

# 舗装のテクスチャを考慮した凍結路面のすべり抵抗特性に関する研究

Study on properties of skid resistance on freezing pavements considering the pavement surface texture

北海学園大学大学院 ○学生員 田中俊輔  
 北海学園大学工学部 正会員 武市 靖  
 世紀東急工業株式会社 正会員 増山幸衛

## 1. はじめに

凍結抑制舗装は、冬期の路面管理を舗装面から補う工法の一つであり、現在、多くの施工実績を有するようになった。しかし、その性能に関する評価方法は定性的なものが多く、十分に確立されていない現状にある<sup>1)</sup>。特に凍結抑制効果の評価方法については、凍結抑制舗装区間と通常舗装区間での路面露出状態の現場比較写真ないし目視観察で示している場合が多い。一方、路面のすべりやすさの指標であるすべり摩擦係数による路面管理は、日本に限らず世界的に用いられる傾向にある。しかしすべり摩擦係数を測定することは容易ではなく、その測定装置も決して安価なものではない。

筆者らはその点に着目して、比較的容易に算出可能である路面露出率による凍結抑制効果の定量的評価を確立することを目指して、すべり摩擦係数と路面露出率の関係を明らかにする研究を行ってきた。

その結果、路面の露出パターンや舗装の種類によって、同値の路面露出率でもすべり摩擦係数が大きく異なり、単に路面露出率のみでは凍結抑制効果を十分に評価できないことが明らかになった<sup>1)</sup>。さらに、路面露出率とすべり摩擦係数との関係には、舗装のテクスチャによる影響が大きな影響を与える傾向が見られた<sup>2)</sup>ため、本研究では水の散布量を統一した氷板・氷膜路面を作製し、室内凍結路面試験装置（以下、走行試験装置）を用いて制動試験を行い、すべり摩擦係数と路面露出率との関係を示すノモグラフを作成した。さらに実路への適用性も考慮して、現場の環境に近い条件下で繰返し走行試験を行い、1000回走行時のすべり摩擦係数と路面露出率を測定してノモグラフと比較検証した。

## 2. 本研究で用いた試験舗装

本研究で用いた凍結抑制舗装は、密粒度舗装と空隙20%の排水性舗装を母体舗装として、グルーピングを施し、そこに廃スタッドレスタイヤなどのゴムチップをウレタン樹脂で結合させた凍結抑制材を充填したものであり、そのたわみを利用した物理的効果を有する舗装である。種類としては、密粒度舗装に幅9mm、深さ10mmのグルーピングを60mm間隔で施したタイプ（G-9と略称）と排水性舗装にG-9と同様のグルーピングを施したタイプ（G-Pと略称）の2タイプを用いた。

