

歩行補助杖の冬期用滑り止め具の開発について

Development of the Anti-Skid Tool for a Cane to Assist Walking in Winter

敦賀 健志* 松原 裕幸* 野村 知広* 小林 俊樹* 野坂 利也*

Takeshi Tsuruga, Hiroyuki Matsubara, Tomohiro Nomura, Toshiki Kobayashi and Toshiya Nosaka

Abstract

Outdoor walking in snowy and cold areas like Sapporo is highly dangerous of slipping and falling. In general, when walking stability declines due to factors such as aging, T-cane is often used for the purpose of assisting walking. However, in order to walk outdoors in winter, anti-skid tool must be attached to the T-cane. Metallic ice picks are commonly used as a commercially available anti-skid tool. Since the performance of metallic ice pick was not reported, its anti-skid effect was quantitatively verified. As a result, it was effective against the iced road surface, but it was slippery with the P-tile used for the indoor road surface. It can be said that it is important to switch the direction of the metallic ice pick in accordance with the road surface. However, many elderly people feel that metallic ice picks are difficult to operate. Therefore, it is useful to develop an anti-skid tool that can be used indoors and outdoors in common. With reference to the studless tire, grooves for removing water on the iced road surface were processed into tip rubber of T-cane. We prepared tip rubbers with different groove widths and measured the frictional force using a testing machine. As a result, although removal of water was not sufficient, it was found that the frictional force is increased by the edge effect of tip rubber. In the future, it is necessary to improve the shape of the groove and to develop tip rubber having a higher anti-skid effect.

1. 背景

札幌は11月末頃から雪が降り始め4月まで半年近く長期間に渡り雪が積もる。また、年間の累計降雪量は500cmを越える。このように長期間、多くの降雪に見舞われる都市は世界にいくつかあるが、札幌のように人口が200万人近い大都市となると世界的にも希である。大雪によって道路が通行止めになることもしばしば起こり、住民生活、生産活動に影響を与えることも少なくない。加えて、路面が滑りやすくなったり、除雪後の堆雪によって道幅がとて狭くなり、交通の流れの妨げにもなるため、非常に移動しにくい環境となる⁽¹⁾。

このような状況において雪道での移動、特に歩行時に懸念されるのが転倒である。札幌市ではスパイクタイヤの使用が条例で禁止された平成2年頃を境に、救急搬送者数はかなり増えている(図1)。現時点では、スパイクタイヤの禁止と転倒事故急増の因果関係を証明する科学的根拠は明らかにされてい

ないが、車が雪氷路面を走行すると、その表面が車両からの熱で融け、滑りやすい路面に変化することが指摘されている⁽²⁾。転倒した際の怪我の程度は個人差があるが、20才未満であれば8割の方が軽傷で済むところが、80歳代では軽傷は半分以下、そして1割ぐらいが重傷であったという報告もある⁽³⁾。高齢者の骨折は長期間の安静が強いられることがあり、その間、活動レベルが低下することから、心肺機能や筋力などが低下するといった廃用症候群が懸念される。そのため一度の骨折が一生涯の寝たきり生活になってしまうことも少なくない。このような意味からも転倒予防は非常に重要と考えられる。

一般的に、歩行の安定性が低下した場合、歩行補助を目的として杖が使用される。杖にも松葉杖、肘支持型杖、前腕固定型杖、多点型杖などの種類があり、利用者の残存機能などによって使い分けるが、最も普及しているタイプの杖としてT字型杖がある⁽⁴⁾。しかし、いずれの杖も雪道での使用は想定され

