# HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ

学校法人北海学園 北 海 学 園 大 学 北 海 斎 科 大 学

タイトル	凍結路面のすべり抵抗特性および凍結抑制効果の定量 的評価方法に関する研究
著者	田中,俊輔; 武市,靖; 増山,幸衛; 高橋,尚人; Tanaka, Shunsuke; Takeichi, Kiyoshi; Masuyama, Yukiei; Takahashi, Naoto
引用	工学研究 : 北海学園大学大学院工学研究科紀要(11): 25-37
発行日	2011-09-30

### 凍結路面のすべり抵抗特性および凍結抑制効果の 定量的評価方法に関する研究

田 中 俊 輔\* • 武 市 靖\*\* • 増 山 幸 衛\*\*\* • 高 橋 尚 人\*\*\*\*

Study on properties of skid resistance on freezing pavements and quantitative evaluation method of antifreezing effects

Shunsuke Tanaka\*, Kiyoshi Takeichi\*\*, Yukiei Masuyama\*\*\* and Naoto Takahashi\*\*\*\*

#### 1. はじめに

現在,冬期の路面状態把握や凍結抑制舗装の効 果を評価する手法として,路面状態の写真による 比較,または目視観察などが用いられているが, 定性的な要素が多く,評価方法として十分に確立 されているとは言えない<sup>1)</sup>.一方,すべり摩擦係数 による路面管理が世界的に用いられる傾向にあ り<sup>2),3),4),5)</sup>,我が国においても検討されているが,そ の測定は必ずしも容易ではない<sup>6),7)</sup>.

本研究は、凍結路面のすべり抵抗を評価する簡 便な定量的方法の確立を目的としている.一定の 環境下で試験を行うことができる恒温室内に、人 為的に路面露出させた雪氷路面を作製して制動試 験を行い、路面露出率とすべり摩擦係数の関係を 明確にした.さらに、実路を想定した室内実験と して凍結路面で繰返し走行試験を行い、走行輪荷 重による外乱を受けた路面状態にして制動試験を 行って、その測定値と得られた関係の近似式より 算出した値を比較した.

また,すべり摩擦係数に影響を与える要因分析 の観点から,制動試験と繰返し走行試験の結果に ついて重回帰分析を行い,すべり摩擦係数と路面 露出率,路面テクスチャ,凍結抑制材との関係を 検討した.特に氷膜・氷板路面に対して,スペク トル解析も試みて,各舗装における路面テクス チャの特性と変化の違いを明らかにした.

本論文において路面テクスチャとは、舗装表面 の凹凸量と空間周波数の指標から構成されたもの を意味する.

さらに、屋外試験を実施した寒地土木研究所の 苫小牧寒地試験道路において、本研究の成果の実 路における適用性を明らかにするために、実路で 使用されているすべり抵抗値の測定装置を用い、 室内試験の結果と比較した.

#### 2. 試験路面

本研究では、一般的な密粒度舗装と排水性舗装 および、凍結抑制舗装として、両者を母体舗装と したものにグルービングを施し、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塡したものを用いた.

この凍結抑制舗装は、凍結抑制材部分のたわみ 特性と排水性舗装では粗面効果も利用した物理的 凍結抑制効果を有しており、密粒度舗装を母体と したタイプ(以下G-9)と排水性舗装を母体とし たタイプ(以下G-P)の2つを用いた<sup>8)</sup>.凍結抑制 舗装の概要を表-1,各凍結抑制舗装の断面と舗 装表面を図-1,写真-1および写真-2に示す.

SEIKITOUKYU KOGYO CO., LTD

\*\*\*\*\* () () 他土木研究所 寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region

 <sup>\*</sup> 北海学園大学大学院 工学研究科建設工学専攻 博士後期課程
 Graduate School of Engineering (Civil and Environmental Eng.), Hokkai-Gakuen University
 \*\* 北海学園大学大学院 工学研究科建設工学専攻(社会環境系)
 Graduate School of Engineering (Civil and Environmental Eng.), Hokkai-Gakuen University
 \*\*\* 世紀東急工業株式会社 技術研究所



表-1 凍結抑制舗装の概要









#### 3. すべり摩擦係数と路面露出率の関係

**写真-3**に示す室内凍結路面走行試験装置は, 我が国における路面のすべり摩擦係数の標準的な 測定装置として使用されているバス型すべり測定 車<sup>9)</sup>とほぼ同様の仕組みである。恒温室内の温度 は-20°Cから+60°C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 率の関係を求めるために,恒温室内に設置された 走行レーンの各舗装に、人為的に路面露出率を変 化させた凍結路面を作製し、制動試験を行った。 凍結路面は、密粒度舗装に対して厚さ0.5 mmの 氷膜ができる量の水を散布した氷膜路面、同様の 基準で作製した厚さ1.0 mmの氷板ができる量の 水を散布した氷板路面、舗装表面のテクスチャが 現れない程度の厚い氷板路面(厚さ3~5 mm), および圧雪路面の4種類とした<sup>10</sup>.

