

凍結路面におけるすべり摩擦係数と歩行感覚に関する検討

Study on the relationship between coefficient of skid resistance and walking sensibility on icy pavements.

北海学園大学工学部	○学生員	高橋 陽子 (Yoko Takahashi)
北海学園大学大学院	学生員	本間 裕介 (Yuusuke Honma)
北海学園大学大学院	学生員	田近 裕善 (Hiroyoshi Tajika)
北海学園大学工学部	正員	武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)

1. はじめに

近年、積雪寒冷地を中心に冬期のつるつる路面での転倒事故が顕著となっており、歩行者に対する路面管理基準の向上の必要性は高まる一方である。歩行者を対象とした路面管理には、さまざまな対策や試みがされているが、刻々と路面状況が変化する冬期では、管理基準を明確に設定することは困難であると思われる。また、対象が人間であることも、人間の感覚を定量的に表し路面管理基準に反映させなくてはならないという意味で困難である。さらには機械で測定したすべり摩擦と人間の歩行感覚との関係も不明確である。

そこで本研究では、歩行者に対する路面管理基準の提案を目的とし、その基礎段階として、人間の「すべる」という感覚と、機械で測定したすべり摩擦係数との関係を明らかにすることを試みた。

2. 試験概要

2.1 試験室および試験装置概要

試験は、凍結路面走行試験装置室内で行った。この試験室は、 -30°C ～ $+60^{\circ}\text{C}$ まで温度調節が可能である。試験室内には3種類の肌理の異なるアスファルト舗装(密粒度13F舗装・SMA舗装・排水性舗装)が施工されている。なお今回は各舗装の表面形状が歩行感覚に影響しないよう舗装上に厚い氷板を作成し表面を均一にして試験を行った。

試験室内には走行試験装置があり、駆動モーターとタイヤを制御する制動モーター、及びタイヤ輪が装着されている。この試験装置では、タイヤを完全にロックした状態で走行し、すべり摩擦係数を測定する制動試験、スリップ率を設定して実際の車のABS (Antilock Brake System) が作動した状態を再現することができるスリップ率設定制動試験、タイヤの繰り返し走行試験を行うことが出来る。この試験装置の最大輪荷重は 5.0kN、最大走行速度は 10.0km/h まで設定が可能である。写真-1 は本試験に用いた室内凍結路面走行試験装置である。

2.2 路面作成

本研究における試験路面は、それぞれの試験路面においてすべり摩擦係数に差異が生じるように路面状態を変化させた4種類とした。ここで、第一路面を乾燥氷板路面、第二路面を湿潤氷板路面、第三路面を砕石 100g/m²散布路面、第四路面を砕石 250g/m²散布路面とする。砕石には、粒径 2.5～5.0mm の7号砕石を使用した。

