様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２７ 年　 ６ 月　 ２ 日現在

機関番号：３５３０２
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：２４５００６６８

研究課題名（和文）床のすべりやすさの評価およびその違いによる歩行動作の分析

研究課題名（英文）Evaluation of floor slipperiness and influential analysis of gait

研究代表者
松浦　洋司（MATSUURA, Hiroshi）

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：３０２７８９０７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,900,000円

研究成果の概要（和文）：床のすべりやすさを評価するための動摩擦測定試験機を開発し、各種床材と靴底材料の組み合わせにおける動摩擦係数と静摩擦係数を測定し比較した。それにより、従来の指標である静摩擦係数とは異なる動摩擦係数の傾向が把握できた。特に、床表面に水などの液体が付着している場合のすべりやすさは動摩擦係数で評価する必要が確認された。
また、ランプテスト(傾斜歩行テスト)用装置を開発し、床材と靴材料の違いによる歩行動作の違いを把握した。

研究成果の概要（英文）：A new evaluation method has been proposed for floor slipperiness using dynamic friction coefficient instead of static one. In the new tester, natural rubber sole attached to the artificial foot was pressed against the moving floor, and then friction force and vertical load were measured by strain gauge-type load cells. A wooden-made plate and P (Plastic) -tile were selected as the floor in dry, wet and oily surface conditions. The dynamic friction coefficients in dry condition were calculated to be 0.5-0.8. On the other hand, in wet and oily conditions, the coefficients were lower than the former. The static friction coefficient in wet was almost the same value of that in dry. Squeezing liquid film makes difference in coefficient between static and dynamic friction. This suggested that floor slipperiness at heel down should be used by dynamic friction coefficient under incremental vertical load.

研究分野：材料力学

キーワード：床のすべりやすさ　動摩擦係数　静摩擦係数

１．研究開始当初の背景

家庭内の不慮の事故による死亡者は毎年一万人を超えており、そのうち転倒転落による事故の割合は約２割を占めている。この転倒転落の事故のうち、スリップやつまづきによる同一平面上での転倒による事故は半数に上る。これらの事故は、ほとんどが高齢者であり、床のすべりやすさが歩行動作に影響を与え、事故の大きな原因となっている。したがって、床のすべりやすさを評価することは非常に重要な課題といえる。さらに、この床のすべりやすさは、高齢者だけでなく身体障害者の歩行動作にも大きな影響を与える。

一方、脊椎損傷などによって歩行動作が不自由になった身体障害者に対して歩行訓練が行われる。その際、体重を支持することによって負荷を低減（免荷）し、障害の度合いに応じた適切な負荷に調整しながら訓練する工夫がなされる。そのために、免荷による歩行動作の変化についての研究がされている。さらに、筋肉への電気的な刺激や、トレッドミルを用いる場合にその速度を変化させるなどの機械的な刺激による歩行動作に対する影響についての研究が進められている。

歩行動作および歩行訓練において、床および靴とのすべりの影響が少なからず現れる。しかし、これまで歩行動作の解析や床のすべりの測定に関する研究はそれぞれ独立して行われており、両者の関係については明確にされていない。特に、身体障害者の歩行時には、床のすべりの影響は顕著に表れる可能性があるため両者の関係を明らかにする必要がある。

通常、床のすべりに関する指標として滑り抵抗係数が用いられるが、この指標は歩行動作の立脚期後半における靴底前半部とのすべりを評価するための静止摩擦係数を求めるものである。しかし、実際の歩行時のすべりやつまづきは、立脚期初期のかかとが接地する際に起こることも多い。立脚期初期は、かかとの接地後、体重が加わると共に前後方向の水平荷重も増加する。したがって、その際のすべりを評価するためには、静止摩擦係数では困難であり、動摩擦係数による評価が必要と考えられる。特に、鉛直荷重を増加させながら動摩擦係数を測定することが重要と考えられる。

２．研究の目的

本研究では床のすべりやすさを評価するための動摩擦係数測定装置を開発し、この装置により鉛直荷重が増加する際の動摩擦係数を測定する。特に、鉛直荷重が増加する際の靴底材料や床材料の変形に伴い、摩擦係数が変化することが考えられる。

また、床の表面状態の違いによる影響について検討を行う。例えば、床表面に水滴が付着している場合、靴底と床表面の間の水の膜の状況が鉛直荷重の大きさによって変化し、摩擦係数も変化することが考えられる。

