

---

# 氷上における靴の滑りに関する研究

都立皮革技術センター台東支所 吉村圭司

---

## 1. はじめに

歩行時の滑り、つまづきによる転倒はしばしば大きな問題となっており、滑りが原因となる怪我の件数は依然として多い<sup>1-3)</sup>。その原因としては、床面と靴底の材質との関係、靴底の意匠、床面の表面状態や汚染状況等、さらには人の感覚能力、生体力学、神経筋肉系調節力、情報処理能力、年齢、歩様等の要因が考えられる。これらの無限に近い組み合わせにより問題が複雑化している。滑りの大部分は雪、氷、水、油等液体で濡れた表面で起こっており<sup>4)</sup>、特に氷上では、最も滑りやすく危険であると言われている。現在の市場ではPL法の施行により、消費者向けの製品は安全性が要求されるようになっている。靴にとっても例外ではなく、特に滑りは怪我に直接つながり、重度の障害や死亡にまで至る問題でもあり、企業としては安全な製品を開発することが必要である。

靴の滑りに関しては、安全上の問題として関心も高く、様々な方法で研究が行われてきた。試験方法は大きく分けて靴底素材で試験する方法と製品となった靴で試験する方法が開発されている。1985年の時点で70種類以上の試験機が開発されている<sup>4)</sup>ことを考えると、現在では100種類を超える試験機が開発されていると考えられる。完成した靴の試験についても、実際に靴を履いて斜面上やフォースプレート上を歩行し測定する方法<sup>5-8)</sup>、各々の耐滑性試験機によって

測定する方法<sup>9-13)</sup>等によって行われている。

耐滑性の規格については、安全靴ではISO TR 11220:1993、Footwear for professional use - Determination of slip resistance (専門家使用の靴 - 耐滑性の測定) や安全靴技術指針等の規格が制定されている。また、床材においても、JIS A 1407:1994、床の滑り試験方法(振子形)、JIS A 1454:1998、高分子系張り床材試験方法、TR A 0002:1997、建築用床材 - 床の滑りやすさ評価指標が制定されている。一般の靴についてはISOの審議会によって、ISO/AWI 20878 Footwear - Test methods for outsoles and top pieces - Slip resistance (靴 - 表底とトップピースについての試験方法 - 耐滑性) として現在審議中であるが、基本的には安全靴のISOとほぼ同一であり、今後の審議状況が気にかかる場所である。一般靴については、今のところ滑り試験や評価に関しては、統一された方法や見解が存在しない。特に、氷上における靴底の滑り特性については検討した報告は限られており<sup>14-16)</sup>、製造業者からは、種々の実路面に対する靴底の滑りを簡便に把握できる手法の確立が切望されている。

そこで本研究では、最も滑りやすい路面である氷上の滑りに焦点を当て研究を行った。すなわち、試験用としてゴム硬度及び溝の深さを変えた紳士靴を用意し、SATRA製靴底耐滑性試験機<sup>10, 11, 17)</sup>を用いて氷上における靴底の摩擦特性について検討した結

果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1 試験用靴

靴は、図1に示す紳士靴とし、単純な意匠を持ち溝の深さを変えた試験用靴12足、市販品と同じ意匠を施した試験用靴4足(図1)および市販靴3足の計19足について試験した。なお、靴のサイズは25.5とした。表1に示すように、試験用靴は、ゴム硬度30、40、50、60の4種類に対し、溝の深さ1mm、3mm、5mmの3種類、計12足、市販品と同じ意匠を施した靴は、ゴム硬度30、40、50、60の4種類、計4足を用いた。市販靴(表2)は、平滑な底の靴1足および防滑性を高めたとされている北海道限定販売の靴2足の計3足を用いた。ただしゴム硬度は、JIS規格A型の硬度計を用いて測定したものである。なお、底材に使用したゴムの配合を表3に示す。

