

ウェアラブルな床反力推定装置の製作

Development of the Wearable Device for Estimating Floor Reaction Force

○ 櫻井 和人 (大分大学) 福永 道彦 (大分大学)

Kazuto SAKURAI, Oita University
Mitihiko FUKUNAGA, Oita University**Abstract:**

The object of this study was to develop a wearable device for estimating the floor reacting force using thin pressure sensor. The output data of the sensors were used as the explanatory variables, and estimated the floor reacting force by multiple regression analysis. We tested the three ways for creating the regression equation. As a result, the measured forces and the estimated forces were not in a good agreement. The difference might be caused by the method to obtain the regression equation. Some sensors output larger force at smaller floor force. The positions of the sensors and the way how to create the regression equation might be reconsidered.

Key Words: Force Sensor, Ground Reaction Force, Multiple Regression Analysis, Gait**1. 緒言**

歩行中の床反力は、歩行リハビリテーションなどの現場において歩き方を定量的に評価するために用いられるほか、下肢のキネティクスを評価する上でも重要な入力値となるものである。一方、現用の床反力計は高価、大掛かりであり、動作解析専用のスペースに備え付けて使用するものである。したがって、動作解析スペースにおける理想的な歩行動作に関するデータは多く報告されているが、日常生活での歩行動作において同様の床反力が作用しているかどうかについては検討されたことがない。

日常生活動作における床反力を測定できる装着型床反力計については、過去の報告には大きく分けて2種類がある。宮崎⁽¹⁾、桐山⁽²⁾などによる、靴の裏面に荷重センサを設置するものと、井上⁽³⁾、福田⁽⁴⁾などによる、靴と足裏の間に感圧センサを挟み、回帰式から床反力を推定するものである。

本研究では、靴と足裏に感圧センサを挟んで床反力を推定する装置を製作し、特にその回帰式をいかにして得るかについて検討した。

2. 対象と方法**2-1 床反力推定装置**

本研究で製作した床反力計は、足裏に設置するインソールに、フォースセンサーを取り付けた物である(Fig1, Fig2)。使用したフィルム状のフォースセンサ(FSR-402, Interlink Electronics)は、長さ45mm、幅8mmの導電部の先端に直径18mmの円形の感圧面をもち、厚さは0.2mmである。

センサーの設置位置については、歩行中の立脚期間における床反力波形の二峰性をもつ3つの特徴点を念頭に置き、足底面を荷重が大きく加わる踵部、MP関節部(親指の2番目の関節)、母趾部の3つのエリアに分けて、それぞれ2つずつ、前後方向にもっとも離れた位置に配置した⁽⁴⁾。センサー出力は arduino leonardo によって測定し、PC にデータを転送した。

