

スパイク埋め込みすべり止め舗装のすべり止め効果に関する実証研究

上田真一¹・臺丸谷政志²・小林秀敏³・千葉達彦⁴・山野内寿江⁵

¹正会員 工修 大成ロテック株式会社 機械技術センター（〒365-0027 埼玉県鴻巣市大字上谷 1456）

²非会員 工博 室蘭工業大学教授 工学部機械システム工学科（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

³非会員 Ph.D. 室蘭工業大学助教授 工学部機械システム工学科（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

⁴非会員 大成ロテック株式会社 生産本部機械部（〒104-0031 東京都中央区京橋 3-13-1 有楽ビル）

⁵非会員 室蘭工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程 機械システム工学専攻
（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

本研究は、スパイク舗装道路の開発に必要な基礎的資料を得ることを目的としている。スパイク埋め込みすべり止め舗装体は、スパイクとゴムチップ成形板から構成される。この舗装体を路面に取り付け、車両荷重が負荷されると変形強度の違いによりゴムチップ板のみが大きく変位し、変位量の小さいスパイクが突出する機構になっている。この突出したスパイクによって、すべり止め効果を発揮するとともに通過車両による氷層の破碎、除氷・除雪効果が期待できる。昨年度の舗装工学論文集においては、車両のタイヤ負荷によるスパイク舗装部の変形を解明するための測定法および数値解析の検討結果について報告した。本報では、それらの基礎的データを基に設計・試作したスパイク舗装体を屋外に敷設し、実車による走行試験を行った実証試験結果について報告する。

Key Words : Antifreeze paved road , non-skid pavement , Recycled rubber-chip board , spike , skid resistance

1. はじめに

冬季間の積雪および路面凍結が原因の交通事故対策の一環として、北海道地方では交差点や坂道等を中心にロードヒーティングの敷設が進められている。しかし、敷設工事および維持・管理等に多額の費用がかかることが問題点とされている。そこで昨年度の舗装工学論文集において、低コストが望める簡易凍結抑制舗装としてスパイク埋め込みすべり止め舗装（以下、スパイク舗装）の提案を行った。前報¹⁾では、スパイク埋め込みすべり止め舗装体（以下、スパイク舗装体）の主な構成要素の一つであるゴムチップ成形板に着目し、車両タイヤ負荷時のゴムチップ板の変形を解明するための測定法、つまりピン変位法について報告した。また、有限要素法コード MARC を用いてゴムチップ板表面変位を 3 次元解析し、ピン変位法による実験値との比較・検討を行った。

本研究では、前報の結果に基づき、スパイク舗装体の設計・試作および試験舗装を行い、車両制動効果および路面上の積雪・凍結氷層の破碎・除

雪氷効果に関する実証実験を行った。具体的には、スパイク舗装に平行してアスファルト舗装を併設し、冬期・夏期に亘り、両舗装上を車載式加速度計が装備された乗用車および大型車両で制動実験を繰り返し行った。その時の車両制動距離や車両の減速度²⁾を計測して実車制動における動摩擦係数を算出し、舗装路面の違いによる摩擦・制動効果について検討を行った。また、数回の車両通過後の路面表面上の積雪・凍結氷層の破碎・除雪氷の状況についても調査を行った。

2. スパイク舗装道路の概要

(1) スパイク舗装

想定されるスパイク舗装の一例を図-1 に示す。スパイク舗装部分は幅 1m 長さ 30m の 2 レーンを想定しているが、道路交通事情により寸法および舗装区間は任意に設定することができる。その他、冬期間、融雪・凍結を繰り返すトンネル入口部分への適用等が想定される。