* 北海道科学大学保健医療学部義肢装具学科

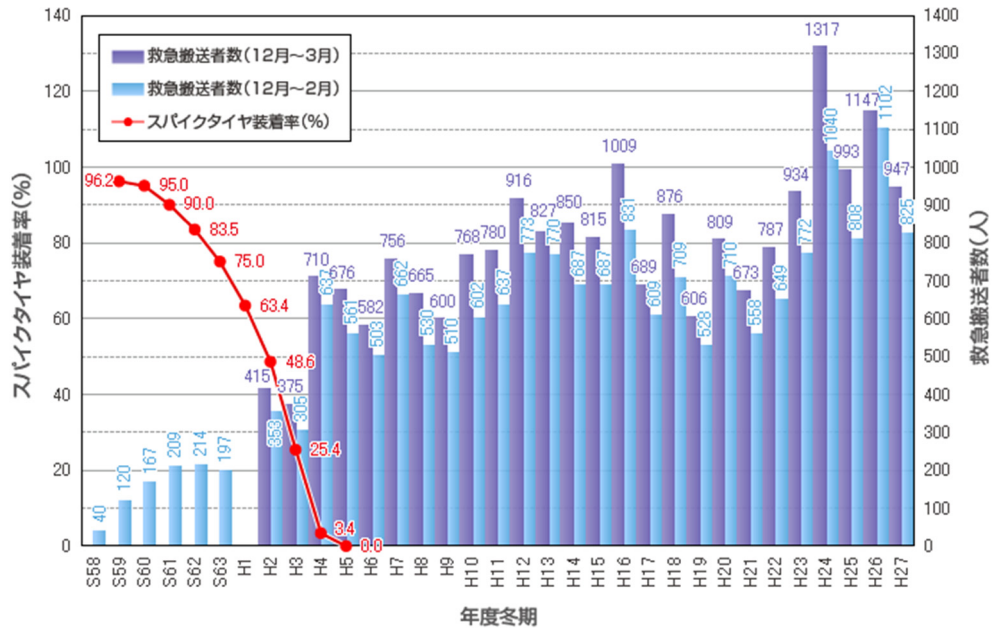


図1 スパイクタイヤの装着率と冬期における救急搬送者数⁽²⁾

ておらず、使用する際は、別途、滑り止め具を購入し取り付ける必要がある。

本研究では、杖に用いられている一般的な冬期用滑り止め具の性能評価を行い、その結果を踏まえ、新しい滑り止め具のコンセプトを提案し、基礎的な実験を行ったので報告する。

2. 杖の冬期用滑り止め具の現状

冬期路面において杖を使用するために必要な滑り止め具にはいろいろなタイプが市販されているが、その中に金属製アイスピックを利用しているものがある。これは先端に円錐形もしくは複数の爪がついた王冠型の金属が取り付けられており、爪の数には3本爪と5本爪の2種類がある(図2)。5本爪は使用中、王冠部分に雪が付着し、滑り止め効果が低減することがあった。そこで、その問題を解消するために3本爪が開発された。これら金属製アイスピックは固定金具のネジを締めることで普段使用している杖に取り付けることができる(図3:左)。杖先ゴムと交換して取り付けのような滑り止め具の場合、杖の支柱の太さが合わないことと取り付けられないこともあるが、金属製アイスピックの場合は支柱の外径が許容範囲に収まっていれば取り付けることが可能である。使用する際にはレバーを指で押し込みながら回転させ、先端を杖先の下に向けて、滑り止め具として機能する。また、屋内などで使用する際には、先端の向きを変えて上向きとし、杖先ゴムを接地させて歩行を行う(図3:右)。



図2 金属製アイスピックの種類⁽⁵⁾
(左から：円錐形，3本爪，5本爪)

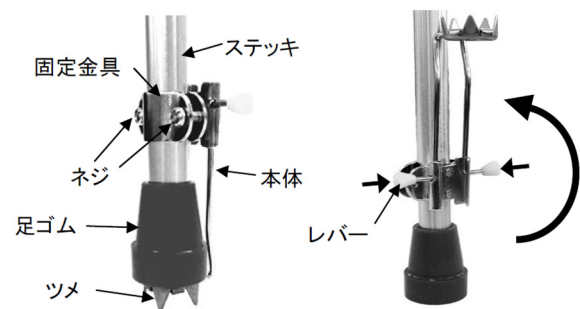


図3 金属製アイスピックについて⁽⁶⁾
(左：杖に取り付けた外観，右：操作方法)