これらの鉛直荷重増加時の動摩擦係数と静摩擦係数との比較をすることにより、床と靴底材料の組み合わせの違いによる影響や床の表面状態、靴底材料の表面形状の違いによる影響を調べる。それらの結果から、床のすべりやすさの評価方法を検討する。

さらに、床と靴底材料の組み合わせなどの条件の違いによるすべりの違いが歩行動作にどのような影響を与えるかについて検討する。

３．研究の方法

鉛直荷重を増加させながら動摩擦係数を測定できる装置の試作機をすでに製作し、実際の床材および靴底材料を用いて試験的測定を行うことにより、測定方法はほぼ確立できている。しかしながら、測定精度や安定性に課題がある。そこで、平成２４年度は、装置全体の構造の見直しと荷重測定部の改造を行い、さまざまな床材および靴底材料の組み合わせについて計測を行う。その際、静摩擦係数との比較を行う。平成２５年度以降は、床表面および靴底表面の違いによる測定を行い、すべりやすさの評価を行う。また、歩行訓練時の歩行分析に必要な床反力計の開発を行い、床材および靴底材料の組み合わせなどの条件の違いによる歩行動作の違いを測定しながら、試験方法を確立する。

４．研究成果

(1)床のすべりやすさを評価するための動摩擦測定試験機を開発した。これは、歩行時に踵が床に接地してから荷重が掛かり切るまでのすべりを再現するものである。床材にかける鉛直力は 0→1000N、床材の移動速度は 0.20～0.25m/s である。鉛直力および水平力は、天秤およびモータ軸に取り付けた歪ゲージにより測定する。

床材は、フローリング材、Ｐタイル、CF(クッションフロア)シート、アスファルト、モルタル床の５種類とし、床の表面は、乾燥状態（dry）、水付着状態（wet）および油付着状態（oily）の３種類とした。水および油の量は、約 80g/㎡および約 64g/㎡とした。

靴底材料は、天然ゴム（硬度 65）とシリコンゴム（硬度 50）を使用した。これらは、運動靴などに使用されている素材および人間の足裏に近いものである。

①図１にフローリングの結果（靴底材料は天然ゴム）を示す。(a) は鉛直力（*Vl*）および水平力（*Hf*）、(b) は動摩擦係数の時間変化を示す。また (b) には静摩擦係数を矢印 (←) で表記した。

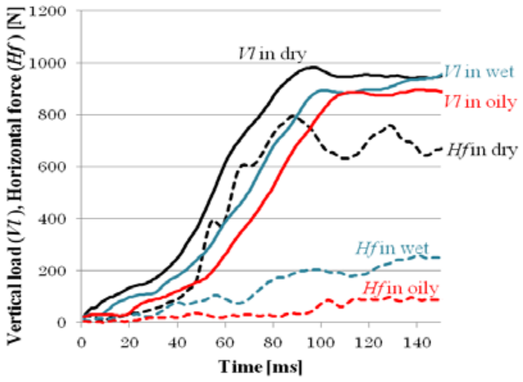
鉛直力は約 100ms で 1000N に上昇し、その後一定となっている。水平力は鉛直力とほぼ同じ時間変化を示す。また、水付着および油付着状態は乾燥状態より著しく低い値となっている。

動摩擦係数は、乾燥状態では初期の低い値から約 0.7 に上昇しほぼ一定となっている。水付着状態および油付着状態では初期の低い値が維持されている。これは、表面のワックスが水や油をはじくため、靴底材料と床表面の間の液体の存在により、摩擦係数が低くなっているものと考えられる。

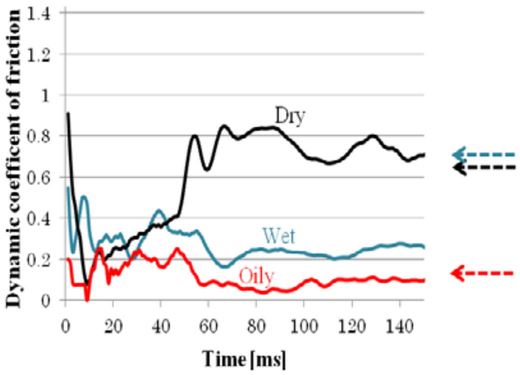
静摩擦係数は、動摩擦係数とは異なり乾燥状態と水付着状態はほぼ同じ値となっている。これは、動摩擦係数が鉛直荷重をゼロから増加しながら測定するため、靴底と床表面との間に水が存在するのに対して、静摩擦係数はおもりの荷重をかけてから測定するため、水が排除され乾燥状態に近い状況になっていると考えられる。油付着状態では、動摩擦係数と静摩擦係数がほぼ同じ値となっている。