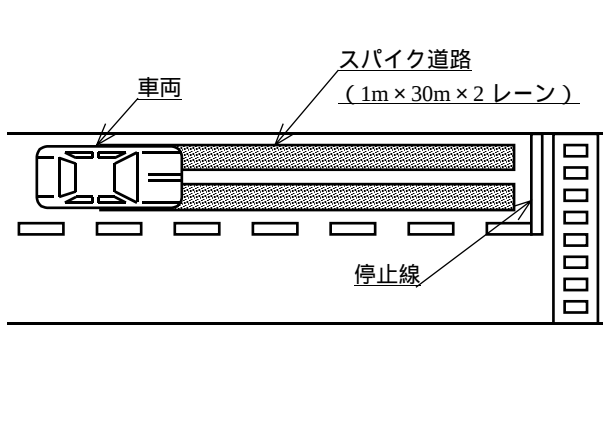


図-1 交差点における使用例

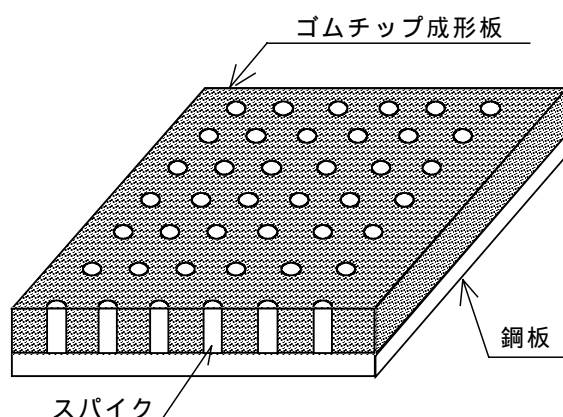


図-2 スパイク埋め込みすべり止め舗装体概略図

スパイク舗装体は、図-2 に示すような単純な構造であり、スパイク埋め込み部は、厚さ 5mm 程の鋼板に鋼丸棒を垂直に埋め込み・溶接してスパイクとし、舗装材をスパイク高さまで充填・加熱押圧して成形される。この充填舗装材には廃タイヤを粉砕したゴムチップが使用され、ウレタン系バインダーと攪拌混合したゴムチップ成形板として用いられる。

(2)すべり止めの機構

車両がスパイク埋め込み舗装部上にあるとき、車両重量はタイヤを介して充填舗装ゴムを圧縮する。ゴムチップ板とスパイクの圧縮荷重による変形量の違いから、相対的にスパイクが突出する。この突出したスパイクとタイヤとの接触による摩擦抵抗がすべり止め効果を高める。また、アスファルト舗装に比べて柔軟なゴムチップ板を用いることによって、通過車両による路面の氷層破碎、除氷・除雪効果が期待され、スパイク舗装面とタイヤとの摩擦抵抗の増大がすべり止め効果を更に高める。車両通過後、舗装ゴム部はゴム弾性により初期の形状に戻り、スパイクの突出は無くなる。

3. スパイク舗装体の設計・試作および試験施工

上記の構造とすべり止め機構に基づくスパイク舗装道路の開発・実用化に向けて、前報では、スパイク突出高さの計測法とゴムチップ成形板の変形解析および各種車両のタイヤと上記との関係について検討した。

本研究では、スパイク突出高さとゴムチップ板厚・密度の関係を調べ、スパイク舗装の設計試作を行った。試作スパイク舗装体を屋外に敷設し、各種車両および種々路面条件下で実走実験を行い、制動効果および雪氷層の破碎・除去効果を調べた。

(1)ゴムチップ成形板の変形強度

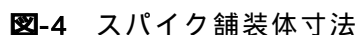
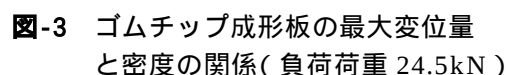
一般の道路上は、さまざまな種類の車両が通行する。今回試作するスパイク舗装体は、大型車両が走行する場合を考え、スパイク舗装体の設計指針とした。まず、スパイク舗装体のスパイク突出高さを制御する上で、ゴムチップ板の変形強度について検討する必要がある。前報で、ピン変位法と名付けた測定法により、小型乗用車のタイヤ負荷によるゴムチップ板の変位量、すなわち、スパイク突出量について測定し、再現性が確認されることについて報告した。また、数値解析の初期条件は小型乗用車用タイヤと路面との接地面形状および接地面圧力を圧縮試験から求めた。表-1 に示した 4 種類のゴムチップ板について、準静的圧縮試験を行い、得られた応力 - ひずみ曲線から、縦弾性係数およびポアソン比を求め、有限要素法コード MARC を利用して数値解析を行った結果、ほぼ実験値と解析値が一致することがわかっている。