#### 3.1 凍結路面の作製と試験条件

凍結路面は、ガムテープで路面をマスキングした後、氷板・氷膜路面においては0°Cの水を散布し、圧雪路面においては密度700 kg/m<sup>3</sup>になるように雪を敷き均して作製した。なお、排水性舗装およびG-Pは、水の浸透を防ぐためにパテを路面に押し付けて対処した。観測路面全体の面積に対する路面の露出面積の割合を示す路面露出率は0,20,40,60,80%とした。以下に路面露出パターンを示す。

- a)横断方向に連続的に路面を露出(横・連続)
- b)横断方向にゼブラ状に路面を露出(横・ゼブ
  ラ)
- c)縦断方向に連続的に路面を露出(縦・連続)
- d)縦断方向にゼブラ状に路面を露出(縦・ゼブラ)

写真-4と写真-5に凍結路面作製作業の状況 と作製後の路面状態を示す。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す。なお,路面温度は舗装 供試体に埋め込んでいる熱電対より測定した値を 用いた。

実際の舗装では、不均一に路面が露出する場合 も多いと考えられるが、再現が困難なため、氷板・ 氷膜路面においては、ゼブラ状に路面露出させた 路面状態の近似式を計算値算出の際に採用した。 一方、圧雪路面においては連続的に路面を露出さ せたパターンのみについて試験を行い、その結果 を採用した。これは道路気象条件にもよるが、路 面露出過程に注目した路面調査において、氷膜・ 氷板路面では、写真-6のように数mm~数 cm という短い間隔で路面の露出を部分的に繰り返す 現象が多く見られるのに対して、圧雪路面におい ては、写真-7のように、比較的長い間隔で路面 露出を繰り返す路面状態が多く観測されたことに よる.



写真-4 凍結路面の作製状況 写真-5

写真- 5 作製した 路面



図-2 60%路面露出時の路面露出パターン(単位: mm)

夷_	- 2	制動試験の試験条件	4
18	~	「「「」」「」」」」」「「」」」「「」」」「」」「」」」」」「」」」「」」」	т

路面温度	— 5 °C				
接地圧(輪荷重)	0.196 MPa (5 kN)				
走行速度	10 km/h				
使用タイヤ	冬期すべり測定用標準タイヤ 165/80 R-13				

#### 3.2 制動試験によるすべり摩擦係数の算出

制動試験は、制動時にタイヤの回転を固定した 状態 (スリップ率 100%) で走行試験装置を走行さ せたときに、タイヤを固定するのに要したタイヤ トルクを測定し、すべり摩擦係数を式(1)によって 算出するものである<sup>11)</sup>.

$$\mu = \frac{M_t}{r \times F} \tag{1}$$

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.

なおタイヤトルクは、測定区間であるレーン中 央4mの平均値を用いている.



写真-6 氷板路面の路面露出状況



写真-7 圧雪路面露出状況 (左:縦断露出 右:横 断露出)

#### 3.3 試験結果と考察

図-3から図-10に、氷膜路面、氷板路面、厚い氷板路面および圧雪路面におけるすべり摩擦係数(y)と路面露出率(x)との関係を、表-3に関係の近似式を示す.

各路面の結果より,路面露出率が同じ値であっ 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,路面の露 出状況により,舗装のすべり抵抗や凍結抑制効果 の評価を試みる場合には,その舗装区間における 路面の露出パターンを特定する必要があると考え られる.