### 2. 2 摩擦特性の測定

靴底の摩擦特性を測定するために、図2 a)に示す靴底耐滑性試験機(SATRA、Slip Resistance Tester STM603)を使用した。本試験機は、空気圧により靴を床に対し垂直方向に一定力で押付け、続いて床を水平方向に滑らせ、その時にかかる水平方向の負荷を測定する方式である。得られた水平方向の負荷を、垂直方向の負荷で割ることで算出された結果を摩擦係数としている。氷を作製するために、図2 b)に示す氷作成装置(SATRA Ice Tray STM603 Ice)を使用した。氷を作るアイストレイは、温度設定を変化させることができ、氷の状態を変化させることが可能である。

試験はSATRA PM144:1999に準じて行った。試験用靴は、中性洗剤で洗浄後、水洗を十分に行い乾燥させた。試験は1足



図1 試験用靴の概観

試験用靴の概観(a)、試験用靴の意匠(b)、市販品と同様の意匠を施した試験用靴の意匠(c)

表1 試験に使用した試験用靴及び意匠付き靴

ゴム硬度 JIS A型	サイプ深さ			意匠付
	1mm	3mm	5mm	
ゴム硬度30	301	303	305	300
ゴム硬度40	401	403	405	400
ゴム硬度50	501	503	505	500
ゴム硬度60	601	603	605	600

表2 試験に使用した市販靴

	特徴	記号
底の平滑な靴		010
防滑性を高めた靴1	ガラス繊維	06S
防滑性を高めた靴2	珪砂	07P

表3 靴底材の配合

種類	HA30	HA40	HA50	HA60
イソプレングム	15.7	17.8	20.1	18.2
スチレンブタジエンゴム	23.6	26.7	30.1	27.3
シリカ	7.9	8.9	10.0	18.2
酸化アルミ	11.8	13.4	15.0	13.7
ガラス繊維	11.8	13.4	15.0	13.7
可塑剤	21.6	11.1	0	0
他	7.6	8.7	9.8	8.9
	100.0	100.0	100.0	100.0

(左右)につき、爪先、踵、足裏全体について測定した(図3)。なお、踵の接触角度は5度で測定した。氷路面については、蒸留水および水道水をアイストレイに入れ、所定温度に設定し氷を作製した。氷表面温度の相違による摩擦係数の変動を見るため、アイストレイ設定温度は

+2℃、-3℃および-15℃の3条件で行った。その際の氷の状況は表4に示す。なお、設定温度が+2℃の場合は、氷表面に水が若干浮いている状態であった。試験前には、冷却用トレイに蒸留水(あるいは水道水)を入れ、あらかじめ靴底の冷却を行った。アイストレイに氷ができた後、氷の表面をかんなで平滑に仕上げた。靴型を取付けた試験靴を冷却用トレイで5分間保持し冷却し、その後、SATRA靴底耐滑性試験機により氷上における摩擦係数を測定した。

なお、滑り試験の測定条件は、SATRA PM144:1999に基づき、Static Delay(測定までの遅延時間)、0.2sec; Vertical Load(垂直方向の荷重)、400N; Surface Speed(滑り速度)、100mm/sec; Slip Distance(滑り距離)、75mmで行った。



図2 SATRA耐滑性試験機STM 603(a)及び氷作成装置(b)の概観



図3 踵(a)及びつま先(b)の測定

また、試験時の室内環境は、温度19.5℃～23.5℃、湿度31～51%RHであった。

得られたデータは図4に示す。0.2秒静止後0.3秒後の動摩擦係数（測定後0.5秒後）のデータを動摩擦係数としている。また、最大性摩擦係数を読み取ることも可能である。ここでは動摩擦係数を採用した。

## 2. 3 官能試験

試験用靴について、成人男性5名により、苫小牧市内のアイススケートリンクで試履試験を行い滑りに関する官能試験を行った。アイススケートリンクの条件は、室温7.3℃、氷表面温度-1.5℃～+2.1℃であり、氷表面には水を撒き氷表面に水が浮いている状態で官能試験を行った。評価は、1～5の5段階（5：非常に滑りにくい、4：滑りにくい、3：普通（どちらでもない）、2：滑りやすい、1：非常に滑りやすい）で評価を行い、5人の平均値を示した。

