

VI-4

氷結路面に対して防滑性を有する舗装道路の開発

北見工業大学工学部	正 員	末 岡 伯 從
開発局網走開発建設部		永 井 俊 一
武蔵工業株式会社		松 浦 彰
株式会社シビテック		福 田 朗 裕
コスモ技研株式会社		石 井 九一郎

1. はじめに

積雪寒冷地や山岳地等において、冬期の低温時に圧雪や氷が舗装路面上に付着する一環にいわれている凍結路面や、あるいは薄い氷の層が存在する氷結路面、いわゆるブラックアイスバーン上を車両が走行する機会が多く、これらの路面での安全性の確保が重要な課題となっている。最近、自動車の冬期路面走行に対応してタイヤや自動車の性能の発達に対しては目覚ましいものがあるが、凍結や氷結に対する舗装路面からのアプローチは種々の凍結抑制機能を有する舗装道路はあるが、いまだ社会のニーズに答えきれていないのが現状である。本研究においては、これまで合理的な凍結抑制機能を有する舗装をと種々考えてきたがいろいろ試行錯誤の結果、本開発のような自然の法則にそって、物理的に適合した舗装道路を開発した。これは車両通過圧力、通行摩擦熱と路面材の摩擦力の相違で氷結路面を抑制させる。すなわち、路面材のすべりと車両通行により氷結を除去し、車両通行摩擦熱で融解させ周りの摩擦を有する路面によりすべりを防止させる。

本開発はまだ研究途中で本文での報告では、ある程度の予測が多いがこれまでの試験をここに報告する。

2. 開発の経緯

これまで積雪寒冷地での道路舗装は、スパイクタイヤに対する耐摩耗対策が北海道開発局（現、開発土木研究所）を中心に数多く実験的研究が行なわれてきた。すなわち、アスファルト舗装の表層において、すりへり抵抗を増すために、フィラーの役割を高く評価した、フィラービチューメンを結合材とする、いわゆるFB法による実験的研究である。これは、アスファルト（A）、フィラー（F）、砂（S）、粗骨材（G）とし F/A を一定とし、A量を変える方法である。本研究においては、A量が変われば F/A の比が一定でも G/S の比が変わるが、アスモル中のA量は一定であることからアスモルがアスコンの結合材とする実験的研究も数多く行ってきた。すべりに対しては、 $G/S=40/60$ 程度の粗骨材量で、すべりに効果を有することから、 $F/A=1.75$ 程度の細粒度ギャップアスコン舗装が、表層用として北海道のような積雪寒冷地で広く用いられるようになっていく。一般の路面のすべりの場合には、混合式はアスファルト舗装要綱の項に準じて考えればよいが、散布式の場合にはすべり止め効果の大きい骨材を散布し、剥離しないように付着力の大きい接着材を選定する必要がある。この場合、0.5～2.0mmのシリカサンドやエメリー等をエポキシ樹脂などの付着力の大きい樹脂で張り付けるのが一般的である。

坂路などでは、ゴムマットの敷設工法や、ロードアスファルト工法の配合設計方法においても、冬期には車両のすべりを防止する目的があるので実施されてきている。

これらの研究をふまえ、また従来の凍結抑制機能を有する舗装など検討する中で、本研究においては一般のすべり摩擦を有する舗装道路にゴム素材とプラスチックを主体にして舗設し、これらを共存させた舗装、いわゆる車両通行ゴムレール舗装道路ともいえるべき凍結抑制機能を有する舗装道路を開発するに至った。

Development of Road Surfaces with Anti-Skid Operations in Comparison with Those of Freezing or Ice Roads by Noritsugu.SUEOKA, Syunichi.NAGAI, Akira.MATSUURA, Akihiro.FUKUDA, and Kuichiroh.ISHII