また,路面露出率0%の時に着目すると,厚い 氷板路面時以外は,密粒度舗装を母体とした舗装 よりも,排水性舗装を母体とした舗装の方が高い すべり摩擦係数となった。これは氷膜・氷板路面 に,路面のテクスチャが粗くなった影響(粗面効 果)が現れたものと考えられる。この傾向は,路 面露出率0%~60%のときに顕著に表れており, 凍結路面の種類の違いにより差がみられる.特に, 圧雪路面は,密粒度舗装やG-9が,排水性舗装や G-Pよりも路面露出率の増加に伴うすべり摩擦

27

0.8





路面	舗装・露出パターン	近似式	R <sup>2</sup> 值
	密粒度・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.091	0.975
小店	G-9・縦ゼブラ	y = 0.006 x + 0.055	0.865
小族	排水性・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.217	0.917
	G-P・縦ゼブラ	y = 0.006 x + 0.229	0.960
	密粒度・縦ゼブラ	y = 0.006 x + 0.037	0.777
氷板	G-9・縦ゼブラ	y = 0.005 x + 0.078	0.886
	排水性・縦ゼブラ	y = 0.006 x + 0.128	0.949
	G-P・縦ゼブラ	y = 0.006 x + 0.206	0.949
	密粒度・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.097	0.899
氷膜 氷膜 氷板 厚氷板 圧雪	G-9・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.050	0.847
	排水性・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.018	0.840
	G-P・縦ゼブラ	y = 0.007 x + 0.61	0.849
	密粒度・縦連続	y = 0.005 x + 0.051	0.830
亡重	G-9 • 縦連続	y = 0.005 x + 0.065	0.858
山白	排水性·縦連続	y = 0.004 x + 0.156	0.958
	G-P・縦連続	y = 0.005 x + 0.185	0.993

表-3 すべり摩擦係数と路面露出率の関係の近似 式

係数の上昇が小さい.以上から,路面のテクスチャ は、凍結路面におけるすべり抵抗の向上に影響を 与え,凍結抑制効果も大きくなると推測されるが, その影響度合いは,発生する凍結路面の種類に よって,異なると考えられる.

凍結抑制舗装であるG-9およびG-Pと一般的 な舗装である密粒度舗装および排水性舗装をそれ ぞれ比較すると、G-9と密粒度舗装では結果に違 いが見られなかったが、G-Pと排水性舗装では、 氷膜・氷板路面において同じ路面露出率でもG-P の方が、排水性舗装よりも大きいすべり摩擦係数 を示す傾向が確認された。これは、G-Pが母体舗 装にグルービングを施している舗装であることか ら、排水性舗装よりも路面テクスチャの粗面効果 が維持され、すべり抵抗が向上したと考えられる。

以上から,舗装によるすべり抵抗の向上には 様々な要因が考えられるが,特に今回使用した舗 装では,路面テクスチャやグルービングを施した 箇所に充塡した凍結抑制材の効果が大きな要因と なっていると推測される.

また,それらの要因は,凍結路面の種類によっ て影響の度合いが大きく異なることが確認され た.

#### 4. 繰返し走行試験による検証

現場に近似した環境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

路面露出率は,一般に路面状況をデジタルカメ ラで撮影し,それを2値化した画像解析により式 (2)で表すことができる.

败而靈山索	(0/)路面露出面積	(2)
哈田路口平	(70) 解析画像全体面積	$(\Delta)$

氷膜・氷板は薄く透明なため、2値化すること が困難である.そこで図-11のように、所定の走 行回数毎に路面に透明なラミネートシートを敷 き、氷の剝離箇所を油性のホワイトマーカーで塗 りつぶして撮影<sup>12)</sup>し、2値化処理を行った.2値 化処理の方法は、画像の濃度ヒストグラムを用い て行う方法の中から、ヒストグラムが双峰性を示 す場合にはモード法として働き、モードがない場 合でも自動的に閾値が決定できる判別分析法<sup>13)</sup> を用いた.

圧雪路面は、タイヤ走行による汚れなどの影響 で、自動閾値決定法を用いることが困難であるこ とから、図-12に示すように、路面は露出してい ないが汚れが出ている画像の濃度ヒストグラムを 用いて、路面露出率が0%になるように閾値指定 法で決定した。

解析画像は、タイヤの接地部分を用い、寸法は 縦 300 pixel×横 145 pixel とした。また路面露出 率は、制動試験でタイヤトルクが測定可能なレー ン中央4mの区間で、予め定めた3カ所の測定値 を平均したものを用いた。



図-11 氷膜・氷板路面の露出率算出例



#### 4.2 試験条件

試験路面は,氷膜路面,氷板路面および密度 500 kg/m<sup>3</sup>の圧雪路面とし,走行速度は 5 km/h,走行 は 1000 回と設定した.その後,制動試験を行って すべり摩擦係数を測定し,各近似式より算出した 値(計算値)と比較検証した.なお,圧雪路面の 繰返し走行後の密度は 700 kg/m<sup>3</sup>程度であり,そ の他の条件は,前述の制動試験と同様である.圧 雪路面の密度は,雪氷調査法に準じた方法を用い て測定した<sup>14</sup>.