今回の試作ゴムチップ板の変形強度を決定する上で、スパイク道路上を大型車両重量 25,000kg(25,000 × 9.8N、タイヤ本数 10 輪)が通過した場合を想定した。スパイク舗装にタイヤ輪分の荷重 24.5kN が負荷されたとき、スパイクが約 2mm 程度突出することを目標とし、表-2 で示した大型車タイヤ接地面に関する条件で、表-1 の 4 種類のゴムチップ板について数値解析を行った。

図-3 に得られたゴムチップ板の密度とゴムチップ最大変位を示す。なお、これらは室温(20℃)下で得られた結果である。この図から、ゴムチップ板最大変位量が約 2mm となる時のゴムチップ板の密度は、およそ 900 ~ 950kg/m³ 程度であることがわかる。そこで、今回の試験施工用スパイク舗装体ゴムチップ板密度は、作業性を考慮して 900kg/m³ と選定した。

試作ゴムチップ成形板	D7	D8	D9	D10
密 度 [kg/m ³]	715	816	919	1000
板 厚 [cm]	2.44	2.46	2.49	2.50
重量配合比 ゴムチップ：ウレタン	100 : 10			

タイヤサイズ	11R22.5 14PR
負荷荷重[kN]	24.5
接地面長[mm]	147
接地面幅[mm]	254
平均接地面圧力[MPa]	0.49



スパイク舗装体を設計するためには、ゴムチップ成形板の選定以外にスパイクの配置間隔およびスパイク径などについて別途検討を行う必要があるが、ここでは、一般的な市販サイズとスパイクの溶接作業性等から材質 SS400 丸棒を用いてスパイク径 9mm、スパイク間隔 100mm とした。また、鋼板についても、作業性および市販サイズを考慮して、材質 SS400 板厚 4.5mm の鋼板を使用した。

図-4 に試験施工に使用したスパイク舗装体寸法を示す。また、構成材料特性を表-3 に示す。ここで、ゴムチップ板重量配合割合とは、ゴムチップ材（タイヤ再生ゴムチップ：トラックタイヤ表面

試験施工概要図を図-5に示す。ここで、スパイク舗装体と半たわみ性舗装との接合方法として、ケミカルアンカー（エポキシアクリレート樹脂タイプ、アンカーボルト径 10mm）を用い、舗装面と4箇所接合した。また、路面表面温度及び気温を採取するため、試験区間中央部に熱電対を埋設した。