凍結抑制舗装の概要を表-1に、各試験舗装の断面図と舗装表面を図-1、写真-1および写真-2にそれぞれ示した。

表-1 凍結抑制舗装の概要

タイプ	G-9	G-P
母体舗装	密粒度舗装	排水性舗装
グルーピング幅・深さ・間隔	9mm・10mm・60mm	
凍結抑制材	ゴムチップ、ウレタン樹脂	

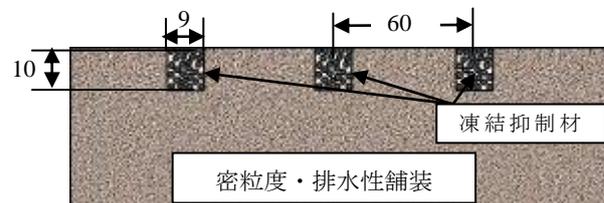


図-1 凍結抑制舗装の断面図（単位：mm）

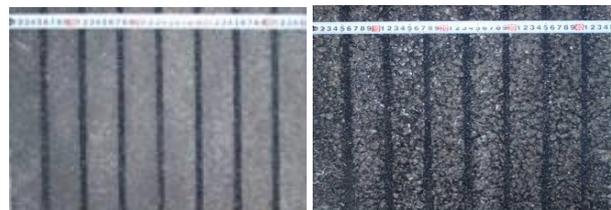


写真-1 G-9の舗装表面 写真-2 G-Pの舗装表面

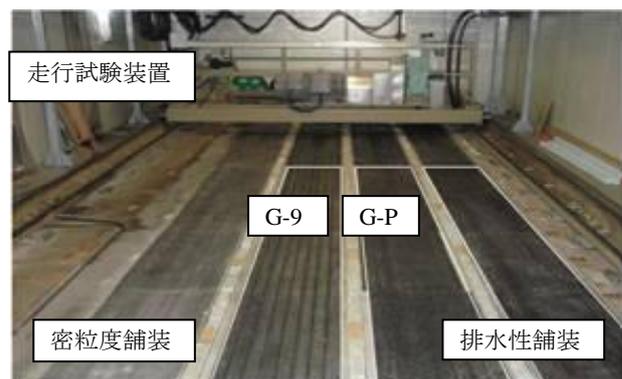


写真-3 走行試験装置と試験路面

## 3. すべり摩擦係数と路面露出率の関係

写真-3に示した走行試験装置は、バス型の第5輪によるトルク測定のすべり抵抗車<sup>3)</sup>とほぼ同様の仕組みを持っている。恒温室内の温度は-20℃から60℃まで、最大走行速度は繰返し走行試験で5km/h、制動試験で10km/h、最大輪荷重は5kNまで設定が可能である。

この装置を用いて、すべり摩擦係数と路面露出率の関係を示すノモグラフを作成するために、恒温室内に設置された走行レーンの各舗装に人為的に路面の露出率を変化させた氷板・氷膜路面を作製し、制動試験を行った。なお路面状態は、密粒度舗装に対して 1.0mm の厚さになる量の水を散布した氷板路面と、同様に 0.5mm の厚さになる量の水を散布した氷膜路面の 2 種類とした<sup>4)</sup>。

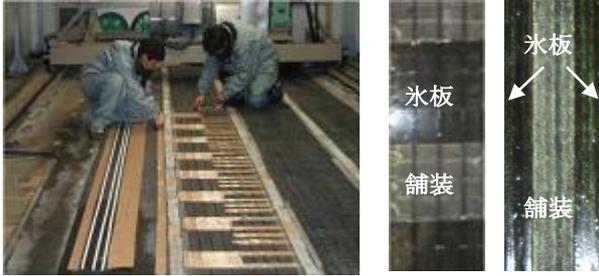


写真-4 氷板・氷膜路面の作製 写真-5 作製した路面

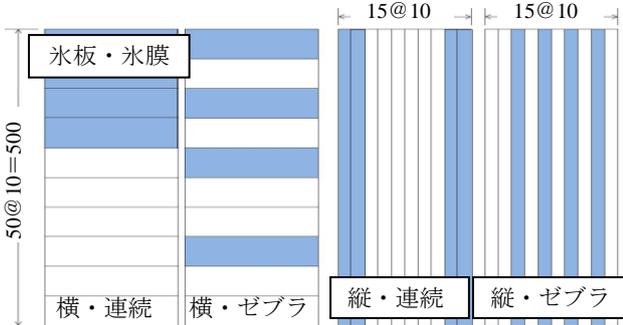


図-2 60%路面露出時路面露出パターン (単位: mm)

表-2 制動試験の試験条件

路面温度	-5℃
接地圧 (輪荷重)	0.196MPa (5kN)
走行速度	10km/h
使用タイヤ	スタッドレスタイヤ 規格 165/80R13 83Q

### 3.1 氷板・氷膜路面の作製と試験条件

氷板・氷膜路面は、ガムテープで路面をマスキングした後、0℃の水を散布して作製した。路面露出率は 0, 20, 40, 60, 80%とした。4 つの路面露出パターンを以下に示した。