また、横浜ゴム旭川テストコース（全天候型氷盤路）においても、成人男性5名により同様の官能試験を行った。このテストコースは屋外に設置されているが、ドーム所の囲いがあり、雪や風などの影響の無い試験が可能である。また、入り口部分は、気象条件によっては雪などが吹き込み氷の上に粉雪が積もった状態や、晴れた時間帯には太陽の日差しで氷の表面が薄っすらと融けている状態にもなる。そのため、気温や氷表面温度が異なる条件で官能試験を行うことが可能である。実際の測定時の条件は表5に示す。

## 3. 結果

### 3. 1 摩擦特性

踵、爪先、水平について、温度および水の種類（蒸留水、水道水）を変えて摩擦係数を測定した結果を図5、6に示す。ただし、設定温度が+3℃の場合及び蒸留水についてのデータを示していない。アイストレイ設定温度が-15℃では摩擦係数が0.25～0.8、設定温度が-3℃の際は、0.35～0.6であるのに対して、設定温度が+2℃の場合は急激に摩擦係数が低下し0.04～0.15となっており、氷表面温度が高いほど、摩擦係数は低くなり、滑りやすくなることが示された。同一の靴を使用して冷凍庫内の温度を2℃から-10℃で行った二瓶ら<sup>18)</sup>の簡易摩擦係数測定の結果においても、温度が高いほど摩擦係数は低くなった。これらの結果は、-1℃から-6℃で静止摩擦係数を測定した小林らの結果<sup>19)</sup>や-10℃と0℃において測定したGröenquistとHirvonenの結果<sup>14)</sup>とも一致している。氷表面温度によって、滑りの挙動が全く異なることが示され、氷表面温度が摩擦係数に大きく関与

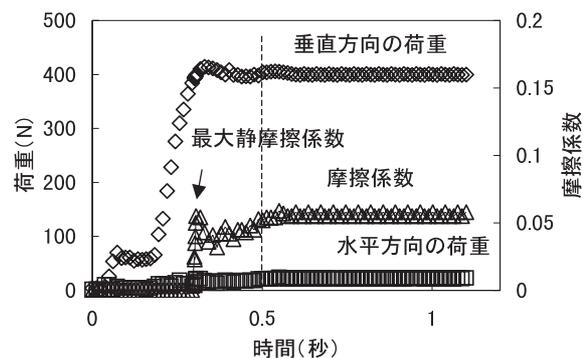


図4 得られた摩擦係数データ

表4 実験条件と氷の状態

設定温度 (℃)	氷表面温度 (℃)	水の種類	融解水の導電率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	氷の硬さ
-15	-12.0～-14.5	蒸留水	0.9～ 5.0	94
-15	-12.0～-14.5	水道水	140.0～210.0	94～95
-3	- 2.1～- 3.5	蒸留水	1.2～ 1.3	92～93
+2	- 0.1～- 1.2	蒸留水	0.9～ 3.0	92～93
+2	- 0.1～- 1.2	水道水	169.0～203.0	95～93

表5 官能試験の環境条件と氷の状態

官能試験	気温 (°C)	氷温 (°C)	融解水の導電率 ( $\mu\text{S/cm}$ )	氷の硬さ
1	-4.0	-2.7~-3.7	200	92
2	-2.8	-2.8~-3.0	200	92
3	-1.7~-2.8	-1.7~-3.0	200	92
4	-2.8~-3.2	-2.7~-3.3	200	92
5	-1.8~-2.2	-1.8~-2.2	-	93