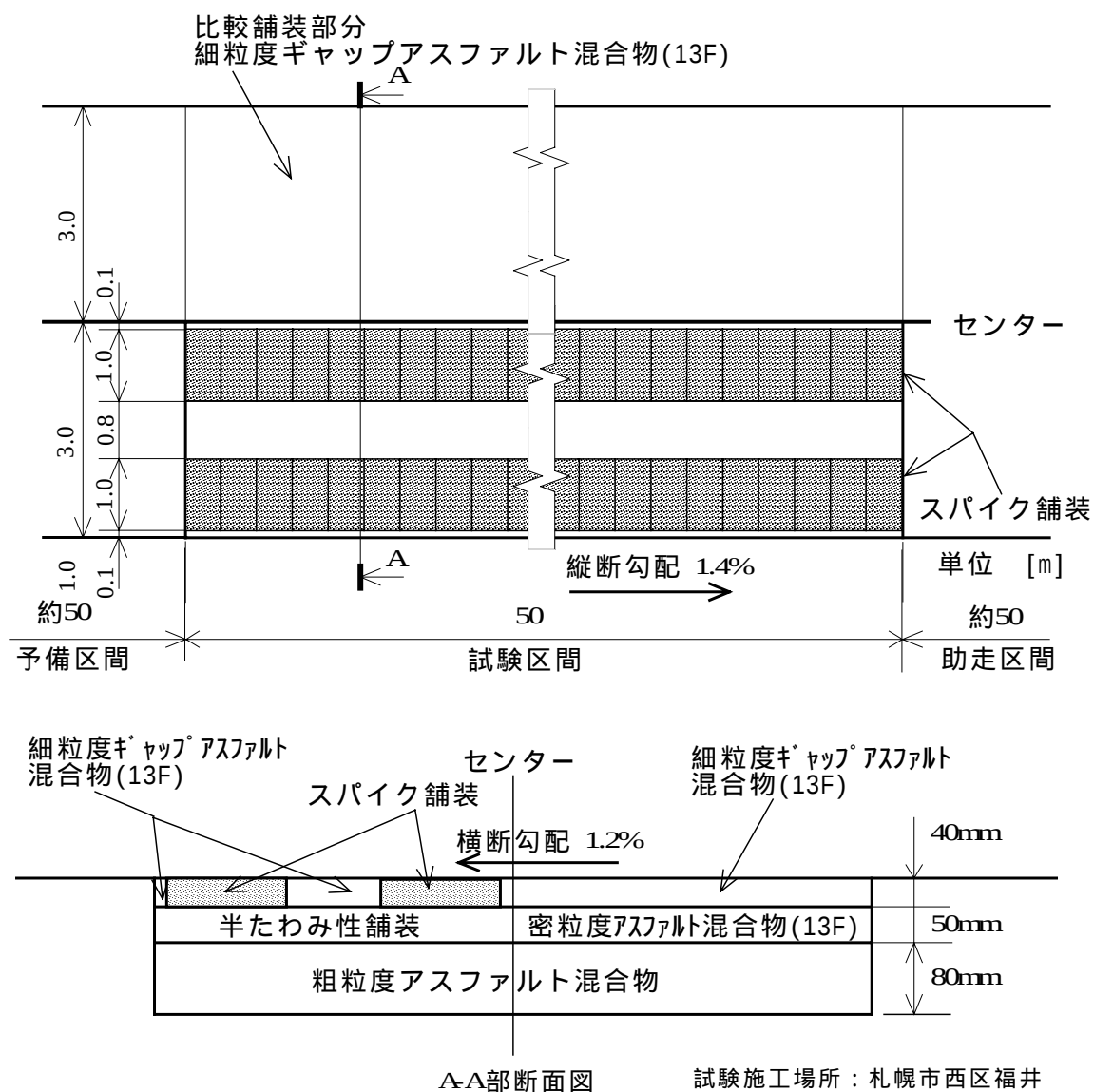


図-5 試験施工概要図

表-3 スパイク舗装体の概要

スパイク舗装体 形状寸法（縦×横×高さ）	1m × 0.5m × 0.0345m
スパイク配列	格子状配列
スパイク直径	φ9 mm
スパイク配列間隔	100 mm
鋼板厚	4.5 mm
スパイク及び鋼板の材質	SS400
ゴムチップ成形板密度	900 kg/m ³
ゴムチップ成形板重量配合割合 （ゴムチップ：バインダ）	100:10
ゴムチップ成形板厚	30 mm

4. 実車による制動試験

実際に車両が走行中に急制動を受けた場合の動摩擦係数 μ_p の推定を行うことを目的として、乗用

車および大型トラックによる制動試験を実施した。冬期および夏期において試験施工区間で、一定速度からの制動を行ってブレーキ制動開始場所から車両停止場所までの制動距離の測定および積載した加速度測定器によって減速度の計測を行い、スパイク舗装およびアスファルト舗装に関する比較検討を行った。さらに、車両が舗装上を繰り返し走行することによる舗装面上の雪や氷の状態変化についても、あわせて調査を行った。