3. 金属製アイスピックについて

3.1 滑り止め効果の定量的評価

3.1.1 実験目的

一般的に利用されている金属製アイスピックではあるが、冬期の屋外路面においてどの程度滑り止め効果を発揮するのかについて定量的な評価はなされていない。また屋内など凍結していない路面でアイスピックを使用すると逆に滑りやすくなると言われているが、これについても定量的な評価はな

されていない⁷⁾。そこで金属製アイスピックの屋内・屋外路面に対する防滑性能を定量的に評価することを目的に実験を行った。

3.1.2 実験方法

杖先具の防滑性能の試験方法に関して、雪道を想定した手法は定められていない。そこで、一般財団法人製品安全協会が定めている屋内路面を想定した方法を参考とした⁸⁾。実験装置の外観を図4に示す。低摩擦で上下動できるシャフトの下端に杖先ゴムや金属製アイスピックなどの杖先具を取り付け、路面を想定した試験板に接触させる。シャフトの上端にはコップ型の容器を取り付け、おもりを入れることで杖先具が試験板に対して10Nの鉛直荷重を負荷するように調整する。試験板は3軸方向の荷重を計測できる床反力計(9260AA3:日本キスラー製)の上面に固定した。床反力計はボールねじとACサーボモータ(SGMGV-44A3A6S:安川電機製)とからなる1軸アクチュエータのステージに固定した。ステージは制御用PCにより任意の速度で移動させることができる。

実験では杖先具を試験板に接触させた状態でステージを動かし、床反力計のデータをサンプリング周波数100HzでA/D変換器(AI0-163202F-PE:CONTEC製)を介して計測した。そして、鉛直荷重と水平荷重の比の最大値を摩擦係数として滑りにくさの評価を行った。計測では、杖先具を試験板上で移動させた後、一旦、杖先具を試験板から離れた後、再び接触させて計測を行った。これは摩擦時のゴムの変形の影響を毎回、解消するためである。このような方法で連続7回計測を行い、計測データのうち最大値と最小値を除外して平均値を求めた。

杖先具としては通常の杖先ゴム、そして金属製アイスピックの中で一般的によく用いられている円錐形と5本爪を用いた(図5)。路面に見立てた試験板には屋内路面としてPタイル、屋外路面として板状の氷(125×265×60mm)を用いた(図6)。試験板表面の水分が摩擦に影響することが考えられるため、それぞれ乾燥状態と湿潤状態で計測を行った。Pタイルの乾燥状態は表面をきれいに拭いた状態であり、湿潤状態は金属製トレイに深さ1cmの水を入れ、そこにPタイルを水没させた状態である。また、氷の乾燥状態は冷凍庫から出した直後の状態であり、放射温度計(IR-303:CUSTOM製)で表面温度を計測し-20℃以下の状態とした。湿潤状態は、冷凍庫から取り出し常温で30分以上放置し、表面が明ら