ただし、3回目は西日が入っている状態、5回目は雪の影響が大きい状態。

することが示唆された。

測定部位の影響については、全体的な傾向として、氷表面温度、ゴム硬度、溝の深さに関わり無く、ほぼ踵部分が最も滑りやすく、次いで、爪先、水平の順番であった。すなわち、実際の歩行においては、踵が路面と接地する時に最も滑りやすく、次いで、蹴り出し時に滑りやすいことが示唆された。これは、踵の滑りが背面への転倒につながり危険であるので注意すべきことである。

ゴム硬度の影響については、設定温度が $-15^{\circ}\text{C}$ では、ゴム硬度が高いほど摩擦係数が高く滑りにくい傾向であった。しかし、設定温度が $+2^{\circ}\text{C}$ の場合は、 $-15^{\circ}\text{C}$ の結果とは逆に、ゴム硬度が低いほど摩擦係数が高く滑りにくい傾向が認められた。

蒸留水と水道水の摩擦係数における差は、設定温度が $-15^{\circ}\text{C}$ の場合はほとんど見られなかった。一方、設定温度が $-2^{\circ}\text{C}$ の場合は、蒸留水に比べ、水道水の方が滑りやすい傾向があった。これは、氷表面温度が $0^{\circ}\text{C}$ 付近の場合、水道水の導電率は蒸留水に比べて高く、不純物を多く含んでいるため、水の凝固点降下が生じ、氷がより液体に近い状態になり、滑りやすくなるものと考えられる。しかし氷表面 $-12^{\circ}\text{C}$ といった低温では、凝固点降下の効果が $0^{\circ}\text{C}$ 付近に比較して低下するため、蒸留水と水道水による摩擦係数の差が見られなかったものと考えられる。実際の路面では、不純物が多い氷であることが考えられることから、

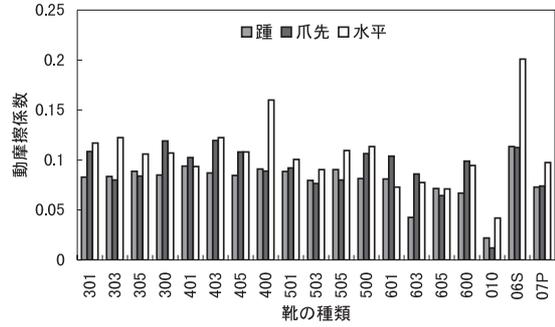


図5 設定温度 $+2^{\circ}\text{C}$ における靴の部位別摩擦係数（水道水）

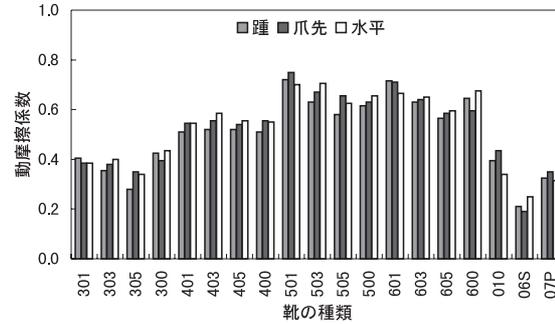


図6 設定温度 $-15^{\circ}\text{C}$ における靴の部位別摩擦係数（水道水）

より滑りやすい条件であると想定される。

次に、各試験靴のアイストレイ設定温度における摩擦係数と溝の深さの関係について見ると、設定温度が $-15^{\circ}\text{C}$ の場合は、溝の深さが浅いほど摩擦係数が高く滑りにくい傾向が見られたが、設定温度が $+2^{\circ}\text{C}$ の場合は、溝の深さの影響と考えられるような差は見られなかった。すなわち、溝の深さの影響がわからないほど滑る状況であるともいえよう。AbysssekeraとGaoによれば<sup>15)</sup>、 $0^{\circ}\text{C}$ の水上の摩擦係数は小さく靴間の相違は認められず、このような氷の上では、靴底の特性値は滑りを防ぐ上でほとんど効果を持たないので、歩行様式の変更、靴のバランス性の改善、滑り防止器具の装着を考えるべきであることを提案している。