(1) 制動試験結果

ABS 装備の乗用車および大型車に関しても制動実験を行ったが、ここでは ABS なしの大型車（20t トラック）の急制動試験結果のみを報告する。

制動試験の状況を写真-1 に示す。表-4 に示す試験条件で、同一の車両を使用して、スパイク舗装

表-4 制動試験条件（冬期）

試験日時	2001年2月15日 15:00～17:00		
試験場所	札幌市西区福井		
気象条件	天候	平均気温	平均風速
	晴れ	-11.1	0.9 m/s
路面条件	雪氷層1～3cm		
使用車両	大型トラック（車重 205kN）ABS無し		
	使用タイヤ：11R22.5 14PR（スタッドレス）		
	タイヤ空気圧（平均）：690kPa		
進入速度	30および40km/h		



写真-1 制動実験状況

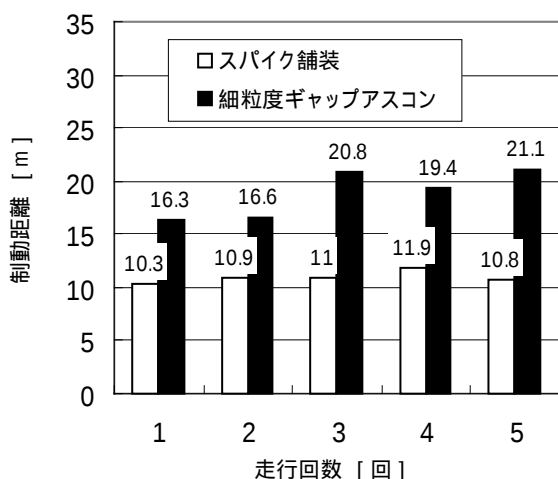


図-6 制動試験結果
(大型トラック, 速度 30km/h)

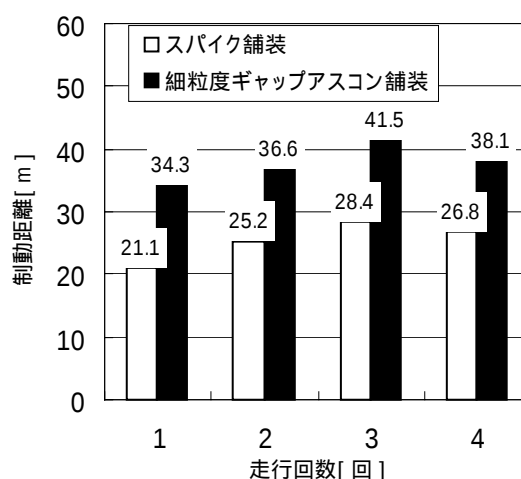


図-7 制動試験結果
(大型トラック, 速度 40km/h)

と細粒度ギャップアスファルト舗装上を進入速度約 30km/h で各 5 回, 約 40km/h で各 4 回づつ制動実験を行った結果を図-6 および図-7 に示す。細粒度ギャップアスファルト舗装に比べて, スパイク舗装上での制動距離が短いことがわかる。また, 速度 30km/h での試験結果からは, スパイク舗装上の制動距離がほぼ一定になっていることがわかる。スパイク舗装上では走行試験初期に, 舗装上に氷着していた雪氷に写真-2 のような破碎が生じ部分的に除氷も確認された。また, 一度, 除氷されて舗装面が露出した部分は, 走行回数の増加に伴いより大きく広がった。スパイク舗装上に氷着していた雪氷は走行回数初期の段階で破碎・除氷されるのに対し, 細粒度ギャップアスファルト舗装上では, これらの状況は観られなかった。細粒度ギャップアスファルト舗装上での制動距離は, 3 回目までは走行回数を重ねるごとに制動距離が長くなっている。これは, 氷層上にあった雪が, 試験回数の増加と共にさらに圧雪状況を作り出したためと考えられる。また, タイヤをロックした制動実験であるため, より路面表面に磨き作用が