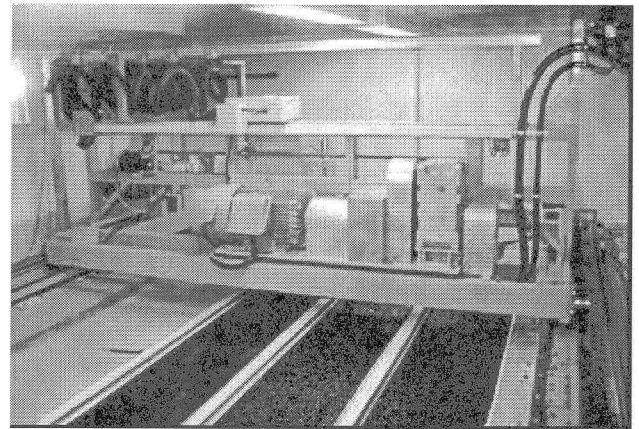


写真-1 室内凍結路面走行試験装置

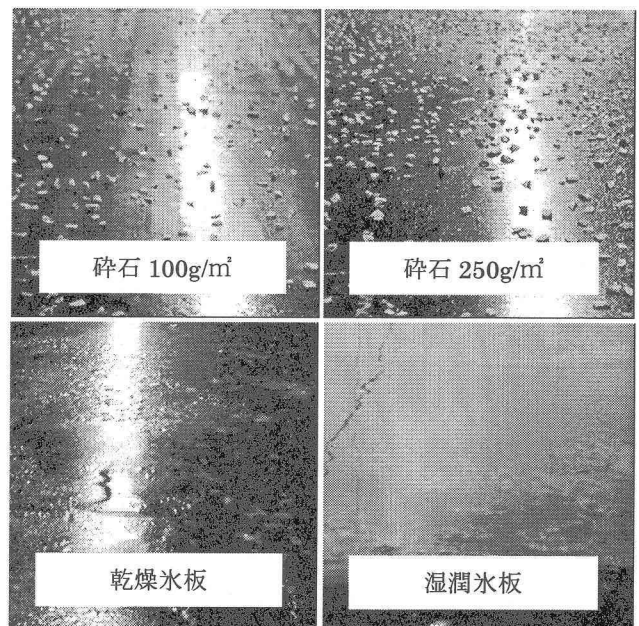


写真-2 試験路面写真

砕石散布量の決定については、乾燥氷板路面のすべり摩擦係数に対し、ある程度の差が生じるようにした。

砕石散布量とすべり摩擦係数の関係を把握するために、予備試験として散布量をそれぞれ 100g/m²、150g/m²、200g/m²、250g/m²の砕石を散布した路面を作成し、それぞれのすべり摩擦係数を算定した。その結果、本研究における散布量の範囲では、砕石散布量とすべり摩擦係数との間には、正の相関があることがわかった。そこで、最も高い 250g/m²と最も低い 100g/m²を採用した。

各路面の作成方法としてはまず、乾燥氷板路面は、試験室内の気温を約-10℃付近（路面温度にして-5℃）にまで下げて、冷えた舗装に霧状の水を何度も散布していき、厚さ約3mmになるまでこの作業を繰り返して作成する。碎石散布路面は、散布量を100g/m²と250g/m²の2種類とし、ともに路面温度-5℃の乾燥氷板路面に、90℃に加熱した碎石をおのおのの分量だけ路面全体に均一に散らばるようふりいで散布して作成した。

今回碎石を加熱した理由は、被験者の歩行により碎石が飛散するのを防止し、各被験者に対する試験路面の状態を一定に保つためである。

湿潤氷板路面は、一度乾燥氷板路面を作成し、試験室温度を5℃、路面温度にして0℃付近にまで上げ、表面に薄い水膜を存在させた状態とした。

以上4つの路面の様子を、写真-2に、また路面作成時の条件を表-1に示した。

2.3 歩行試験

歩行試験は前述した4つの路面について行った。路面評価の方法としては、被験者にそれぞれの試験路面を実際に歩行してもらった後、「すべる・ややすべる・すべらない」の3段階で評価をしてもらうこととした。

被験者は、21歳～24歳の学生健常者である。試験は、恒温設備のある室内で二日間にわたり実施した。試験路面は幅0.5m、長さ8.3mである。

第1日目は、乾燥氷板路面と碎石250g/m²散布路面を被験者に歩行してもらった後、それぞれの路面を評価してもらった。第2日目は、湿潤氷板路面と碎石100g/m²散布路面について歩行試験を行い、同様に被験者による路面評価を行った。また、これに併せて歩行時間の測定も行った。測定にはストップウォッチを用いた。ここで、被験者データを表-2に、実際の試験の様子を写真-3に示した。

2.4 すべり摩擦係数測定

すべり摩擦係数の測定には、室内凍結路面走行試験装置で制動試験を行い求めた。また一つの試験路面につき3箇所を測定し、3つのデータの平均値をその路面のすべり摩擦係数とした。図-1に試験装置のすべり摩擦係数測定範囲を、また制動試験の試験条件を表-3に示した。