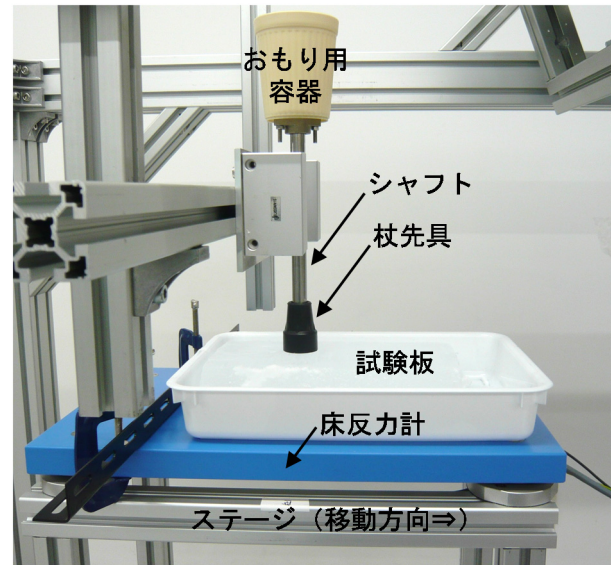


図4 実験装置の外観

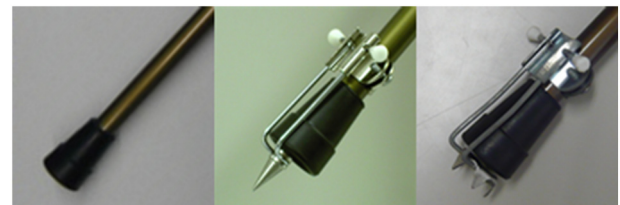


図5 実験で使用した杖先具
(左から:杖先ゴム,円錐形アイスピック,
5本爪アイスピック)



図6 実験で使用した試験板
(左:Pタイル,右:氷)

かに濡れており、表面温度が-5~0℃の状態とした。

3.1.3 実験結果・考察

実験結果を図7に示す。グラフの横軸は路面状態、縦軸が摩擦係数であり、摩擦係数は値が大きいほど滑りにくい状態を表す。製品安全協会が定める歩行時に必要な摩擦係数の基準が0.4であることから目印の破線を描画した。

a) Pタイルの場合

杖先ゴムの結果を見ると乾燥状態、湿潤状態ともに基準である0.4を上回っており、十分な摩擦が得られていることがわかる。これに対し金属製アイスピックの結果を見ると、乾燥状態、湿潤状態ともに

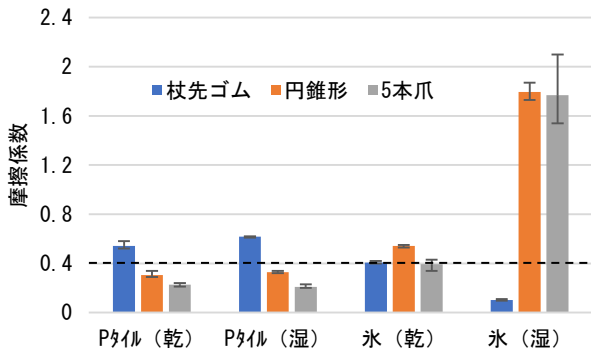


図7 各試験板に対する杖先具の摩擦係数

基準には達していなかった。さらに円錐形と5本爪を比較すると、5本爪の摩擦係数の方が小さかった。これは多点接触による圧力分散のため爪が引っかかりにくかったことが影響していると考えられる。いずれにしても、金属製アイスピックはPタイルに対して十分な防滑性能は発揮されていなかった。これにより屋内路面では金属製アイスピックの向きを変えて、杖先ゴムを路面に接触させることが、安全性の面から重要であることが定量的に示された。

b) 氷の場合

杖先ゴムの結果を見ると、乾燥状態では、わずかではあるが基準値を越える値となった(0.41)。これに対して湿潤状態では摩擦係数が0.1程度に留まり、全く防滑効果がなかった。これはやはり氷上での滑りの要因が水であることを示していると考えられる。次に金属製アイスピックの結果を見ると、乾燥状態において低い値の5本爪もほぼ基準値と同程度(0.39)であり、湿潤状態では基準を大きく上回る結果となった。これは湿潤状態の氷は乾燥状態の時よりも柔らかく、金属製アイスピックが刺さり易かったため、摩擦係数が増加したと考えられる。このことから氷に対して金属製アイスピックは、十分な防滑性能を発揮するが、氷が乾燥している場合は、基準値と同程度に低下することから、使用時に注意が必要であるとも言える。

3.2 操作力の定量的評価

先の実験で氷に対する金属製アイスピックの有用性が示されたが、使用する際は、路面に合わせて金属製アイスピックの向きを変える必要があることがわかった。金属製アイスピックの向きを変える場合、レバーを指で押し込む(図3:右)が、このとき金属の支柱を变形させるため、操作力が必要となる。よって、手指の筋力の低下した高齢者の場合、操作が困難になる可能性もあるため、操作力の計測