写真-2 氷層の破碎状況

働いたためと推測される。

(2) 動摩擦係数の算出

実車による制動試験結果から, 動的すべり摩擦係数 μ_p の算出を行った。車両が急ブレーキ制動を受ける場合, 近似的に力の釣り合い式およびエネルギー式より次式が成立する。

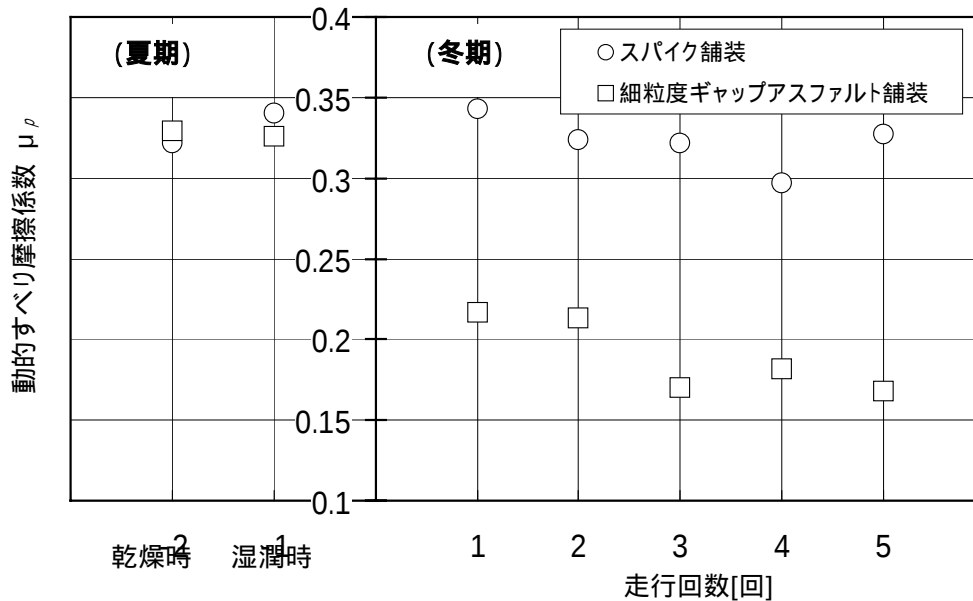


図-8 車両走行時における動的すべり摩擦係数
(大型 20t トラック，ABS 無し，速度 30km/h の場合)

表-5 制動試験条件 (夏期)

路面条件	乾燥時	湿潤時
試験日時	2001年5月30日 16:00 ~ 17:00	2001年5月31日 13:30 ~ 14:30
試験場所	札幌市西区福井	
天 候	晴れ	曇りのち雨
時間雨量	——	1mm/h
平均気温	26.0	16.3
平均路面 表面温度	Sp:34.6 As:40.7	Sp:20.3 As:20.8
使用車両	大型トラック (同冬期試験)	
	ABS装置無し	
	使用タイヤ (同冬期試験) タイヤ空気圧 (平均) : 690kPa	
車両重量	約219kN	約216kN
進入速度	約30km/h	
備 考	Sp:スパイク舗装 As:細粒度ギャップアスファルト舗装	

$$\mu_p = \frac{F}{mg} \quad (1)$$

μ_p :路面とタイヤとの動摩擦係数

F :水平方向に作用する荷重[N]

m :車両質量[kg]

g :重力加速度 9.8[m/s²]

$$Fx = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

x :制動距離[m]

v :車両速度[m/s]