#### 4.3 試験結果と考察

図-13から図-15に、氷膜路面、氷板路面および圧雪路面における路面露出率とすべり摩擦係数 を示す.試験は3回行い、それぞれの結果の平均 値を用いている.

氷膜,氷板,圧雪路面ともに,全ての試験路面 で,すべり摩擦係数の試験値と計算値の差が0.1 以下となった.よって,人為的に路面を露出させ た凍結路面で行った制動試験より得られたすべり 摩擦係数と路面露出率の関係と,ほぼ同様の関係 が確認された.

圧雪路面は、特に密粒度舗装が排水性舗装より も高い路面露出率であるにもかかわらず、すべり 摩擦係数は1/2程度となっており、近似式も氷 膜・氷板路面に比べて、路面露出率の増加に伴う すべり摩擦係数の増加が明らかに小さいことか ら、路面の露出がすべり抵抗の向上に影響を与え る度合いは小さいことが分かる。

排水性舗装を母体とした舗装の方がすべり摩擦 係数が大きくなっており,常にすべり抵抗を向上



させる傾向にあることが分かる.これは凍結路面 の種類にもよるが、テクスチャの違いによる粗面 効果が現れたと考えられる.

#### 5. 重回帰分析による試験結果の検討

凍結路面のすべり抵抗には,路面の露出状況を はじめ,舗装の種類,特に母体舗装のテクスチャ などが複雑に影響していることが明らかになっ た.しかし同時に,その影響度合いは,路面の状 態によって大きく異なることも明らかになった. これらに関しては,さらなる検討が必要と考えら れることから,制動試験および繰返し走行試験の 結果に重回帰分析を適用し,路面露出率,舗装の 路面テクスチャ,凍結抑制材の有無といった因子 とすべり摩擦係数との関係を分析値から検討し た.

#### 5.1 路面テクスチャの測定

まず解析を行う前に、説明変数の一つである、 試験路面のテクスチャを測定した。測定には、写 真-8に示す、面的にテクスチャを評価すること が可能であるSTメータ<sup>15)</sup>を用い、式(3)によって 算出することができる平均プロファイル深さ (Mean Profile Depth:以下, MPD)<sup>16)</sup>によって、 定量的に表した。

$$MPD = \frac{Max \ 1 + MAX \ 2}{2} - \overline{\Psi}$$
 切レベル (3)

ここに,

*Max*1:1番目の最大レベル,

Max 2:2番目の最大レベルである.

G-9 および G-P については, 測定箇所にグルー ビングに施された凍結抑制材部分が 3 本含まれる ように ST メータを設置し測定した.

**表**-4にSTメータの仕様を、図-16にMPD の算出方法の概略<sup>15)</sup>を、図-17に各試験路面の MPD 測定結果をそれぞれ示す。



図-16 MPD の算出方法<sup>15)</sup>

#### 5.2 重回帰分析の結果と考察

表-5に、各路面のすべり摩擦係数に影響を与 える因子を調べるために、制動試験の結果につい て重回帰分析を行った結果を示す。

31

全ての路面状態において,高い決定係数(*R*<sup>2</sup>) を得ることができた.

標準偏回帰係数は,全ての路面状態において路 面露出率が最も大きな値となったことから,路面 露出率により,すべり抵抗を予測することは可能 であると考えられる.また,試験路面の MPD につ いては,厚い氷板路面では全くすべり摩擦係数に 対する影響は見られなかったが,それ以外の路面 では若干影響が確認された.凍結抑制材の有無に よる影響は,ほとんど見られなかった.

次に,繰返し走行試験の結果を用いて重回帰分 析した結果を表-6に示す.氷膜・氷板路面の時 は, R<sup>2</sup>が0.70程度の値を示したのに対して,圧雪 路面は0.97と高い値となった.氷膜路面では, MPDと凍結抑制材の有無の偏回帰係数で符号の 不一致が確認された.これは,繰返し走行試験で 外乱の影響やラミネートシートの計測点における 路面状態のばらつきが影響していると考えられ る.ただし,路面露出率の測定者による差は,最 大5%程度の範囲とわずかなことが確認されてい る.