3. 従来の凍結抑制機能を有する舗装道路

従来の凍結抑制機能を有する舗装道路の状態は、おおそ下記の通りである。

- ①. 歴青材を主体の舗装材に塩化系の凍結防止材を混合した路面敷設材で、一般に凍結遅延舗装と呼ばれている。これは、表層用アスファルト合材に凍結防止材を4～8%混合し、仕上り厚3～5cmに転圧し施工する。同様の目的で、塩化物の凍結防止効果を長期に持続させるために、凍結防止剤をゴム膜や樹脂で被覆した路面凍結防止材がある。
- ②. 同様の舗装にゴム粒子を混合物に対して3～4%配合し、ゴム粒子の弾性を利用する表層用路面敷設材があり、これは弾性舗装と呼ばれている。同様に比較的細粒分の多い加熱混合物を敷設した直後に粒型の大きいゴムチップを圧入し転圧させる工法がある。
- ③. また、あらかじめアスファルトでプレコートした単粒度採石をアスモル混合物を敷き均し直後に転圧して定着させるロールドアスファルト舗装がある。
- ④. すべり抵抗を高める機能を有する工法にグルーピング工法や排水性舗装があり、舗装表面の粗さや路面排水とによって、冬期においてもすべり止めの効果を有する。
- ⑤. 冬期のすべり防止に欠かせない方法として、一般的に広く普及し効果的で簡便なのは、凍結防止材やスリップ防止材の直接散布であるが、効果の持続性を維持させるためにそのつど散布する。

これらの舗装に対する問題点を上げると、下記ようになる。

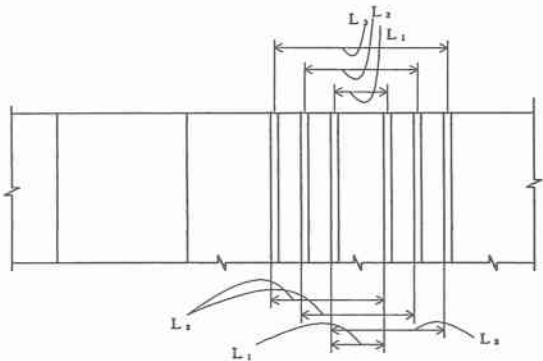
- ①は、工費が高く舗装しても塩化物の凍結防止効果を長期に持続するのが難しく、持続させても保持する塩化物の量には限界があり、またこれまでスパイクタイヤの削り効果でこの機能が発揮されていたが、これが制限され、効果は一般路面とあまり差がなく使用しずらくなっている。
- ②は、舗装材に混合させ全体に舗装することを目的としており、経済的ではあるが容易な方法ではない。効果を得るためには、ゴムチップを多く必要とし、多く使用すれば耐久性や施工性に問題が生じる。
- ③は、坂路等で効果を上げているが、除雪機械などで粗骨材が剥がれやすく耐久性に問題がある。
- ④のグルーピング工法については、車両通行方向に垂直に溝を刻設した場合すべり防止効果はあるが、逆に平行の場合はすべりやすい。
- ⑤の場合では、必要に応じてそのつど散布しなければならず維持運営が煩雑で散布量は多大である。

4. 本研究によって開発した舗装道路

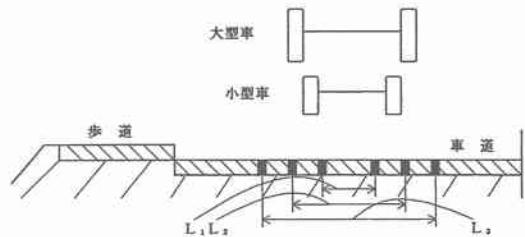
本研究によって開発した舗装道路は、従来の技術のこのような問題点を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、次のようなことのできるものを提供しようとするものである。

すなわち、凍結路面を抑制するためには、除雪機械での路面の除排雪と凍結路面抑制機能を有する舗装とによって路面を露出させる必要がある。従来のような凍結路面を抑制するために舗装全体に抑制措置を講ずることは経済的に容易な方法ではなく、このためこの開発した方法では必要な箇所だけを対象にする。すなわち車両の通行方向、特に車両タイヤと舗装路面との接触部分に注目した。

本開発した舗装においてはまず、一つの車両で2



図一 氷結防止舗装路面の略図的平面図



図二 氷結防止舗装路面の略図的断面図

本分である一対のレール状の溝を車両通行方向の舗装表層路面上に作り、この溝に雪氷が付着しにくいゴムとポリエチレンを材料として使用することを考えついた。(図-1、図-2参照)。

車両の種類には小型車、普通車、大型車があり、各々の車両タイヤ前輪トレッドは、大掴みにそれぞれ、 $L_1=120\text{cm}$ 、 $L_2=140\text{cm}$ 、 $L_3=180\text{cm}$ 、タイヤ接地幅は12~20cmであるとした。

