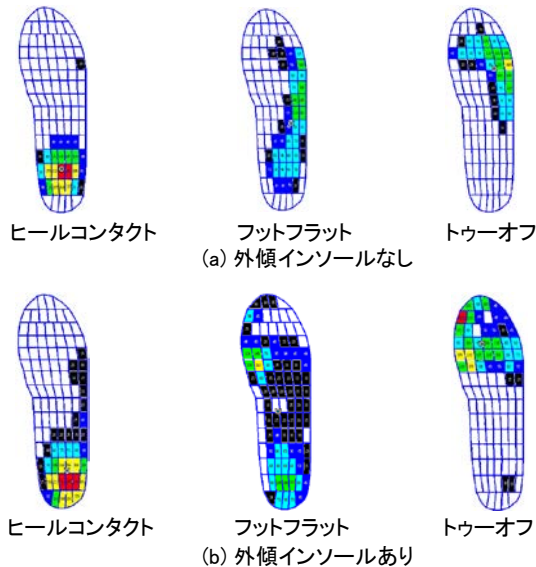


図4 足圧分布の計測例

これらの傾向を定量化するために次の手順で分析した。

- (1) 足圧データを一步ごとに切り出し、一試行の歩行の最初と最後の一步を除くデータを有効とする。
- (2) 足圧センサで計測できる99個の各部位について、一步の計測区間のなかで足圧の最大値を算出する。
- (3) 被験者内の評価
左右の各足に対して被験者あたり10~12サンプルが得られた。これらのサンプルを用いて、左右の足別に、同一被験者の足圧分布が外傾インソールの装着で有意に増減した部位をT検定により検出する。有意差($p < 0.05$)があった部位を「足圧変化部位」とする。
- (4) 被験者間の分析
同一の被験者でも左右の足底の運動は別であるとみなし、被験者10人の左右の足20個について、足圧変化部位となった割合 $Fpa(i)$ を算出する。 $Fpa(i)$ は、足底の i 番目の部位について、被験者内の評価を行った20件の歩に対して足圧変化部位となったときの歩が n 件の場合は、 $Fpa(i) = n/20$ として算出した割合である。

4.2 考察

まず、被験者全体の傾向を検査するために、算出した $Fpa(i)$ が 0.8 以上となった部位と 0.5 以上となった部位を図5に示す。同図により、外傾インソールの装着で足圧が有意に増減した部位が俯瞰できる。外傾インソールの装着で足圧が増加した部位は、踵、拇指、つま先の内側の3か所である。一方、足圧が減少した部位は増加した部位の間に位置する2カ所となった。

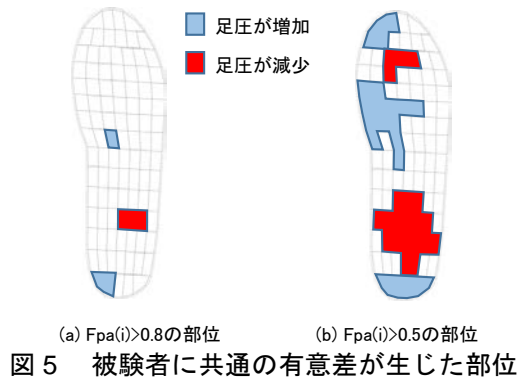


図5 被験者に共通の有意差が生じた部位

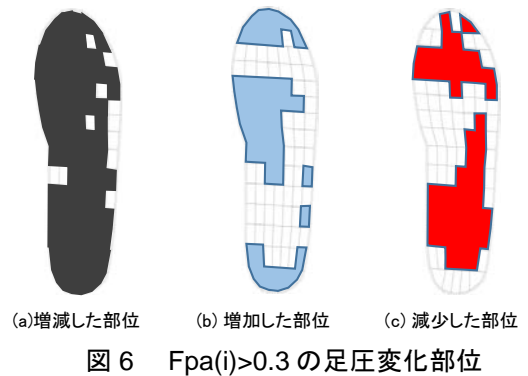


図6 $Fpa(i) > 0.3$ の足圧変化部位

このような足圧分布の変化が生じたのは、外傾インソールの装着によって、踵でしっかりと接地し、進行方向への体重移動に伴い拇指で強く支持し、離地時には指部で強く蹴り出すように足底の運動が変化したためと考えられる。足底のローリングがスムーズに行えるようになったと言える。

次に、個人特徴の傾向を検査するために、算出した $Fpa(i)$ が 0.3 以上となった部位を図6に示す。有意に増減した部位は99個のうち87個と多いが、同図(b)と(c)から増加や減少した部位のエリアは図5に類似している。被験者により足圧が変化した部位にばらつきは生じるが、基本的には図5(b)に示す3つのエリアで増加し、2つのエリアで減少していると言える。

5. おわりに

本稿では、外傾インソールが下肢動作に及ぼす影響を検証するために足圧分布、下肢の姿勢変化、足の接地位置の計測を行った。最初のステップとして、足圧分布の分析を行った。その結果、外傾インソールを装着することで、接地するときの踵、強く踏み込むときの拇指、離地時の指のあたりで荷重が大きくなる傾向を確認した。

今後は、足圧中心軌跡、モーションセンサや足の接地位置の変化を分析することで外傾インソールの及ぼす影響を総合的に評価する予定である。

謝辞

本研究に協力して頂いた大学生の皆様とフットセーバージャパン株式会社に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 畷田 聡, 鈴木 章, 米村 俊一, “歩行指導のための足底の部位別荷重パラメータの提案”, 画像電子学会誌, Vol.40, No.3 (2011).