を行った。レバーと手指(母指と示指)の間に感圧性導電シートをはさみ、滑り止めの操作を行った。その結果、必要な操作力は約28Nであった。一般高齢者の指で押す力は男性で43N(SD15)、女性で37N(SD14)であり⁽⁹⁾、筋力の低下している高齢者の場合は操作が困難となることも考えられる。

3.3 操作性に関するアンケート

金属製アイスピックの向きを変える場合、レバーを指で押し込みながら向きを変えるため、手指の巧緻性も求められる。両手を用いることで操作が容易とはなるが、実際の使用時において荷物を把持している場合などは、片手での操作を強いられ、向きを変えることが困難となる可能性がある。そこで、操作性に関してアンケート調査を行った。対象は手稲区在住の高齢者(60代から80代の43名)であり、アイスピックを片手で操作してもらい、感想を選択肢から選んでもらった。アンケート結果を図8に示す。その結果、操作できなかった高齢者はいなかったが、「かなりやりにくい」という回答が4割を越えていた。このことからアイスピックには操作性に関して改善の余地があると考えられる。

以上の実験およびアンケートの結果から、金属製アイスピックは安全性の面から、路面に応じて向きを変える操作を行わなければならない。しかし、操作力がある程度必要であり、操作性も良いとは言えないということがわかった。この問題点を解決するために、より使いやすさを考えて作られた杖も市販されている⁽¹⁰⁾(図9)。これは杖の支柱内部に滑り止めが内蔵されており、支柱に取り付けたレバーの向きを変えることで、杖先から金属製アイスピックを突出・収納させることができる。このような工夫をすることで、操作の実行性を高めることができると考えられる。しかし、何らかの操作を杖利用者が強いられることには変わりがなく、仮に、杖利用者が操作を忘れてしまうと、滑り止めは機能しないことになる。そこで、路面に応じた操作を必要とせず、屋内・屋外路面共通で使用できる滑り止め具が有用ではないかと考えた。

4. 新しい滑り止め具の開発について

4.1 滑り止め具のコンセプト

先の滑り止め効果の実験結果(3.1.3)から、乾燥状態の氷と比較して湿潤状態の氷では大きく摩擦係数が減少しており、氷上での滑りの要因の一つは表面の水膜であると考えた。この水膜への対策を講

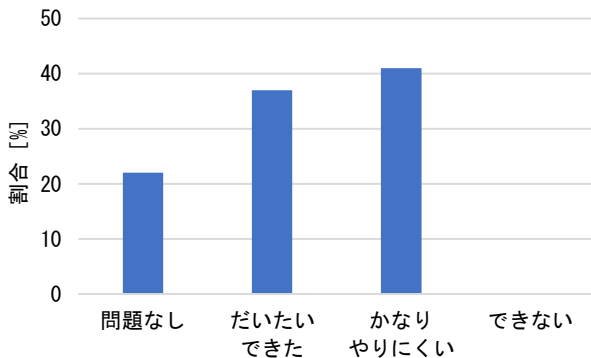


図8 高齢者を対象とした金属製アイスピックの操作性に関するアンケート結果



図9 滑り止め具の操作性に配慮した市販の冬期用杖⁽¹⁰⁾

じ摩擦力を獲得しているものに自動車のスタッドレスタイヤがある。スタッドレスタイヤの表面にはサイプと呼ばれる小さな切れ込みや、発泡ゴムの小さな穴が有り、それらによって除水効果が生まれ摩擦力の増加を図っている。除水の原理は毛細管現象であると考えられ、溝や穴の形状が影響する。また、スタッドレスタイヤと杖先ゴムでは荷重のかかり方や大きさ、さらには動きも異なる。そこで、スタッドレスタイヤのパターンを、そのまま杖先ゴムに