2 枚の板に挟まれた液体の膜の排出時間はスクイーズ膜理論により定量化され、液体の粘性係数によって決まる。油の粘性係数は水より非常に大きいため、その排出時間も非常に長くなる。これにより、両者の静摩擦係数と動摩擦係数の違いは説明される。

②P タイルはフローリングとほぼ同じ傾向であるが、フローリングに比べて乾燥状態と水付着状態の動摩擦係数の値の差が小さい。CF シートはフローリングやPタイルに比べて水および油付着状態の水平力が高く、水付着状態の値は徐々に乾燥状態に近づいている。これは CF シートの表面には溝があり、その溝に水や油が入り込むためと考えられる。モルタル床では表面状態に関わらず、動摩擦係数と静摩擦係数共にほぼ同じ値を示した。これは、モルタル床が水や油の吸収性が高いためだと考えられる。



(a)鉛直力および水平力



(b)摩擦係数

図 1　フローリング－天然ゴムの結果

③靴底材料としてシリコンゴムを用いた測定も同様に行った。動摩擦係数は天然ゴムとほぼ同じ傾向を示したが、静摩擦係数は乾燥状態と水付着状態で異なる傾向を示した。

(2)床材と靴材料の違いによる歩行動作の違いを把握するためにランプテスト(傾斜歩行テスト)用装置を開発した。この装置は、角度 0°の状態から四隅にある柱の高さを変えることによって角度を調節することができるようになっている。柱に 6 軸力覚センサを設置し、前後・左右・鉛直方向の荷重およびモーメントを記録する。

床材はフローリング、P タイル、CF タイルおよびモルタル床の 4 種類を使用した(床材の大きさは全て縦 850㎜×横 600㎜)。

靴底材料スニーカー、スリッパ、靴下、素足の 4 つの条件とした。

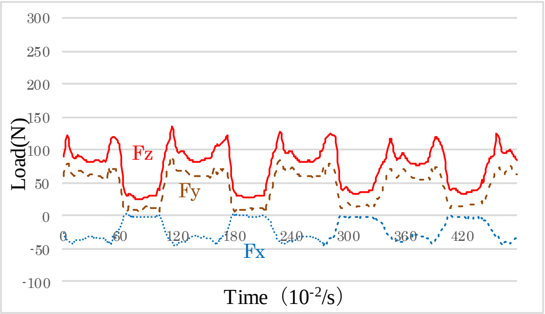
床材と足元底面は、乾燥・清浄の状態とした。

被験者は傾斜を下る方向を向き、床材上で約 1.2 秒の周期で足踏み動作を行い、これを約 20 秒間続ける。6 軸の力およびモーメントは 1 秒間に 100 個(0.01 秒おき)を記録した。

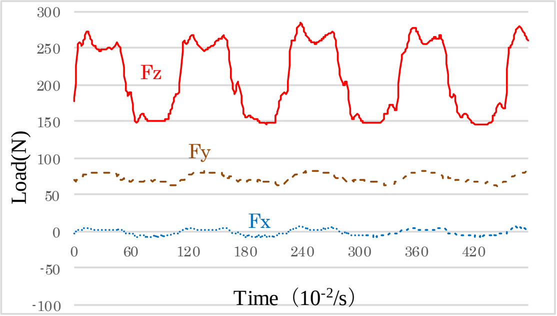
傾斜は、0°の状態から 3°ずつ傾け、18°以降は 5°ずつ傾けていき、最高 40°まで傾けた(0°、3°、6°、9°、12°、15°、18°、20°、25°、30°、35°、40°)。

①図 2 に床材が P タイル、靴底材料が靴下、傾斜角 12°の状態での結果(3 軸方向の荷重)を示す。約 1.2 秒の周期で荷重が変動していることがわかる。また、右と左で鉛直荷重(F_z)の変動が逆になっているのに対して、前後方向の荷重（F_x）および左右方向の荷重（F_y）の変動は同じ傾向になっている。特に、前後方向の荷重（F_x）は、床のすべりに関わる荷重であり、重要な指標と考えられる。この前後方向の荷重（F_x）は傾斜角が大きくなるにつれて大きくなる傾向が見られた。
②図 3 に鉛直荷重より求めた重心位置の変動の状況を示す。足踏み動作に伴う前後・左右の移動が確認できる。さらに傾斜角が大きくなるにつれて左右の移動が大きくなっていることがわかる。
③床材および靴底材料の種々の組み合わせによる結果の違いを把握することができた。