この2式より、動摩擦係数 μ_p が次式のように導き出される。

$$\mu_p = \frac{v^2}{2gx} \quad (3)$$

式(3)を用いて、制動試験結果から得られた制動距離データをもとに、動的すべり摩擦係数 μ_p を算出した。図-8 に、図-6 に対応する動的すべり摩擦係数の算出結果を示す。図中の左側は表-5 に示す条件で制動実験を行った結果をもとに式(3)を用いて動的すべり摩擦係数 μ_p を算出したときの平均値である。車両走行制動試験(夏期)においては、ほぼ同じすべり摩擦係数になることがわかる。表-4 に示す条件で冬期における動的すべり摩擦係数 μ_p は、スパイク舗装 $\mu_p = 0.29 \sim 0.34$ 、細粒度ギャップアスファルト舗装(13F) $\mu_p = 0.17 \sim 0.22$ と算定された。この結果から、スパイク舗装の冬期における動的すべり摩擦係数 μ_p は、細粒度ギャップアスファルト舗装の μ_p より大きく、すべり止め効果の有効性が認められる。ただし、当然のことながら、制動試験条件および車両のちがいにより上記の動摩擦係数の値は変わり、絶対値を表すものではない。

5. まとめ

スパイク埋め込みすべり止め舗装（スパイク舗装）の試験施工および各種車両制動実証試験を行い、次の結果を得た。

- (1) 大型車（総重量 25 トン，車輪 10 輪）に対して，スパイク突出高さが 2mm 程度になるゴムチップ成形板の板厚および密度を求め，スパイク舗装体の設計・試作を行った。
- (2) 幅 1m，走行距離 50m，2 レーンのスパイク試験舗装を施工した。比較のためアスファルト舗装を併設し車両制動試験を実施した。積雪・凍結路面上の実験結果では，スパイク舗装上の制動距離は細粒度ギャップアスファルト舗装(13F)のそれに比べて大幅に減少した。大型トラック 205kN，速度 30km/h の場合，スパイク舗装では走行回数による制動距離の変化は少なくほぼ一定の 10～11m であるのに対して，細粒度ギャップアスファルト舗装(13F)では，圧雪すべり面の生成により走行回数と共に制動距離が伸びる傾向(16～

21m)が観察された。

- (3) この場合の動的すべり摩擦係数 μ_p は，平均値でスパイク舗装 $\mu_p = 0.32$ ，細粒度ギャップアスファルト舗装(13F)で $\mu_p = 0.19$ と算定される。
- (4) 上記のように，スパイク舗装のスパイク効果およびゴムチップ成形板のたわみによる雪氷層の破砕・除去効果の有効性が検証されたが，実用化にあたっては，凍結環境下でのゴムチップ板の機械的特性変化，繰り返し負荷による耐久疲労特性，スパイク密度など，さらに施工作業性やコスト低減が課題として残ることを付記する。

参考文献

- 1) 上田・臺丸谷・小林・上野・山野内：スパイク埋め込み式滑り止め舗装の基礎研究，舗装工学論文集第 5 巻，pp17-22，2000,12.
- 2) 水野・北原・中村：凍結抑制舗装について，第 8 回北陸道路舗装会議，pp59-62，2000,6.

VERIFICATION OF NON-SKID EFFECT IN PAVEMENT METHOD USING RUBBER-CHIP BOARD WITH SPIKES

Shin-ichi UEDA, Masashi DAIMARUYA, Hidetoshi KOBAYASHI, Tatsuhiko CHIBA and Hisae YAMANOUCHI

This paper is concerned with a non-skid pavement method to prevent the road-surface from freezing in cold districts, which may materialize a non-skid road partially with low cost and short time. On the road surface with the rubber-chip board including spikes, non-skid effect and breaking ice layers can be expected by the spikes sticking out of the rubber surface crushed by the vehicle loads.

In this study, the non-skid effect of the rubber-chip board with spikes in this pavement method was experimentally veriflicated. The boards were laid in the open air and the experiment were carried out by means of fast braking of cars and trucks.