転用するのではなく、簡易的な溝の形状から始め、基礎実験を積み重ねることで杖先ゴムに適したパターンを追求することとした。

4.2 実験目的

スタッドレスタイヤのサイプは複雑に折れ曲がったジグザグな形状の溝である。これは複数の方向に対して路面を引っかくエッジ効果を高めるために設計されている。本研究ではまず溝の除水効果への影響を調べるため、加工しやすい直線の溝を採用した。管の場合、毛細管現象による液面上昇高さは式1のように表され、穴の直径が小さい方がより高く水を吸うことがわかる⁽¹¹⁾。溝に関しても、その幅が影響し、より狭いほど、毛細管現象が発揮されると予想した。そこで、幅の異なる直線の溝を複数用意し、滑り止め効果の検証を行うことを目的に実験を行った。

$$H = \frac{4\sigma\cos\theta}{\rho g d} \quad (\text{式1})^{(11)}$$

H: 液面上昇高さ [m]

σ : 表面張力 [N/m]

θ : 接触角 [deg]

ρ : 液体の密度 [kg/m³]

d: 管の直径 [m]

g: 重力加速度 [m/s²]

4.3 実験方法

実験を進めるに当たり、まず杖先ゴムへの溝の加工を行った。滑り止め効果にはゴムの素材自体も影響を与えると考えられ、検討すべき要素ではある。しかし今回は溝の形状による影響のみに着目しているため、市販の杖先ゴム（ステッキ用替えゴム 19mm用：フジホーム製）を加工して統一使用した。そして溝を加工する前に市販の杖先ゴムの底面に刻まれている同心円状の溝を削り落とし、平面化した。具体的な加工方法としては、まずカッターで荒削りした。次に、治具を用いて杖先ゴムをボール盤に取り付け（図10：左）、杖先ゴムを回転させながら、その底面を耐水ペーパーに押し当てて研磨し、平面化の仕上げを行った（図10：右）。ボール盤を用いたのは、全ての杖先ゴムの底面と支柱の軸を直角にするためである。これにより加工による形状的個体差が無くなり、氷との接触状態を統一できると考えた。

溝の加工は小型のこぎり（刃厚：0.25mm, 0.3mm,

0.6mm)と本学機械工学科実習室の横フライス盤(刃厚:0.8mm)を用い、杖先ゴムの底面全体に均等割し、それぞれ12本の溝を加工した(図11)。スタッドレスタイヤのサイズは商品によっても異なるが、最大で0.3mmというタイヤもあり⁽¹²⁾、今回検討する溝幅は妥当であると考えた。小型のこぎりは手作業となったが、できるだけ均等に加工するように配慮した。溝の深さは、杖先ゴム中にワッシャーが埋め込まれていたため、それに接触しない深さとして7mmで統一した。

計測装置は先の実験と同様である(図4)。使用した杖先ゴムは溝を加工した4種と手を加えていない既製品の杖先ゴムを合わせた5種類とした。加工した溝に対して、直角方向に試験板を移動させた。試験板は氷上性能を調べるため氷のみとし、乾燥状態、湿潤状態で行った。また、氷表面の僅かな凹凸が摩擦に影響を与えると考え、今回はかんなを利用した氷表面を平坦化する工具を自作し、氷表面の平面化を徹底した(図12)。先の実験同様、連続7回計測を行い、計測データのうち最大値と最小値を除外して平均値を求めた。

4.4 実験結果と考察

4.4.1 乾燥状態の氷での摩擦係数

乾燥状態における氷での摩擦係数の結果を図13に示す。グラフの横軸は溝の種類、縦軸は摩擦係数である。グラフを見ると、0.6mmの溝において一番値が小さかったが歩行時の防滑基準である0.4を超えており、全ての杖先ゴムで十分な防滑性能を有していることがわかった。