標準偏回帰係数より,氷膜・氷板路面の時には, 路面露出率がすべり摩擦係数に最も大きな影響を 与えているのに対して,圧雪路面では,MPDや凍 結抑制材の有無が大きな影響を与えている。排水 性舗装や凍結抑制材部分を含んだテクスチャの粗 い舗装は,表面の凹の部分に雪氷が充てんされる が,**写真-9**に示すように,凸部は路面がドット 状に露出することから路面露出率は低くなる傾向



路面	D2		偏回州	帚係数	標準偏回帰係数			
	$\Lambda^{-}$	路面露出率	MPD	凍結抑制材	定数項	路面露出率	MPD	凍結抑制材
氷膜	0.94	0.007	0.058	0.008	0.050	0.929	0.160	0.019
氷板	0.92	0.006	0.096	0.036	-0.007	0.873	0.282	0.095
厚い 氷板	0.92	0.007	-0.015	-0.024	0.085	0.921	-0.040	-0.057
圧雪	雪 0.94 0.005		0.071	0.026	0.027	0.902	0.266	0.086

表-5 制動試験の重回帰分析結果

表-6 繰返し走行試験の重回帰分析結果

路面	<b>D</b> 2		偏回州	帚係数	標準偏回帰係数			
	Λ	路面露出率	MPD	凍結抑制材	定数項	路面露出率	MPD	凍結抑制材
氷膜	0.74	0.014	-0.045	-0.051	0.127	1.004	-0.152	-0.159
氷板	0.65	0.010	0.035	0.029	0.057	0.560	0.290	0.222
圧雪	0.97	-0.001	0.092	0.086	0.133	-0.074	0.962	0.820



写真-9 圧雪路面の路面露出状況(左:試験室 右:現場)

がある。しかし、すべり摩擦係数は、密粒度舗装 に比べて高くなっている。この点は、氷膜・氷板 路面の時と大きく異なる点である。

## 3. 氷板・氷膜路面の路面テクスチャによる影響

重回帰分析の結果より,舗装のテクスチャによ るすべり抵抗を向上させる効果は,路面の状態に より変化する.特に,氷膜・氷板・厚い氷板路面 では,路面テクスチャや凍結抑制材の有無による 影響の大きさが異なっていることが確認された. これらの結果より,氷膜・氷板・厚い氷板路面は, 路面テクスチャによって大きな違いが現れている ことが予想される.それを,より明確に確認する ために,室温-5℃の環境下で氷膜・氷板・厚い



写真-10 パテを用いた MPD 測定の様子(左)と舗 装に押し付けた後のパテの様子(右)

氷板路面を、各試験路面の供試体(縦 300 mm×横 300 mm×高さ 50 mm)に作製した.STメータの レーザー光は氷膜・氷板を透過してしまうので、 パテを写真-10のように押し付けてはがしたも のを用いて MPD を測定し、各路面状態における 路面テクスチャを定量的に表した。

さらに、MPDを算出する際に用いるプロファ イルデータに基づき、フーリエ変換によるパワー スペクトルに注目したスペクトル解析を行い、各 舗装による路面テクスチャの特性および変化の違 いを明らかにした.

#### 6.1 MPD による検証

表-7に,各路面状態における測定結果を示す. なお,測定は2つの供試体について行い,その平均値を用いた.

	密粒度	G-9	排水性	G-P
乾燥	0.46	0.64	2.01	2.08
氷膜	0.35	0.61	1.60	2.01
氷板	0.22	0.43	1.13	1.30
厚い 氷板	0.20	0.16	0.50	0.60

表-7 氷膜・氷板路面の MPD 測定結果(単位: mm)

全ての舗装が、氷板が厚くなるにつれて MPD も小さくなる傾向が確認された。密粒度舗装を母 体としたものに比べて、排水性舗装を母体とした ものは大きな MPD となっており、凍結抑制材部 分を有する舗装も,母体舗装に比べて大きい値を 示している、これらの結果より、きめの粗い舗装 や凍結抑制材を有する舗装は、アイスバーンのよ うな路面に対しては、その発生を抑制する効果が あると考えられる.





トル曲線

6.2 スペクトル解析による検証

路面テクスチャを不規則波形と仮定し、それを 一連の和と考え、各周波数成分のパワーの分布を 示したものがパワースペクトルである17).ここで は、フーリエ変換に FFT 法を用いてスペクトル 解析を行った.