制動試験とは、タイヤが路面に接地された状態で、走行試験装置の速度が設定値に達すると同時にタイヤがロックされ、その状態におけるタイヤ回転中心軸に掛かるトルクを測定するものである。この試験から得られるデータは、走行速度、輪荷重、タイヤトルクである。すべり摩擦係数 μ は、荷重 F 、タイヤトルク Mt 、タイヤ半径 r から式(1)により求められる。

すべり摩擦係数算出には以下の式(1)を用いた。

$$Mt = r \cdot F \cdot \mu \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここで、 Mt ：タイヤトルク(Nm)

r ：タイヤ半径(m)

F ：荷重(N)

μ ：すべり摩擦係数

表-1 作成路面

路面状態	試験室内温度	路面温度	散布時温度
湿潤氷板	-5.0℃	-0.5℃	—
乾燥氷板	-10.0℃	-5.0℃	90℃
碎石100g/m ²			
碎石250g/m ²			

表-2 被験者データ

被験者数	11名(内、男性10名、女性1名)
年齢	21～24歳の学生
服装	ジャケット・軍手着用、スニーカー

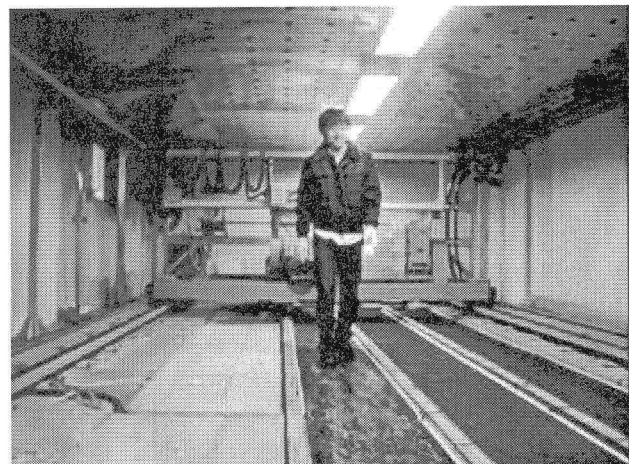


写真-3 歩行試験の状況

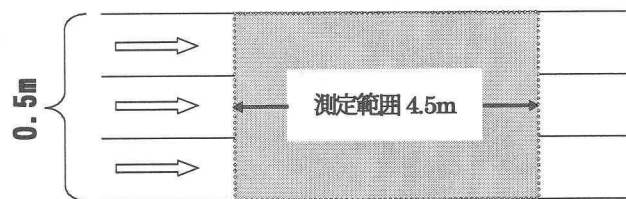


図-1 すべり摩擦係数測定範囲

表-3 制動試験条件

試験機	室内凍結路面走行試験装置
輪荷重	2.5kN
走行速度	10km/h
使用タイヤ	普通自動車用スタッドレスタイヤ 規格 165/80R13 83Q

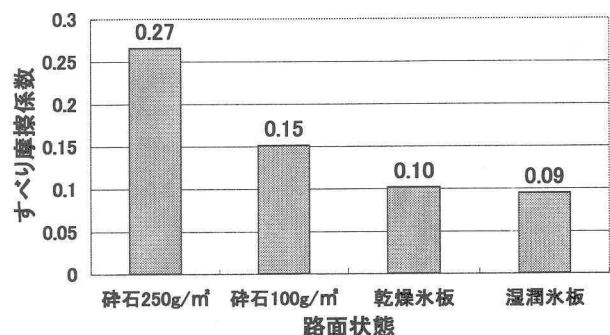


図-2 各路面のすべり摩擦係数

3. 試験結果

3.1 各試験路面のすべり摩擦係数

試験を行った4つの路面のすべり摩擦係数は、図-2に示すとおりである。碎石 250g/m²散布路面が0.27と最も高い値を示し、湿潤氷板路面が0.09と最も低い値を示す結果となった。各試験路面のすべり摩擦係数を比較すると碎石散布の有無ではすべり摩擦係数に差があり、また散布量によっても顕著な違いがあるのが分かる。しかし、乾燥氷板路面と湿潤氷板路面でのすべり摩擦係数にはそれほど差がみられず、同等の値と考えられる。