### 3. 2 官能試験

アイススケートリンクにおける官能試験の結果を図7に示す。この時の条件は、一

般の冬道で外気温が0℃以上でも路面が凍っており、薄っすらと融けかかっている状態とほぼ等しく、いわゆるツルツル路面に近い状態である。ほとんどの靴が滑りやすい評価であるが、市販靴の中で06Sが著しく評価が高かった。また、ゴム硬度が低いものほど滑りにくく、また、溝の深さが深いものほど滑りにくいことが認められた。

旭川テストコースの結果は第1回目と第3回目の結果を示す(図8)。アイススケート場で行った結果と同様に、ゴム硬度が低いものほど滑りにくく、また、溝の深さが深いものほど滑りにくいことが認められた。氷の表面が薄っすらと融けている状態や氷の上に粉雪がある状態では官能値が著しく低下した。

これらの結果を見ると、氷表面が濡れた状態や粉雪が積もっている状態では官能値が極端に低く非常に危険であることが示された。氷表面温度が低いほど官能試験の結果は高く、氷表面温度が高いほど官能値は低いことがわかった。また、氷表面温度のわずかな差でも、官能試験には現れることが認められた。

### 3. 3 摩擦特性と官能試験の相関

また、氷温度が最も類似しているアイススケート場での官能試験の結果とSATRA耐滑性試験機による試験データ(踵、爪先、水平の平均値)から、相関性を求めたものが図9である。蒸留水、水道水に関わらず官能試験の結果と測定値は相関性を示した。今回の官能試験では-15℃のような低温でしかも室温が常温であるような条件は無かったので、残念ながら-15℃における相関関係を見ることはできなかった。最も滑り易い0℃付近では相関性も高いことから、本試験方法が靴の氷表面の滑り試験に有効であることが認められた。

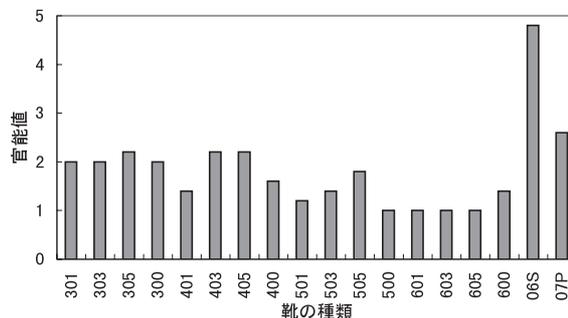


図7 スケートリンクにおける官能試験  
室温7.3℃、氷表面温度-1.5~+2.1℃、氷表面に水が浮いている状態。5段階評価で5人の平均値を示した。

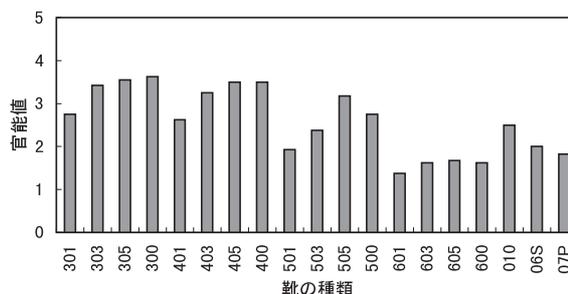
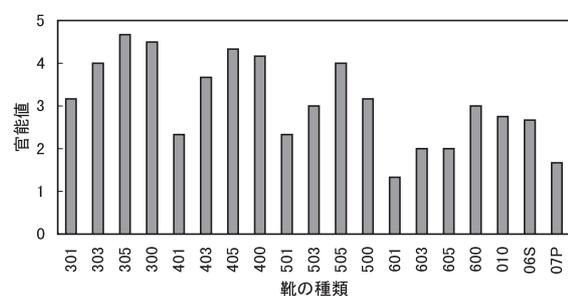