- ①横断方向に連続的に路面を露出 (横・連続)
- ②横断方向にゼブラ状に路面を露出 (横・ゼブラ)
- ③縦断方向に連続的に路面を露出 (縦・連続)
- ④縦断方向にゼブラ状に路面を露出 (縦・ゼブラ)

実際の凍結抑制舗装表面は、不均一に路面が露出すると考えられるが、再現が困難なため、縦断・横断方向のゼブラによる評価を行った。同時に連続して露出した場合との差も確認した。路面温度は-5℃に設定し、全てが乾き氷になるまで十分に養生した。

写真-4 と写真-5 に氷板・氷膜路面作製作業の様子と作製後の路面状況を示した。また、図-2 に一例として 60%路面露出時の路面露出パターンを、表-2 に試験条件をそれぞれ示した。

### 3.2 制動試験によるすべり摩擦係数の算出

制動試験は、タイヤの回転を完全に固定した状態 (スリップ率 100%) で走行試験装置を走行させた時にタイヤを固定するのに要したタイヤトルクを測定し、すべり摩擦係数を (1) 式によって算出するものである<sup>5)</sup>。

$$\mu = \frac{M_t}{r \times F} \quad (1)$$

ここに、 $\mu$  : すべり摩擦係数,  $M_t$  : タイヤトルク (Nm),  $r$  : タイヤ半径 (m),  $F$  : 荷重 (N) である。

### 3.3 試験結果

氷板路面について母体舗装が密粒度舗装のものを図-3 に、排水性舗装の場合を図-4 に、氷膜路面について母体舗装が密粒度舗装の場合を図-5 に、排水性舗装の場合を図-6 にそれぞれ示した。