3.2 被験者の路面評価

歩行者試験で、4つの試験路面を歩行した後に行ったアンケート調査の結果を図-3に示した。この図は、被験者の試験路面に対する評価をパーセンテージで表したものである。湿潤氷板路面に対しては、91%の人が「すべる」と感じ、「すべらない」と感じる人は0であった。乾燥氷板路面では「すべる」が18%、「ややすべる」が46%、「すべらない」が36%と、評価が3つに分かれる結果となった。碎石散布路面に至っては、散布量に関わらず、すべての人が「すべらない」と感じる結果となった。ここで、すべり摩擦係数と人の感覚との関係を図-4に示した。

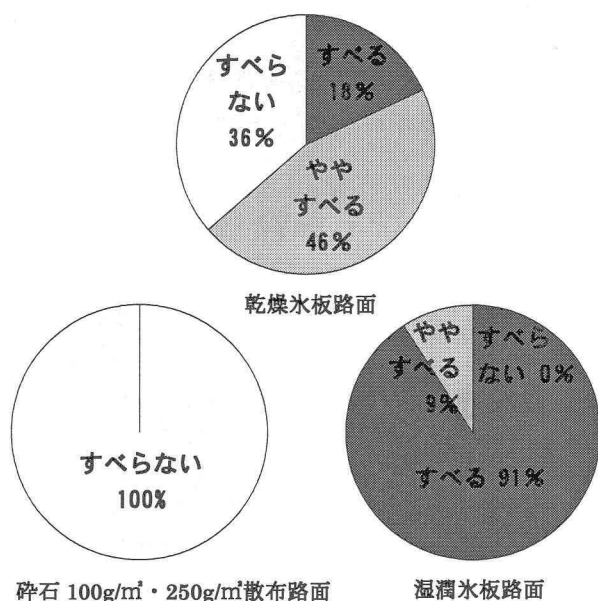


図-3 被験者の各路面評価

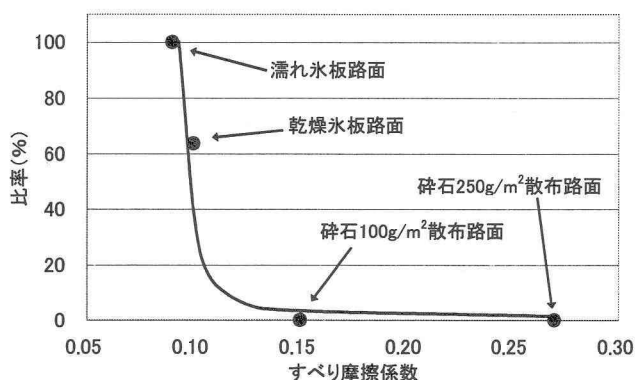


図-4 すべり摩擦係数と路面評価の関連性

比率とは、被験者全体に対して「すべる」及び「ややすべる」と感じている人の割合を示したものである。乾燥氷板路面と濡れ氷板路面について比較すると、すべり摩擦係数がほぼ同等なのに対し、人の感覚には大きな違いがあることが分かる。よって、人が「すべる」と感じる大きな要因の一つとして、路面形状があるのではないかと考えられる。

4. 考察

4.1 すべり摩擦係数と人の感覚について

一般的に、自動車専用道路におけるすべり摩擦係数の基準値としては、0.25以上が必要とされている²⁾。それに対し、人間の歩行に必要なすべり摩擦係数としては、Schuster,K.は0.25以上であれば十分安全であるとしている。また、CarlsooとSvenは摩擦係数の範囲は0.1~0.64の間にあり、一般に0.3より小さい場合はすべる危険があり、すべらないためには0.5以上が必要であるとしている。一方、Gurney,S.W.は0.2以下ではすべりやすく、0.25以上ではすべらないとしている³⁾。このように、人間の歩行に必要なすべり摩擦係数に関してはさまざまな説があり、いかに人間の感覚の扱いが困難であるがよくわかる。