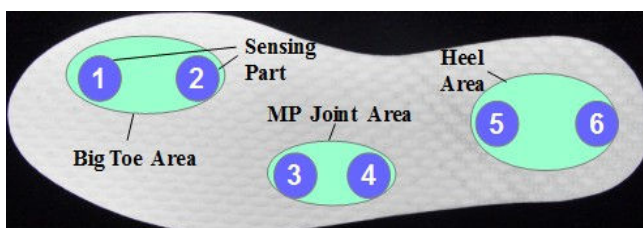


Fig1 Sensor arrangement

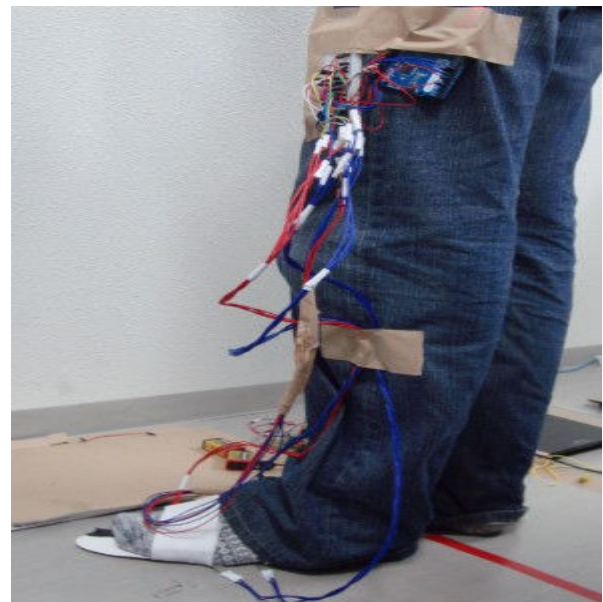


Fig2 The fabricated floor reaction force meter

2-2 推定方法

床反力推定インソールを装着した足でフォースプレートを踏むように歩行すると、フォースプレートの実測値 F_z とインソールに配置した6つのセンサ出力 $f_1 \sim f_6$ が得られる。これらを係数 $A_1 \sim A_7$ を用いて(1)式のように関係づけ、 F_z を従属変数、 $f_1 \sim f_6$ を独立変数として重回帰分析により係数 $A_1 \sim A_7$ を回帰係数として求めた。

$$F_z = A_1 f_1 + A_2 f_2 + A_3 f_3 + A_4 f_4 + A_5 f_5 + A_6 f_6 + A_7 \quad (1)$$

つまり、係数 $A_1 \sim A_7$ は床反力計推定において被験者の固有の値として与えられ、実際の歩行中の足底荷重 $f_1 \sim f_6$ とかけ合わせた $A_1 f_1 \sim A_6 f_6$ と定数 A_7 の一次結合で得られる F_z が鉛直床反力の推定値 F_z' となる⁽⁵⁾。

2-3 実験方法

被験者は健康男子1名(22歳, 172cm, 60kg)とした。フォースプレートには、市販の体重計をリアルタイムに計測できるように改造したものを用いた。

回帰式を導くための床反力およびセンサー出力データについては、下記の3つの方法で5回ずつ実施した。その後、歩行動

作を対象として測定実験を行い、それぞれの回帰式から得られた推定値とフォースプレートによる実測値を比較した。

- (1)対象足をフォースプレート上に置き、もう一方の足はフォースプレートと同じ高さの板に置き、足底の位置は動かさず、体重心を自由に变化させた。
- (2)対象足をフォースプレート上に置き、片足立ちの状態になり足底の位置は動かさず、体重心を自由に变化させた。
- (3)対象足を、フォースプレート上に置き、歩行動作を模すよう意識して、重心位置が踵部から拇指部に移るように荷重をかけた。

3. 実験結果

結果を図3に示す。実測値と推定値が最もよく一致したのは、方法(3)による回帰式を用いた場合であり、逆に方法(1)ではほとんど一致しなかった。また、それぞれの方法で得られた回帰式の係数について一例を表1に示す。

4. 考 察

実測値Fzと推定値Fz'の一部を除く相関係数は0.9程度であり、両者に相関は認められるものの、歩行動作中の床反力が正確に測定されているとはいえない結果であった。

方法(3)から得られた回帰式の精度が最もよかったことは、対象動作とほぼ同様の動作によって得られた回帰式であるため、当然のことと考えられる。方法(2)では、床反力が体重とほぼ等しい場合のデータのみから導いた回帰式であり、床反力が体重に近い値である場合にしか一致が見られなかった。係数の特徴としては、足底の拇指部の係数が負になり、踵部の係数が正となっている。このため、踵が離れると推定値が著しく低くなった。方法(1)は広範な荷重を掛けたため、理論上どのような動作中でも同様な精度で推定値が得られると考えられる。係数の特徴としては、足底中心部の係数が負であったことが、歩行動作中のどの点においても、比較的良い精度が得られた理由であると考えられる。