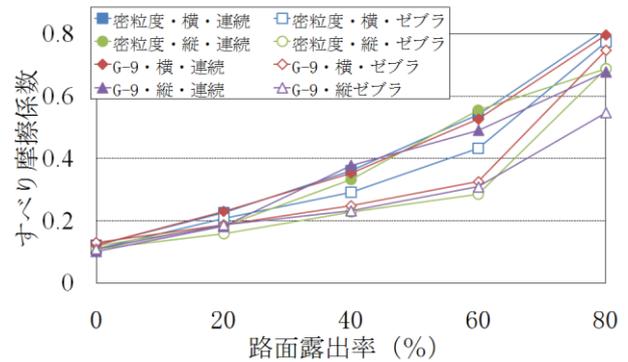


図-3 氷板路面の密粒度舗装と G-9 の試験結果

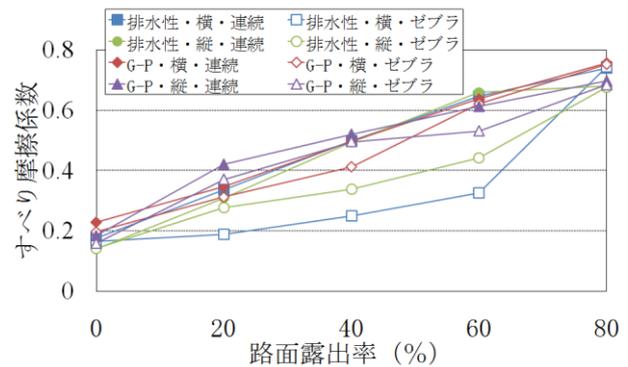


図-4 氷板路面の排水性舗装と G-P の試験結果

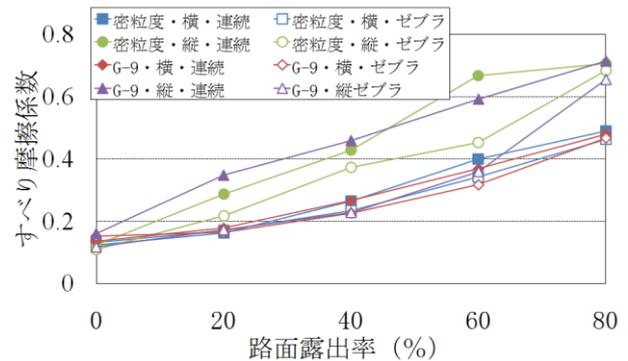


図-5 氷膜路面の密粒度舗装と G-9 の試験結果

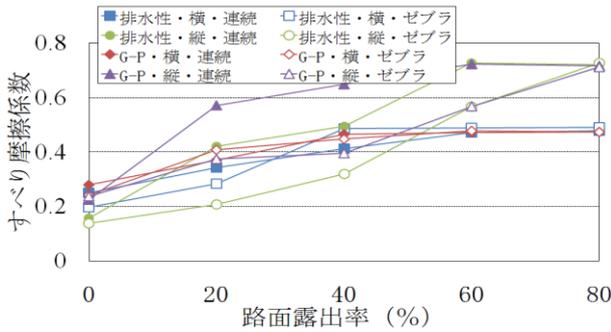


図-6 氷膜路面の排水性舗装と G-P の試験結果

氷板路面、氷膜路面の試験結果より、路面露出率が同じであっても、路面の露出状況によってすべり摩擦係数が異なることが確認された。したがって、単に路面露出率によって凍結抑制効果を評価することは難しいが、路面の露出パターンをある程度特定することができれば、可能であると考えられる。

また、路面露出率が 0%においてすべり摩擦係数を比較すると、氷板路面時は、密粒度舗装、G-9 は 0.1 程度、排水性舗装、G-P は 0.2 程度となる。氷膜路面においても密粒度舗装、G-9 は 0.12 程度、排水性舗装、G-P は 0.15~0.3 となり、排水性舗装、G-P のすべり摩擦係数が高い値を示した。これは、路面テクスチャによるものと考えられ、今回の条件下では、密粒度舗装、G-9 に比べて、排水性舗装、G-P は“つつる路面”が発生しにくいと考えられる。

次に、図-7 に氷板路面時の縦・ゼブラの試験結果を、図-8 に氷膜路面時の縦・ゼブラの試験結果を、表-3 にノモグラフの近似式を示した。なお、今回用いた凍結抑制舗装は走行方向に対して縦断方向にグルーピングが施されていることから、この結果をノモグラフとした。

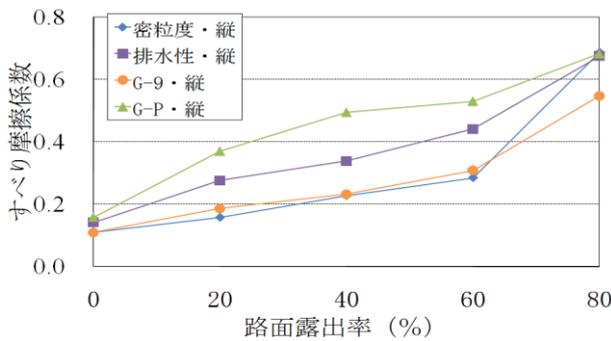


図-7 氷板路面における縦・ゼブラの試験結果

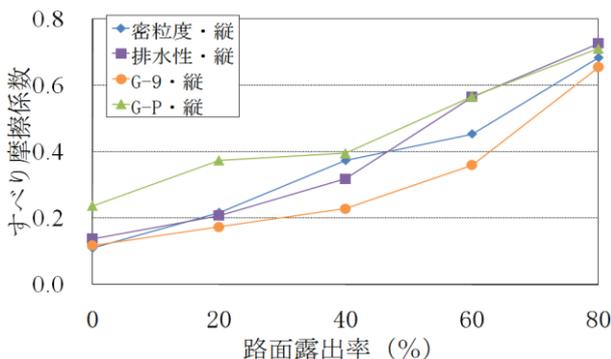


図-8 氷膜路面における縦・ゼブラの試験結果

表-3 ノモグラフの近似式

路面	舗装・露出	近似式	R <sup>2</sup> 値
氷板	密粒度・縦	$y=0.102e^{0.021x}$	0.942
	排水性・縦	$y=0.161e^{0.018x}$	0.960
	G-9・縦	$y=0.114e^{0.019x}$	0.973
	G-P・縦	$y=0.006x+0.206$	0.949
氷膜	密粒度・縦	$y=0.007x+0.091$	0.975
	排水性・縦	$y=0.007x+0.217$	0.917
	G-9・縦	$y=0.112e^{0.021x}$	0.981
	G-P・縦	$y=0.253e^{0.013x}$	0.961