図8 旭川における官能試験の相関性  
条件は表5に示した。結果は5段階評価の平均値で示した。第1回目(上)と第3回目(下)。

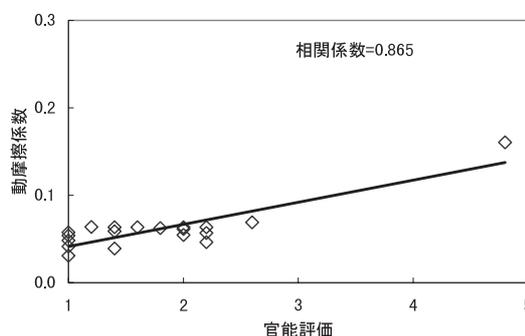


図9 摩擦係数と官能試験との相関性  
踵の動摩擦係数とアイススケートリンクでの官能評価で求めた。

#### 4. まとめ

種々のゴム硬度で、かつ単純な意匠を施し溝の深さを変えた靴底を有する試験用紳士靴を用いて、SATRA靴底耐滑性試験機により測定した常温下での氷上における靴底の摩擦係数と、氷上での官能評価の結果を検討した。

本試験により、官能検査との相関性が高いことが確認できたことから、氷上における靴底の耐滑性試験として本試験方法が有効であることが示された。氷上での摩擦係数は、0℃付近が最も滑り易いため0℃付近の試験が重要であることが認められた。

氷表面温度の差による滑りの違い、意匠と滑りの関係等、なお不明な点が多く残されており、氷上での滑りメカニズム解明には至っていない。今後はこれらの課題の解決に向けて研究を行っていく必要がある。

#### 参考文献

1. Meserlian, D. C., *Professional Safety*, **40**, 24–29 (1995) .
2. Björnstig, U., Björnstig, J., Dahlgren, A., *Accident Analysis and Prevention*, **29**, 211–215 (1997) .
3. Chaffin, D. B., Woldstad, J. C., Trujillo, A., *American Industrial Hygiene Association Journal*, **53**, 283–289 (1992) .
4. Strandberg, L., *Ergonomics*, **28**, 131–147 (1985) .
5. Skiba, R., Bonefeld, X., and Mellwig, D., *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, **37**, 227–232 (1983) .
6. Swensen, E. E., Purswell J. L., and Schlegel, R., *E. Human Factors*, **34**, 67–77 (1992) .
7. Hanson, J. P., Redfern, M. S., and Mazumdar, M., *Ergonomics*, **42**, 1619–1633 (1999) .
8. Fendley, A. E., and Marpet, M. I., *Journal of Testing and evaluation*, **24**, 359–367 (1996) .
9. Grönqvist, R., Roine, J., Järvinen, E., and Korhonen, *Ergonomics*, **32**, 979–995 (1989) .
10. Wilson, M. P., Slip, Stumbles, and Falls: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 113–123 (1990) .
11. Wilson, M. P., *Journal of Testing and Evaluation*, **24**, 377–385 (1996) .
12. 永田久雄, *靴の医学*, **4**, 56–60 (1990) .
13. 秋葉光男, 田上朝朗, 山口幸一, *皮革科学*, **45**: 17–21 (1999) .
14. Grönqvist, R., Hirvonen, M., *Industrial Ergonomics*, **16**, 191–200 (1995) .
15. Abeysekera, J., and Gao, C., *International Journal of Industrial Ergonomics*, **28**, 303–313 (2002) .
16. Xiao, J., Liang, H., Crisenberry, R., and Cook, M., *ASTM Special Technical Publication*, **1404**, 185–196 (2002) .
17. *World Footwear*, **16**, 45–46 (2002) .
18. 二瓶光弥, 池田洋教, 白崎芳夫, 林和彦, 野口勉, 吉村圭司, 石井均, *寒地技術シンポジウム論文集*, **18**, 559–566 (2002) .
19. 小林俊市, 納口恭明, 河島克久, *寒地技術シンポジウム論文集*, **11**, 476–479 (1995) .