4.4.2 湿潤状態の氷での摩擦係数

湿潤状態における氷での摩擦係数の結果を図14に示す。グラフの軸は、乾燥状態の結果と同様である。グラフを見ると、どの溝においても既製品の結果である0.1を越えてはいるが、防滑基準の0.4(破線)には満たなかった。各溝の中で比較を行うと、溝幅が狭い0.25mmや0.3mmよりも幅の広い0.6mmと0.8mmの溝の方が摩擦係数の大きい結果となった。毛細管現象を考慮すると、溝幅が狭い方がより除水効果が高く摩擦係数が増加すると考えていた。しかし、実験中ゴム溝に注目すると、外観からの目視ではどの溝においても、水の吸い上げはほぼ確認できなかった。また杖先ゴムの溝の表面(工具による加工面)を目視で観察したところ、横フライス盤を使用した0.8mmの場合、非常に滑らかであるが、小型のこぎりを使用したものは、かなり荒れていて細か

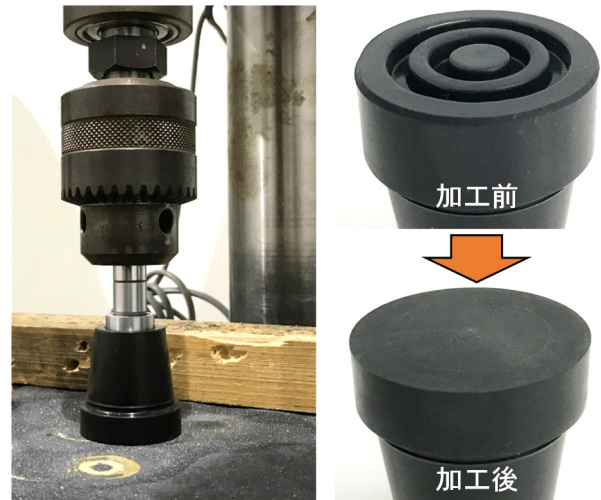


図10 杖先ゴムの平坦化作業の様子
(左:ボール盤による平坦化,
右:加工前後の杖先ゴムの底面の状態)



図11 杖先ゴムに加工した溝
(左から:溝幅0.25mm, 0.3mm, 0.6mm, 0.8mm)

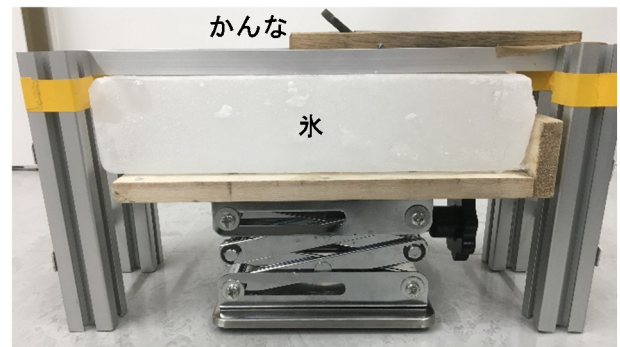


図12 自作した氷表面を平坦化する工具

い突起が見られた。よって、溝幅が狭い0.25mm, 0.3mmでは、この突起により液面上昇が阻害され、また溝幅が広い0.6mmと0.8mmでは、溝の幅が広すぎたため毛細管現象は有効に生じなかったのではないかと考えた。横フライスに取り付けられる刃が0.8mmまでしかないため、今後、別な加工方法を検討し、加工面を滑らかにすることが必要である。

0.6mmと0.8mmに関して、摩擦係数が相対的に大きくなった要因として、溝幅が広い場合、相対的に残っているゴム幅が狭くなるためゴム自体の柔軟性が増す。そのため氷が動くことで、ゴムが変形し角の部分が氷に当たるエッジ効果が生じ、0.6mmと