#### 4. 凍結抑制効果の検証

現場の環境に近い条件下で繰返し走行試験を行い、1000 回走行後に制動試験も行って、実路への適用性を考慮したすべり摩擦係数と路面露出率との関係と、各舗装の凍結抑制効果について検討した。

##### 4.1 路面露出率の算定<sup>6)</sup>

路面露出率は、一般に路面状況をデジタルカメラで 2 値化した画像解析により (2) 式で表わすことができる。

$$\text{路面露出率 (\%)} = \frac{\text{路面露出面積}}{\text{解析画像全体面積}} \times 100 \quad (2)$$

氷板・氷膜は薄く透明であるため 2 値化することが困難である。そこで図-9 のように、走行回数ごとに路面に透明なラミネートシートを敷き、氷の剥離箇所を油性のホワイトマーカーで塗りつぶし撮影する手法を用いた。解析画像は、確実にタイヤが走行している部分を用い、寸法は縦 300pixel×横 145pixel とした。また、路面露出率の値は 3 箇所を平均したものをを用いた。

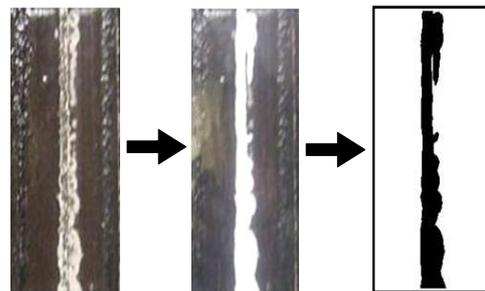


図-9 氷板・氷膜路面の露出率算出例

##### 4.2 試験条件

氷板・氷膜路面は、氷厚が密粒度舗装に対して 1.0mm および 0.5mm になるように水を散布した<sup>4)</sup>。走行速度は 5km/h、走行回数は 1000 回とし、その後制動試験も行いすべり摩擦係数を測定して、ノモグラフより算出した値と比較検証した。その他の条件は制動試験と同様である。