今回の試験結果では、碎石 250g/m²散布路面のすべり摩擦係数が約0.27と4つの路面の中でもっとも大きい値を示し、次に碎石 100g/m²散布路面で0.15と差があるものの、被験者全員一致で両者の碎石散布路面を「すべらない」と評価している。また乾燥氷板路面と湿潤氷板路面では、被験者の大半が「すべる」あるいは「ややすべる」と評価していて、碎石散布路面と乾燥氷板路面との間で、評価が大きく二分される結果となった。

さらには、乾燥氷板路面と湿潤氷板路面では、すべり摩擦係数がほぼ同じであるが、乾燥氷板路面で「すべらない」と感じていた被験者も、湿潤氷板路面では一転して「すべる」と感じている結果となった。

一般的に人間の歩行に必要なとされているすべり摩擦係数は0.25以上であるが、これよりも低いすべり摩擦係数0.15の碎石 100g/m²散布路面であっても、人は「すべらない」と感じていることから、少なくとも碎石散布路面については、今回使用した試験機でのすべり摩擦係数と人の感覚は、一般的に言われている基準値とは一致しないようである。

4.2 路面状態の違いと人の路面評価について

今回の試験路面は、乾燥・湿潤の違いはあるがともに平坦な氷板路面と、碎石散布により凹凸のある路面という、表面形状が異なるものである。

被験者が路面状態をどのように把握しているかであるが、碎石散布量の異なる2つの路面では、被験者は散布量に関係なく「すべらない」と評価していることから、250g/m²と100g/m²の碎石散布路面をほぼ同一の路面状態と判断していることがうかがえる。よって、碎石散布路面に関しては、同一の表面形状の路面ですべり摩擦係数の違いを歩行感覚で捉えるには至っていないことがいえる。

表面形状と人間の歩行感覚の関係については、歩行時に地面を蹴り出す際の取っ掛かりが歩きやすさに関わって

いるとするならば、碎石散布によりできた表面の凹凸が、「すべらない」という評価に影響しているのではないかと考えられる。

また、湿潤水板路面についても、靴がしっかりと路面を捉えることが難しく、乾燥路面を歩行するのと同じ感覚で路面を思いきり蹴り出すのが困難な様子が見受けられた。

以上のことから、人間は路面を状態で捉えていると考えられ、人間の歩行感覚にも、すべり摩擦係数より路面状態の方が大きく影響していると思われる。

今回作成した路面は、あくまでも試験路面であり、実際は様々な環境の影響を受け、路面状態が多様化することが十分考えられる。よって、路面状態が異なれば、すべり摩擦係数の基準値も変わってくることが考えられる。

4.3 歩行速度

人はつるつる路面を歩行していてすべる危険性を感じた際に、様々な反応や行動を起こすと考えられる。そういった反応行動の一つとして、歩行速度が挙げられる。そこで本研究では、乾燥路面における歩行時間と各試験路面での歩行時間を測定し、被験者全体の平均歩行速度を比較することとした。その結果を図-5に示す。乾燥路面の歩行速度1.32m/sを基準として、湿潤水板路面では1.12m/s、乾燥水板路面で1.20m/sと歩行速度が低下している傾向がみられる。それに対し、碎石散布路面では同等もしくは早まる傾向があると考えられる。しかし、全体的にみてその差は僅かであるため、一概に歩行速度が変化していると判断するには懸念が残る。そこで、乾燥路面と各試験路面における歩行速度の差が有意であるのかを、有意検定を行うことにより検証することとした⁴⁵⁾。方法としては以下に示す仮説を立て、右側検定として検証することとした。