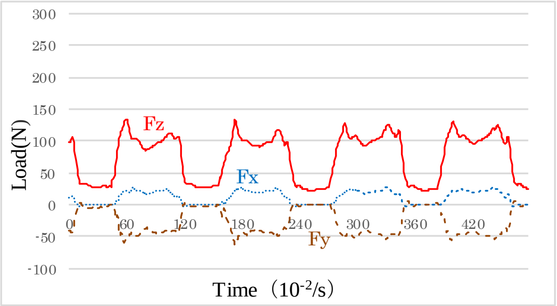
(3)本研究により鉛直荷重が増加する際の動摩擦係数測定装置を開発し、種々の床材と靴底材料の組み合わせおよび床材表面状況の違いによる動摩擦係数の違いを把握した。ま



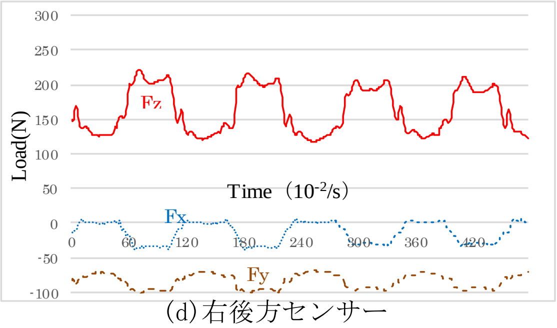
(a)左前方センサー



(b)左後方センサー



(c)右前方センサー



(d)右後方センサー

図２　荷重の時間変化
（P タイルーソックス、12°）

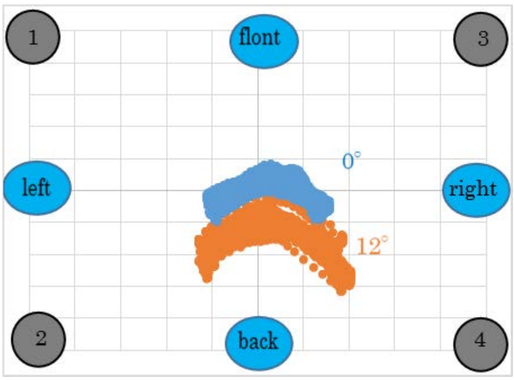


図３　重心位置の変動（P タイルーソックス）

たランプテスト(傾斜テスト)による方向動作の解析を行った。これにより、床のすべりやすさと歩行動作の関係性が見られた。被験者は健常者であるが、高齢者や障害者に適用した場合の解析も可能であると考えられる。

＜引用文献＞

①小野英哲，床のすべりおよびその評価方法に関する研究　その２　すべり試験機設計・試作のための基礎的資料の集積およびすべり試験機の基本構想，日本建築学会論文報告集，No.333(1983)，pp.1-7.
②Moore, D. F.，A Review of Squeeze Films, Wear，Vol.8 (1965)，pp.245-263.

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計１件）
①赤木徹也、久野弘明、荒木圭典、松浦洋司、藤本真作、松下尚史、山田訓、堂田周治郎、ロボコンを通じたフレッシュマンのためのロボティクス・メカトロニクス教育、日本ロボット学会誌、査読有、31 巻 2 号、2013 年、p.118-123
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jrsj/-char/ja/

〔学会発表〕（計４件）
①尾崎悠、田中勇人、松浦洋司、鉛直荷重増加に伴う動摩擦係数の測定－床のすべりやすさの評価－、日本機械学会中国四国支部、2015.3.5、近畿大学（広島県・東広島市）
②木下和也、松浦洋司、ランプテストによる歩行時の摩擦特性の計測、日本機械学会中国四国支部、2015.3.5、近畿大学（広島県・東広島市）
③松浦章紘、谷井孝仁郎、松浦洋司、鉛直荷重増加時の動摩擦係数による床のすべりやすさの評価、日本機械学会中国四国支部、2014.3.6、鳥取大学（鳥取県・鳥取市）
④Hiroshi Matsuura，Toshiaki Kaneeda、Evaluarion of floor slipperiness during walking，ICBME2013、2013.12.4、Singapore

６．研究組織
(1)研究代表者
松浦　洋司　（MATSUURA, Hiroshi）
岡山理科大学・工学部・教授
研究者番号：30278907