##### 4.3 試験結果と考察

図-10 に氷板路面におけるすべり摩擦係数と路面露出率を、図-11 に氷膜路面におけるすべり摩擦係数と路面露出率をそれぞれ示した。

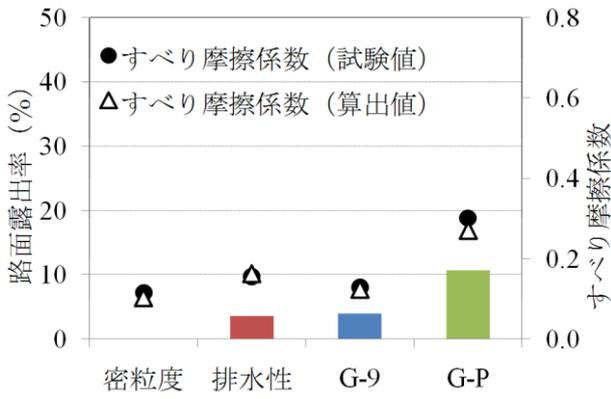


図-10 氷板路面時の路面露出率とすべり摩擦係数

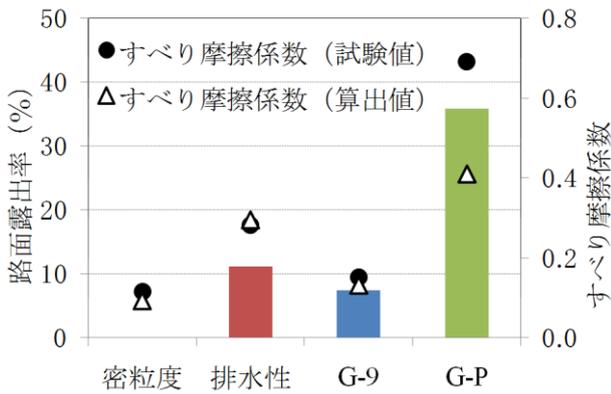


図-11 氷膜路面時の路面露出率とすべり摩擦係数

氷板路面時は、全ての試験舗装において、試験値と算出値がほぼ同値となった。また氷膜路面時は、G-Pは算出値に比べ試験値が大きくなったが、密粒度舗装、排水性舗装、G-9は試験値と算出値がほぼ同値となった。これは、すべり摩擦係数と路面露出率の関係を明らかにするための制動試験の結果についても見られたことであるが、氷膜路面において、すべり摩擦係数と路面露出率が高い値を示す範囲になると、ばらつきが現れる傾向が見られており、同様の現象が見られたものと考えられる。しかし、すべり摩擦係数による路面管理を行っている北欧諸国での管理目標値は0.3程度であり、本試験では0.4以下のすべり摩擦係数の時には、ほぼ一致のある値を示しているため、現場への適用性があると考えられる。今回用いた凍結抑制舗装は、すべり摩擦係数、路面露出率ともに母体舗装に比べて高い値となり、凍結抑制効果が高いと思われる。

5. まとめ

以下に、本研究で得られた知見を要約した。

- a) 路面露出率によって凍結抑制効果を評価することは可能であるが、その関係は舗装の種類や路面の露出状況によって異なるため、舗装ごとにすべり摩擦係数と路面露出率の関係を明確にする必要がある。
- b) 繰り返し走行を1000回行った後に測定したすべり摩擦係数と路面露出率を用いてノモグラフより算出した値は、すべり摩擦係数と路面露出率が高い値を示

す範囲になるとばらつきが見られたが、すべり摩擦係数による路面管理を行っている北欧諸国での管理目標値は0.3程度であり、本試験では0.4以下のすべり摩擦係数の時には、ほぼ一致のある値を示しているため、現場への適用性があると考えられる。

- c) 本研究で用いた凍結抑制舗装は、母体舗装よりも高い凍結抑制効果を有していることが確認された。

6. おわりに

今回、実路に近い条件を想定して試験を行ったが、今後、実際の現場においても同様の試験を行い、すべり摩擦係数と路面露出率との関係を明確にし、路面露出率による容易な凍結抑制効果の評価方法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 田中俊輔, 武市靖, 増山幸衛: グルーピング系凍結抑制舗装のすべり抵抗と氷板破碎に関する工学的研究, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp195-202, 2009.
- 2) 田中俊輔, 武市靖, 増山幸衛: 物理系凍結抑制舗装のすべり抵抗特性に関する研究, 寒地技術論文・報告集, vol.25, pp.16-20, 2009.
- 3) 舟橋誠, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 葛西聡: 冬期路面管理における路面状態の定量的な計測技術に関する研究, 寒地技術論文・報告集, vol.24, pp.15-19, 2008.
- 4) 前野紀一, 成田英器, 西村浩一, 成瀬廉二: 道路雪氷の構造と新分類, 低温科学 物理編, 第46集, pp.119-133, 北海道大学低温科学研究所, 1988.
- 5) 武市靖, 田近裕善: 寒冷地舗装における路面テクスチャの違いが凍結抑制効果に与える影響, 土木学会舗装工学論文集, 第8巻, pp.43-53, 2003.
- 6) 田中俊輔, 武市靖, 増山幸衛: 凍結路面のすべり摩擦係数と路面露出率の関係, 第64回年次学術講演会講演概要集, V-007, 2009.