車両タイヤの接地する路面が車両通過圧力・車両通行摩擦力によって雪氷の付着が防止され、凍結を抑制させる機能が生じると考えた。すなわち、路面材の摩擦力の相違によって、車両の通過で雪氷を除去し、周を車両通行の摩擦熱で融解させ、周りの摩擦力を有する路面によりすべりを防止すると考えた。

5. 本開発した舗装の試験

本開発についての試験は、私有地の路面を利用し、代用となる材料を使用し、簡易的な試験を実施することから始めた。本開発のアイデアに必要な同様な役目をする使用材を見つけ試験してみる必要があった。

そこで、まず、耐圧ゴムホース $\phi 32$ 、 $\phi 25$ 、 $\phi 18\text{mm}$
ステンレスドライボール $\phi 3\sim 4\text{mm}$ 、 $L 3.5\sim 4\text{m}$ 、
排水用塩化ビニルパイプJISK6741、VU100、75、
50、JISK6742、VP30、25、20、16、13、
排水樋W10cm、

ほかに合成ゴム、ウレタン樹脂などを見つけ出してきた。

ゴムホースの強度を高めるため2重に重ね塩化ビニルパイプを心棒に入れ強度を高めたりする措置を施し、これらを使用する必要があった。

これらは、私有地路面を利用しアスファルト、セメント、砂利中にセットし、すべりや圧雪の付着具合を見る中で以下のようなことが分かった。

車両通行方向に舗装路面を削るか削り取り溝を付けゴム溶液を流し込む方法が、路面にわだちを作らず、スムーズに作業でき実用的である。ゴム素材の場合、樹脂複合層でなる製品のシートを張りつけても有効である。最も効果的なのは、ホースやパイプに温水を通し熱を利用する方法、またはその空隙中に措置を施し凍結防止剤を封じ込めるなどの措置した場合、塩化物が路面上に浸潤作用することは明らかであった。

レール状に一方に1本、他方に1本の一対とするよりは、一方に2本、他方に2本、あるいは一方に3本他方に3本の方が圧雪の付着を除去するには効果的であるが、スリップの危険性は大きい。

1本の幅では、プラスチックの場合、10cmでは危険である。1本の横幅を5cm程度、20cm以上の間隔に3本とし、その間隔に散布式のすべり防止措置を施すことが良いと分かった。

6. 本開発の舗装の試験で得られた舗装道路

6-1. 施工方法について

(第1工程) まず舗装路面に車両通行方向に車両寸法のトレッドに幅を合わせて、当該舗装路面を削り取るなどして一対のレール状をした溝を刻設する。

(第2工程) 第1工程で得た溝に、弾性舗装材、天然ゴムや合成ゴムなどのゴム素材、雪氷が付着しづらいプラスチック系の熱伝導率が非常に悪い素材などを流し込む。あるいは、第1工程で得た溝に、弾性舗装材、天然ゴムや合成ゴムなどのゴム素材、雪氷が付着しづらいプラスチック系の熱伝導率が非常に悪い素材などで構成されたレール状体を嵌着させる。

(第3工程) 新設の舗装路面での施工予定箇所においては、所定の深さと幅を有するレール状の溝は型枠で形成するか、鉄輪タイヤかソリッドタイヤの車輪のわだち掘れを利用する。

6-2. 作用について

①. 弾性舗装材やゴム素材を使用した場合、ゴムの弾力性が車両荷重により路面の氷を破壊するが、路面にあらわれていると雪氷などでスリップしやすいが、車両通行により雪氷が除去される。

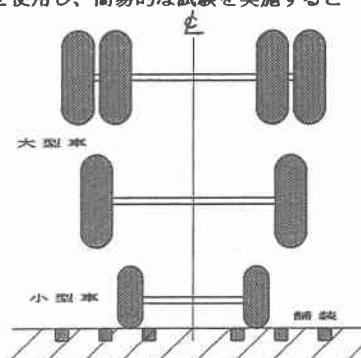


図-3 舗装と車両の断面図

- ②. ポリエチレンなどの合成樹脂、表面が滑らかな場合のガラスや陶器、ほかに特殊塗料などを使用した場合、雪氷が付着しづらく、スリッパしやすいが、これも車両通行により雪氷が除去される。
- ③. 舗装路面に樹脂系材料を塗布し、シリカサンド、エメリー等の硬質骨材、人工的なポーキサイト、スラグ、アルミナ、各種研磨材等を接着させることですべり抵抗を高める効果があることは分かっている。
- ④. 一般には歴青材の配合比の違いやコンクリート舗装の路面の粗さで、すべり抵抗は確認している。