#### 1) トレンドの除去

今回, MPDを算出する過程で得られるプロ ファイルデータを基に分析を行ったが、そのデー タには供試体のわずかな傾斜が、路面テクスチャ の波形の周波数よりもはるかに低い周波数の変動 成分(トレンド)として現れてしまう18). そこで, この低周波成分を除去するために平均勾配を求 め、変動分を算出してから分析を行った。

#### 2) 分析結果

図-18から図-21 に各舗装における空間周波 数-パワースペクトル曲線の全計測線を平均した







図-22 苫小牧寒地試験道路

#### ものを示す。

全ての試験路面について,路面状態が氷膜,氷 板,厚い氷板と変化するに伴って,パワースペク トルが小さくなっている.これは,氷が厚くなる に従い,路面は平坦になっていく現象を表現して いると思われる.ただし,低周波成分では,その 傾向にそぐわない結果も見られるが,それは,路 面テクスチャではないものを表現していると考え られる.

密粒度舗装および G-9 は,排水性舗装および G-Pよりもパワースペクトルが小さくなった.そ れぞれを比較すると,G-9 および G-P は,母体舗 装に比べてパワースペクトルの減少の度合いが小 さい.これは,舗装全体の路面テクスチャを表現 している MPD の測定結果においても,同様の傾 向が確認されている.

したがって,粗面効果による凍結抑制効果が期 待できる排水性舗装<sup>19)</sup>であっても,それを維持す るためには,効果が期待できる管理水準を保つこ とが必要である.また,グルービングを施すなど の対策をとることによって,路面テクスチャによ るすべり抵抗を確保できる箇所を,増加させるこ とができると考えられる.

#### 7. 屋外試験によるすべり抵抗特性の比較検 証

これまで、室内凍結路面走行試験装置を用いた 実験結果を基に考察を行ったが、これらの結果が 自然環境条件下の路面に対する適用性がどの程度 あるかについて、十分な検討がされていない。そ こで、写真-11に示す、我が国の標準的な測定装 置として利用されているバス型すべり試験車 (Locked-Wheel Friction Tester、以下 LWFT) と、写真-12に示す、米国で開発された連続路面 すべり抵抗値測定装置(Continuous Friction Tester、以下 CFT)<sup>9</sup>を用いて、図-22に示す(独)



写真-11 バス型すべり試験車(LWFT)



土木研究所寒地土木研究所の苫小牧寒地試験道路<sup>9)</sup>において,室内と同様の試験を行った.

#### 7.1 すべり抵抗測定装置の概要

LWFT や室内凍結路面走行試験装置は、走行 させた状態で、すべり摩擦係数の測定輪の回転を 固定することによって生じる回転トルクからすべ り摩擦係数を算出するのに対し、CFT は図-23 に示すように、車両進行方向に対して1°程度の 角度を与えた測定輪に発生する横力を計測するこ とによってすべり抵抗値を算出する<sup>9</sup>. CFT によ るすべり抵抗値は HFN (Halliday Friction Number)と呼ばれ、開発者が独自に設定したもの である.

HFN は、測定輪が路面に接地していない状態 (横力が無負荷状態)を0,乾燥路面(路面温度– 17°C 状態)において横力が発生している時の値を 100とし、その間を100等分した値で定義されて いる.HFN と LWFT で計測されたすべり摩擦係 数の関係は、平成19年より乾燥、湿潤、圧雪、氷 板、氷膜路面における走行試験を寒地土木研究所 が行い、確認している<sup>20)</sup>.その結果、決定係数が 0.9以上と良好な相関関係が得られており,その 関係は以下に示す式(4)によって表わされる<sup>20)</sup>.

$$y = 0.009 \ x - 0.0929 \tag{4}$$

ここに, *x*:HFN, *y*:すべり摩擦係数である. HFN は,式(4)に代入することによって得られ た値を FN (Friction Number) として定義し,す べり摩擦係数と比較検討した.