また、歩行中の二峰性が出やすくなるような係数の特徴は、全ての係数が正で、3つのエリアの係数のバランスが良いことが特徴であり、この点は過去の報告(4)と一致した。

5. 結 言

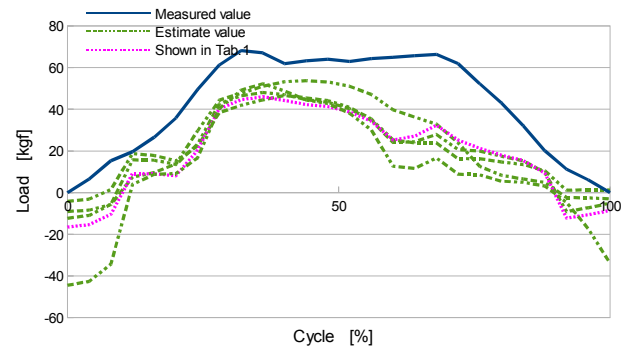
日常生活動作における床反力を測定するために、製作した床反力推定装置を用いて、回帰式をいかにして得るかを検討した。その結果、測定値と推定値の間には強い相関関係が見られたものの、歩行動作中の床反力が正確に推定されているとはいえないものであった。床反力を正確に推定するためには、重回帰分析で得られる係数を正しく導出する必要があり、センサーの設置位置などにも工夫が必要である。

参考文献

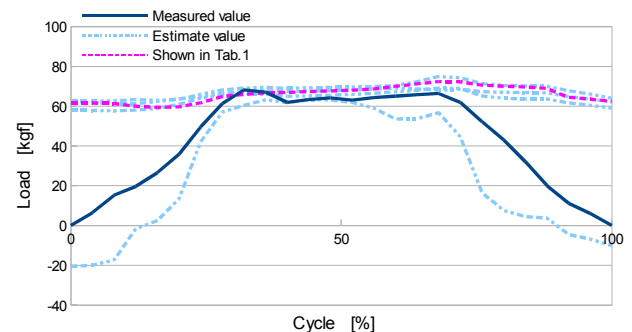
- 1) 宮崎信次, 岩倉博光, 歩行評価のための床反力連続計装置, 医用電子と生体工, Vol.15, No.7, pp47-52, 1977
- 2) 桐山希一, 足底圧の動的変化を指標とした健康成人の歩行制御および片麻痺歩行に関する研究, 医療保健学研究, Vol.3, pp1-40, 2012
- 3) 井上喜雄, 弘田悠将, ウェアラブルな床反力推定装置を用いた歩行解析と安定性評価, 修士論文, 2009
- 4) 葉山浩樹, 福田博也, 異なる歩調および履物における床反力推定インソールの性能評価, 生体医工学, Vol.52, pp108-112, 2014
- 5) 葉山浩樹, 福田博也, 薄型フォースセンサと無線モジュールを用いた床反力計測システムの開発, 生体工, Vol53, pp31,

Table1 Coefficient from each method

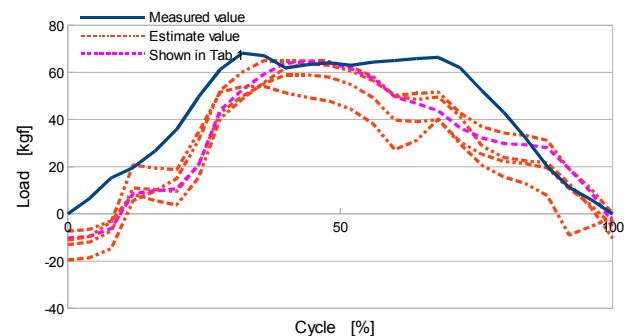
	Exp(1)	Exp(2)	Exp(3)
A ₁	0.0130430	-0.0028599	-0.0423010
A ₂	-0.0473720	-0.0093655	-0.0150770
A ₃	-0.0199360	-0.0066584	-0.0176000
A ₄	-0.0502150	0.0080560	-0.0678690
A ₅	0.0741670	-0.0005625	0.0420300
A ₆	-0.0989850	0.0044415	-0.0665200
A ₇	115.8591610	68.7115958	160.5352700



(a) Regression from the experiment(1)



(b) Regression from the experiment(2)



(c) Regression from the experiment(3)

Fig3 Comparison of the measured and estimated floor reacting Forces during gait.