6-3. 素材について

弾性舗装材、天然ゴムや合成ゴムなどのゴム素材、熱伝導率が非常に悪い素材とは下記のものである。

- ①. 弾性舗装材はゴム粉末やゴムチップを合成ゴムやウレタン樹脂等の接着材で結合したものであり、舗装材として冬期での弾性や耐すべり特性を有する。増量効果や艶消効果を得るためにクレー、カオリン、ベントナイト等の無機質充填材、劣化防止などのため助剤等を添加する。市販されている弾性舗装材の配合はノウハウがあり公表されておらず、種々の配合のものがあり、その性質にも幅がある。配合の代表例としては、不揮発分50%のスチレン・ブタジエンゴム単独あるいは熱可塑性エラストマーを併用50部、黒色の加硫ゴム粉末100部、クレー25部、酸化クロム粉末20部などを混合したものでなっている。
- ②. ゴムは天然ゴム(NR)と合成ゴム(SR)の2種類がある。NRはゴムの弾性を与えるためイオウを混ぜて加熱してできた加硫ゴムで、カーボンブラックはタイヤの耐久性を10倍も高める効果がありタイヤの配合には欠かせぬ材料でゴム100部に対してカーボンブラック40部以上使われている。

SRは一般用と特殊用があるが、一般用としては、ブタジエンとスチレンの共重合体(SBR)があり、ブタジエン系とスチレン系とも石油が使われている。製品としてはゴムを50%程度使用し、残りの50%程度は使用目的に応じた製品とするためと、増量を目的とした副資材からなっている。

増量効果や艶消効果のための炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、クレー等の無機質充填材、軟化材や可塑材、SRにはとくに粘着材が加えられる。いずれも仕上がりや加工特性の製品とするための配合がある。

- ③. プラスチックには熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂がある。熱可塑性樹脂には、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン三重合体(ABS樹脂)、アクリロニトリル・スチレン共重合体(AS樹脂)、ポリカーボネイト、三ふっ化エチレン樹脂、ポリアミド樹脂(ナイロン)、ポリエチレン、ふっ素樹脂、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリメタクリル酸メチル、ポリビニルアルコール(ポパール)、ポリ酢酸ビニル、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルブチラールなどがある。

熱硬化性樹脂には、エポキシ樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂(ベークライト)、ポリウレタン、けい素樹脂(シリコーン)、ユリア樹脂(尿素)、ポリエステル、アルキド樹脂、フラン樹脂などがある。

6-4. 溝や型枠などについて

- ①. 溝を形成する場合、アスファルト・カッター、シーリング機械、バーナー、加熱式掻き取り機械、回転式ギヤ削り式機械などの溝をつくる機械を使用する。
- ②. 新設の舗装の場合の溝は、型枠により構築するか、鉄輪かソリッドタイヤのわだちを利用する。
- ③. 溝は図-1、図-2、図-3を例にその寸法を説明すると、深さH=3cm程度、幅W=7cm程度である。左右のレールの間隔は、小型車用は120~130cm程度、中型車は140~150cm程度、大型車用は180~190cm程度である。

7. 使用素材の考察

本研究によって開発した車両通行ゴムレール舗装道路に関連して、使用素材であるゴムの弾性、ゴムとプラスチックの熱伝導率、比重、表面の性質、吸水性について考察する。

7-1. ゴムの弾性について

冬期の低温時に舗装材として唯一弾性を有するのがゴム素材を用いたときである。ゴム素材を低温時に柔軟にするためには、ゴム中に加硫剤、加硫促進剤、老化防止剤、軟化剤など各種の合成ゴムや添加剤などが複雑に混ぜ合わされている。ゴム自体は低温になると硬くなり、ついには極低温でガラス状態となるが、天

然ゴムの転移点は -6°C 、合成ゴムは -104°C である。

7-2 熱伝導率について

ゴムやプラスチックの熱伝導率は、金属、磁器、ガラスなどの材料に比べはるかに低い。(表-1参照)。

熱伝導率は断熱を目的とした場合には、低いほうが有利となり、放熱を目的とする場合には不利となる。

ゴムやプラスチックの比熱では0.2~0.55程度で木材は0.3、鉄の0.1やガラスの0.12~0.16などに比べ大きく、比熱値が大であることは熱効率が悪く、比熱の高いほど温度は上昇しにくいことになる。