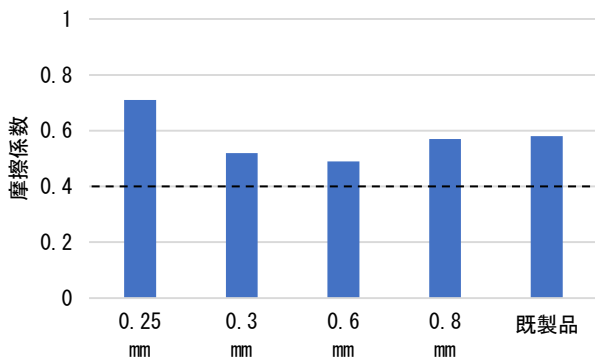


図 13 乾燥状態の氷に対する各杖先ゴムの摩擦係数

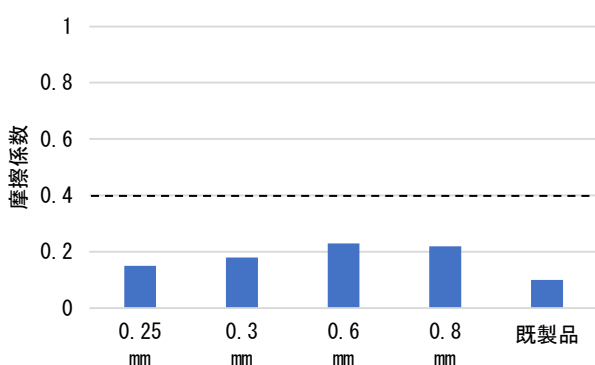


図 14 湿潤状態の氷に対する各杖先ゴムの摩擦係数

0.8mm の溝において静止摩擦係数が大きかったのではないかと考えた。

5. まとめ

本研究では、杖の冬期用滑り止め具に関して、金属製アイスピックの性能を定量的に評価し、その問題点などを考察した。そして、その結果を踏まえて屋内外で切り替え操作を必要としない滑り止め具を提案し、基礎的な実験を行った。今回は加工技術の制限により除水効果に影響を与えたと考えられるが、簡易的な直線型の溝であっても、濡れた氷に対してエッジ効果により滑り止め効果が向上することがわかった。

今後は、除水効果を確認するために、精度の高い細かい溝加工技術の考案が必要である。またスタッドレスタイヤに使われている小穴による除水効果の検証や、より複雑な溝による摩擦への影響を調べるが必要となる。また、冬期用靴などでは貝殻の粉末を混合したゴム材を鞋底に使用しているものもあるので、杖先ゴムについても材料の面から検討することも必要であると考えられる。

以上のような検討を重ねることで、より優れた杖の冬期用滑り止め具の開発につながれると考えている。

参考文献

- (1) 国土交通省北海道開発局：冬期道路管理，pp. 3-7，2002.
- (2) さっぽろウインターライフ推進協議会：転ばないコツおしえます。、2017年12月20日，<http://tsurutsuru.jp/toukei1.html>.
- (3) さっぽろウインターライフ推進協議会：ころばん保存版，pp. 1-2，2006.
- (4) 公益財団法人東京都福祉保健財団：とうきょう福祉ナビゲーション，2017年12月20日，http://www.fukunavi.or.jp/fukunavi/kiki/tsue/tsue_03.html.
- (5) 株式会社コテツコーポレーション：CATALOG，Vol. 7. 2，p. 30，2015.
- (6) 村中医療器株式会社：アイスピック取扱説明書，K61-915-007-02，2015.
- (7) Panatec Corporation：杖ステッキ館，2017年12月20日，<https://www.panatec.jp/accessories/icepick/>.
- (8) 一般財団法人 製品安全協会：棒状つえの検査マニュアル，pp. 3-8，2017
- (9) 佐藤方彦：人間工学基準数値数式便覧，技報堂出版，p. 122，1999.
- (10) 株式会社ワイズ：つえの誠屋，2017年12月20日，<http://ys-tsue-makotoya.jp/products.html>.
- (11) 中林功一，山口健二：図解によるわかりやすい流体力学，森北出版株式会社，pp. 7-8，2010.
- (12) 横浜ゴム株式会社：iceGUARD BLACK，2017年12月20日，<http://www.yokohamatire.jp/ycr/japan/tire/brand/studless/ig20.html>.