帰無仮説: 乾燥路面に対して試験路面 x は歩行速度に変化がない

対立仮説: 乾燥路面に対して試験路面 x は歩行速度が変化している

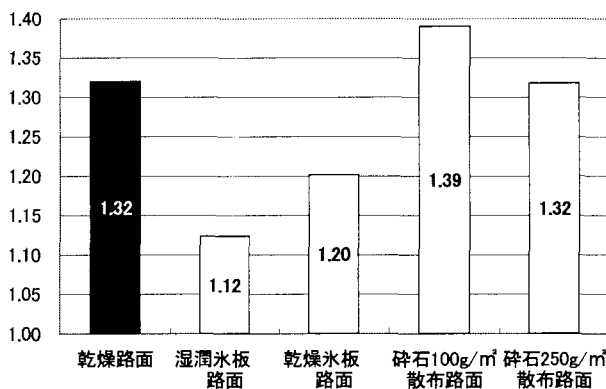


図-5 各路面における歩行速度 (m/s)

検定の結果、湿潤水板路面では1%で帰無仮説は棄却され、乾燥水板路面では5%で棄却された。しかし、碎石を散布した二つの路面では棄却されなかった。以上より、乾燥水板路面と湿潤水板路面では、速度が遅くなっていると言え、碎石散布路面では速度に変化がないということが証

明された。そこで、アンケートの結果と比較すると、被験者のほとんどが「すべる」もしくは「ややすべる」と感じている乾燥水板路面、及び湿潤水板路面においては歩行速度が低下しており、被験者全員が「すべらない」と評価している碎石散布路面に関しては歩行速度に変化がない。この結果は、人が「すべる」と感じたときに歩行速度が低下するということを証明しているのと同時に、本研究における妥当性を実証している。

5. おわりに

5.1 本研究の成果

今回の試験で得られた本研究の成果を以下に示す。

- ① 碎石散布路面については、本研究で使用した試験装置により測定したすべり摩擦係数が0.15でも、人の歩行は可能である。
- ② 試験装置で測定したすべり摩擦係数がほぼ同じ路面でも、その表面性状が異なると、人の歩行感覚も違ってくる。
- ③ すべり摩擦係数と人の歩行感覚との間にはある程度の関連が見られるが、ひとが「すべる」と感じる感覚には、すべり摩擦係数よりも路面状態が大きく影響していると考えられる。
- ④ 様々な路面状態に対して、それぞれすべり摩擦係数の基準値を求める必要があると考えられる。
- ⑤ 人は凍結路面を歩いたときに「すべる」と感じると、歩行速度が低下することが言える。

5.2 今後の課題

今後の研究課題には以下のことが挙げられる。

- ① 信頼性向上のため、被験者数を増やし、年齢層を幅広くする。
- ② 被験者の性別や年齢、経験などといった内部的要因についても検討をする。
- ③ 本研究の結果を踏まえ、一定のすべり摩擦係数に対する様々な路面状態に対して歩行試験を行い、路面状態の違いによる人間の歩行感覚の変化を追及していく。具体的なものとして、碎石散布量の増減や、また圧雪路面での試験を検討する。
- ④ 試験機で測定されたすべり摩擦係数と人間の歩行感覚との関係について明確にできるよう、試験を重ねる。
- ⑤ ひとつの路面状態において、異なるすべり摩擦係数の路面に対して歩行試験を行い、各路面状態に対する人の歩行感覚との関係を検討する。

参考文献

- 1) 酒井秀男: タイヤ工学 入門から応用まで、グランプリ出版、1987
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路維持修繕要綱、1986
- 3) 市原薫, 小野田光之: 路面のすべりとその対策、技術書院、1997
- 4) 石村貞夫: 統計解析のはなし、東京図書株式会社、1989
- 5) 豊田利久, 大谷一博, 小川一夫, 長谷川光, 谷崎久志: 基本統計学、東洋経済新報社、2002