7-3 比重について

比重は金属類がもっとも大きくゴム、プラスチック素材では木材より少し重い程度である。(表-1参照)。

工業的に大量に使われるためには、値段が安いことで重さ当りの値段が高価な場合もあるが、ゴムやプラスチックは比重が低いから体積当りの値段は安くなる場合が多い。

7-4 プラスチック表面の性質について

表面の性質は、粗さ、硬さ、摩耗、摩擦を調べる方法が、JISによって規定されている。また、ぬれを調べる方法がありこれは、固体表面と液滴のなす接触角を求め、ぬれの良否を定量的に判断するもので、ポリエチレン及びポリプロピレンフィルムのぬれ試験方法(JISK6768)に定められていて、ぬれ性の尺度をしめす。プラスチックの表面張力は撥水性表面15~20、疎水性表面20~35、極性表面35~50、新水性表面50~60、水性表面60~75 dyn/cm が目安となり、ポリエチレンの例では31 dyn/cm であり、数値の大きい方が接着性が良いことになる。

7-5 プラスチックの吸水性について

プラスチックには、ほとんど吸水性を示さないものから多量の水を吸収するものがある。三ふつ化エチレン、ポリプロピレン、ポリエチレンはほとんどゼロであり、塩化ビニル、ABS樹脂、AS樹脂、アクリル樹脂、ポリカーボネイトなどは0.1~0.4%の吸湿率をもつ。現在、合成の吸水ポリマーがあり、その吸水剤は自重の1,000倍も水を吸収するが、尿のような塩分のある水は100倍くらいしか吸収しない。

8. 路面とタイヤのすべり抵抗に関する考察

路面とタイヤとのすべり摩擦抵抗は、相互に関連して複雑である。一般の路面とタイヤには、路面を構成する舗装路面の分子とタイヤのトレッドゴムの分子とが引っ張り合う凝着摩擦、路面の凹凸によってトレッドゴムが変形し変形させられたゴムは元の形に戻ろうとして抵抗する変形損失摩擦、道路面との接触でタイヤのゴムが引き裂かれタイヤがすり減ることによる破壊摩擦がある。

積雪路面の場合には、スタッドレスタイヤの溝部に雪が入ることにより粘着抵抗による摩擦が発生する。

路面のすべり摩擦抵抗では、路面の平滑度、つぶ砂利などの小さい砂のコロの有無やぬれの有無に影響されやすく、タイヤと路面の間のすべり抵抗では、車の走行速度に最も影響されやすい。すべり抵抗を表す場合

表-1 使用物質と熱伝導率の関係

物質名	比重	熱伝導率 kcal/m ² ·hr·°C
銅	8.93	338.4
鉄	7.86	64.8
アルミナ磁器	2.1~5.3	18.0~25.2
大理石	1.5~3.0	2.5
ガラス(普通)	2.1~3.0	0.6~0.8
木材	0.2~0.8	0.1~0.3
コルク・木炭	0.1~0.2	0.04~0.05
コンクリート	2.3~2.4	0.6~1.2
アスファルト	1.01~1.05	0.14~0.64
砂(乾燥)	2.2~2.4	0.3
砂(湿潤)		1~1.2
ゴム	0.9~1.8	0.11~0.20
プラスチック		
塩化ビニル	1.35~1.45	0.108~0.252
ポリスチレン	1.05~1.07	0.036~0.108
アクリル樹脂	1.17~1.20	0.144~0.216
ポリエチレン	0.83~0.96	0.288~0.446
氷(0°C)	0.917	1.98
氷(4°C)	1.000	0.52

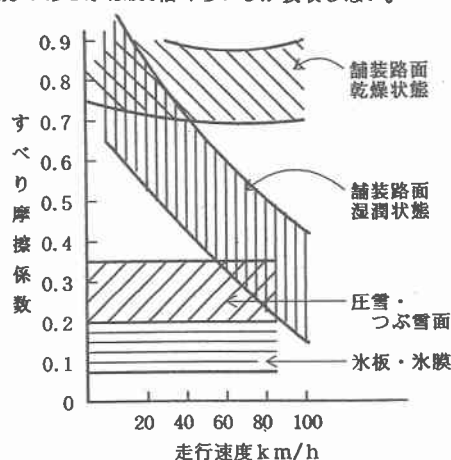


図-4 路面の状態とすべり抵抗

摩擦係数 μ により表すのが一般的である。通常の乾燥した舗装路面の $\mu=0.5\sim1.0$ 、砂利道で $0.4\sim0.6$ 、鋼板等が $0.4\sim0.8$ 、車線を示すペイントのような非常に滑らかな面で 0.4 である。湿潤路面では異なり、湿潤舗装路面 $\mu=0.3\sim0.9$ 、鋼板等 $0.2\sim0.5$ 、マーキング $0.2\sim0.3$ 、溶着式マーキング面に凹凸をつけたものは 0.34 であり、いずれも 60 km/h の値である。