#### 7.2 試験条件

本試験は、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に実施した制動試験の結果と 比較するために、密粒度舗装と排水性舗装の路面 上に、写真-13のように横・連続パターンで人為 的に路面を露出させた氷膜路面を作製して行っ た.路面露出率は20%、40%、60%と設定した. 走行速度は、室内試験が10 km/h であるのに対 し、屋外試験では、LWFT および CFT の測定時 の標準速度である40 km/h とした.LWFT は2



写真-13 屋外試験の路面状態(左:全体 右:拡 大)

回試験を行った.CFT を牽引した3台の試験車を 2回ずつ走行させたが、車両のステアリング角± 7°以下のデータを採用した結果、2台で有効な データが得られた。屋外試験時の気温および路温 は、表-8に示すとおりである。

#### 7.3 試験結果の比較検討

表-9に、LWFTによる試験結果を、表-10に CFTによる試験結果をそれぞれ示す。LWFTによる試験結果は、ばらつきも小さく安定した測定 値を示した。CFTによる試験結果は、LWFTの 結果に比べて測定値にばらつきが見られ、最大 0.2程度の差が確認された。

次に,図-24に密粒度舗装,図-25に排水性舗装における各試験結果を比較したものをそれぞれ示す.LWFTと室内凍結路面走行試験装置の測定結果は,走行速度に30km/hの差があるにもかかわらず,各路面露出率に対してほぼ同様のすべり摩擦係数となった.CFTによる測定結果より得られたFNは,LWFTや室内凍結路面走行試験装置による測定結果とほぼ同様な値を示した.

表-8 屋外試験の試験条件

	) III	密粒度舗装測定時	-10.1~-11.4°C			
J <del>×</del>	価	排水性舗装測定時	-6.5~-8.1°C			
山夕	泊	密粒度舗装測定時	-6.0~-6.6°C			
哈	洫	排水性舗装測定時	-3.7~-5.0°C			
輪衣	苛 重	4 kN				
走行	速度	40 k	m/h			

表-9 LWFT による試験結果

	路	面露出率20	)%	路	面露出率 40	)%	路面露出率 60%			
	1回目	2回目	平 均	1回目	2回目	平 均	1回目	2回目	平 均	
密粒度舗装	0.26	0.26	0.26	0.38	0.40	0.39	0.57	0.54	0.56	
排水性舗装	0.36	0.27	0.32	0.60	0.62	0.61	0.67	0.62	0.64	

表-10 CFT による試験結果

	路面露出率 20%					路面露出率 40%					路面露出率 60%				
	1台目 2		2 台	自自	亚桥	1 台目		2 台目		₩.	1台目		2 台目		亚桥
	(1)	(2)	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	(1)	(2)	平均
密粒度舗装	0.24	0.31	0.22	0.29	0.26	0.31	0.49	0.30	0.42	0.38	0.41	0.55	0.44	0.55	0.49
排水性舗装	0.24	_	0.32	0.33	0.30	0.64	_	0.60	0.42	0.55	0.66	_	0.60	0.59	0.62





したがって、今回用いた測定装置はそれぞれ、 路面のすべり抵抗と路面露出率の関係を適切に評 価していると考えられる.

#### 8. 結論

本研究では、様々な環境下ですべり摩擦係数と 路面露出率の関係を明確にするために、制動試験 や繰返し走行試験を行い、得られた結果を統計分 析およびスペクトル解析し、さらに複数のすべり 抵抗測定装置の結果を比較検証した.これらの結 果から、以下の結論が得られた.

- (1)路面露出率が同じ値であっても、舗装の種類 や露出パターンなどの環境の違いによって、 すべり摩擦係数は異なることから、路面の露 出状況によりすべり抵抗や舗装による凍結抑 制効果の評価を行う場合には、その舗装や区 間における路面の露出パターンを特定する必 要がある。
- (2) 繰返し走行試験後に測定したすべり摩擦係数 と制動試験より得られた関係の近似式より算 出した値は、ほぼ同じ値となり、路面露出率

を用いて路面のすべり抵抗を評価できる可能 性を示すことができた.

- (3) 路面テクスチャや凍結抑制材は、すべり抵抗 に影響を与えるが、その大きさは路面の状態 によって大きく異なる。特に、圧雪路面や氷 膜路面ではすべり抵抗に対する影響が確認さ れたが、厚い氷板路面ではほぼみられなかっ たため、路面テクスチャや凍結抑制材による 効果の発現には、効果が期待できる管理水準 を保つことが必要である。
- (4) スペクトル解析の結果より,路面状態による 路面テクスチャの変化傾向を明確にすること ができた.さらに G-9 と G-P は、グルービン グを施すことによって、母体舗装よりも、路 面テクスチャの粗面効果を維持できることが 推測される。
- (5) 室内凍結路面走行試験装置,LWFT および CFT によるすべり抵抗の測定値を比較する と,ほぼ同様な路面のすべり抵抗と路面露出 率の関係を示していることから,本研究で明 らかになったすべり摩擦係数と路面露出率の 関係は,実路においても十分に適用できる可 能性を示すことができた.