自動車の安全走行を確保するうえで、路面のすべり摩擦係数を一定値以上に保つ必要性から、諸外国には最小摩擦係数を定めている国があり、米国では 0.37 以上としている。この場合、路面表示用塗料でガラスビーズの散布状態によっても異なるが、すべりやすい範ちゅうに入るものがほとんどである。しかし車両がその上を走行する時間が短いため、すべりの問題はそれほど考えなくてもよいといわれ、また国内の路面表示用塗料のすべり摩擦抵抗には限界があり、規格値を設定しても意味がないとされている。

9. 氷結路面におけるすべりに関する考察

圧雪と氷結の路面のすべり抵抗を通常の舗装路面と比較して示したのが図-4である。圧雪路面で $0.2\sim0.35$ 、氷結路面で $0.1\sim0.2$ 程度である。氷結路面は積雪の少ない乾燥した地域、日本でいえばオホーツク海側の地域で11月中～3月末頃に多く発生する。また、頻繁に除排雪されても路面上に水分があり 0°C 以下に冷却された場合に生じ、ブラックアイスバーンとも呼ばれている。これは日射による融解で夜間の冷え込みによる硬化と車両走行でのスタッドレスタイヤの影響があり、時間や場所、舗装路面の温度と道路構造での土工区間や橋梁区間、風通し、日照の良否などによる、時間的、空間的な変化が大きいものとされている。これを防止する方策の一つが排水であり溝を付けることであるが、これにはすでにポーラス舗装やグルーピング舗装があり冬期の低温時のすべり路面防止に有効であるとされている。

本研究によって開発した車両通行ゴムレール舗装道路は、車両寸法のトレッドに幅を合わせ、幅 7 cm 程度のレール状の溝を2～3列作ることの特徴とするが、このポーラス舗装とグルーピング舗装との特徴を生かしたブロックなどをレール状の溝に設置することも考えられる。しかし、ブロックそのものの稜角がタイヤにくいこむことで、すべり作用に効果があるが、高速、湿潤等では減少し騒音が発生するといわれている。

10. おわりに

本研究で開発した車両通行ゴムレール舗装道路における効果を上げると以下の様になる。

- ①. バスやトラックなどの大型車の車両寸法のトレッドに合わせ、2～3列にレール状に溝を作り、そこに舗装路面と異なる素材を使用すると、ゴムの弾性などで、特にブラックアイスバーンには効果が大きい。
- ②. 冬期の交通事故が多発しており、そのほとんどが対向車線へのスリップによるはみ出しである。このため、粗面の弾性舗装材により車両の振動効果ではみ出しを防止できる。
- ③. 大型車により破壊されたレール状の内側の通りを、小型車が舗装表面の表出したところにそって走行することができることは、安全性と心理的な面で安全運転への認識に役立つ。
- ④. この開発の特色は雪氷が路面に張りつかない状態のレールを設定したことであるが、電気などの熱が効果的であるが、経済性の面からはゴムやプラスチックを利用するのが効果的で最も適合している。
- ⑤. この開発の場合ように、車両進行方向に溝を作った場合には、車両進行方向に垂直の場合と違い、またレール上に表面状態の良好な素材を使用することによって、自動車の安定した走行が可能となり、このため駆動力を高めたり、乗り心地と振動・騒音などでの環境面でも良好な効果を生じ得るものと思われる。

参考文献

- 1) 柳田力；実用土木材料，山海堂
- 2) 桜内雄二郎；プラスチック材料読本，工業調査会
- 3) 市原薫・小野田光之；新訂版 路面のすべり，技術書院
- 4) 永田宏二；表面をはかる，日本規格協会
- 5) 日本工業標準審査会；JIS路面標示用塗料，日本規格協会
- 6) 下田茂；自動車工学，共立出版