#### 9.おわりに

本研究では,路面露出率からすべり摩擦係数を 予測できる可能性を示しただけでなく,舗装面の テクスチャや凍結抑制材のように,粗面効果を含 む物理的凍結抑制効果を期待できる要因について も分析し,凍結路面の種類の違いによる,すべり 摩擦係数に対する影響の大きさと傾向を把握する ことができた.

本研究は4種類の舗装と凍結路面において4パ ターンの露出状況を再現して行ったが、舗装の種 類や発生する凍結路面は多くの種類が存在するた め、今回得られた各因子とすべり摩擦係数の関係 が適用できない場合も十分に有り得るであろう。 しかし、ここで行ったアプローチを他の条件に対 しても実施することで、すべり摩擦係数と各因子 の関係を把握することが可能であり、各種舗装の 効果を活かすことのできる、最適な施工箇所を予 測することも可能になると考えている。

#### 【参考文献】

- 1)田中俊輔,武市靖,増山幸衛:グルービング系凍結抑 制舗装のすべり抵抗と氷板破砕に関する工学的研究,土 木学会舗装工学論文集,第14巻, pp.195-202, 2009.
- 2) Tilley, J. S., Kroeber, S. S., Green, J., Clonch, D. and Hal-liday, D.: Measurements of Pavement Condition and Road Weather Environment Within North Dakota Using a Tow-Hitch Mount Road Grip Tester, Transportation Research Circular, Number E-C126, pp. 364-378, 2008.
- 3) Arsenault, S.: Assessment of Devices used to measure Road Friction in Winter Conditions, AIPCR-PIARC, 13th International Winter Road Congress, T 4-4-24, 2010.
- 4) Engstrom, N., Latsson, R., Andren, H. and Fransson, L.: Direct low lateral slip roadgrip measurement compared with surface reflection of three laser beams, AIPCR-PIARC, 13th International Winter Road Congress, T4-4-169, 2010.
- 5) Vaa, T. and Hol, I.: Follow up study of winter standard as a R&D project, AIPCR-PIARC, 13th International Winter Road Congress, T1-2B-110, 2010.
- 6) NCHRP: Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, 2002.
- 7) PIARC: Snow & Ice Databook, 2010.
- 8) 御滝毅, 鈴木徹, 藤木一雄: グルービング溝を利用し た凍結抑制舗装の検討について, 第8回北陸道路舗装会 議技術報文集, pp.203-206, 2000.
- 9)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,第24回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告

集, Vol.24, pp.15-19, 2008.

- 10)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.
- 11) 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.
- 12)田中俊輔,武市靖,増山幸衛:グルービング系凍結抑 制舗装の効果の評価に関する研究,第63回年次学術講 演会講演概要集,V-076,2008.
- 13) Otsu, N.: A threshold selection method from greylevel histograms, IEEE Trans., SMC, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
- 14) 日本雪氷学会北海道支部:雪氷調査法, pp.29-45, 北 海道大学図書刊行会, 1991.
- 15)増山幸衛,片山潤之介,草刈憲嗣,岩井茂雄,寺田剛: 解析方法の違いを考慮したテクスチャの評価に関する 研究,土木学会舗装工学論文集,第9巻,pp.231-239, 2004.
- 16) Characterization of Pavement Texture Utilizing Surface Profiles-Part 1: Determination of Mean Profile Depth, International Organization for Standardization, International Standard ISO 13473-1, 1996.
- 17) 南茂夫:科学計測のための波形データ処理, pp. 72-73, CQ 出版社, 1986.
- 18) 日野幹雄:スペクトル解析, pp.186-187, 朝倉書店, 1977.
- 19) 吉井昭博,田高淳,安倍隆二:積雪寒冷地における開 粒度舗装のすべり抵抗に関する検討,第11回北陸道路 舗装会議技術報文集,B-14,2009.
- 20) 切石亮,徳永ロベルト,高橋尚人:冬期路面状態評価 技術に関する試験研究 — 連続路面すべり抵抗値測定 装置の測定タイヤ比較試験(その2) —,雪氷研究大会 講演概要集, pp.21, 2010.