

## I-76

## 古タイヤを用いた弾性舗装のラベリング試験と実用化に関する研究

|          |    |        |
|----------|----|--------|
| (株)日本製鋼所 | 正員 | 小野 信市  |
| (株)タイテック | 正員 | 大久保 吉雄 |
| (株)日本製鋼所 | 正員 | 熱海 明彦  |
| 開発土木研究所  | 正員 | 中井 健司  |
| 開発土木研究所  | 正員 | 小林 将   |

## 1. 緒言

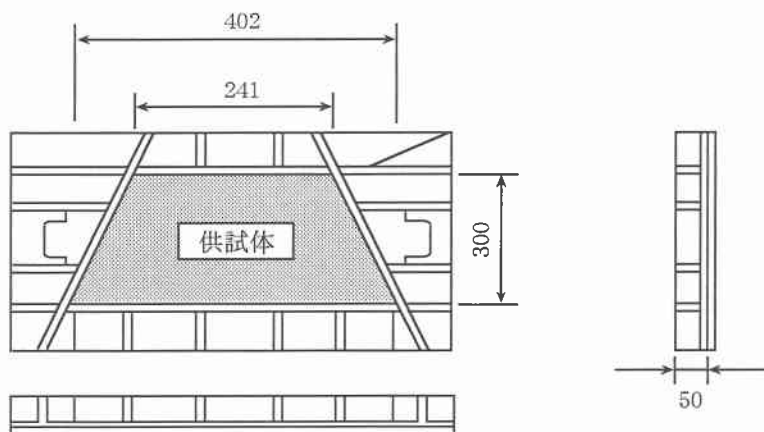
寒冷地における道路のトンネル出入り口付近や交差点では、冬期間に道路表面の氷結が頻繁に発生する。これらはブラックアイスバーン、あるいはミラーバーンと呼ばれ、スリップ事故などの原因のひとつとなっていることから、その対策が早急に求められている。

本研究は、このような路面凍結問題の対策として路盤表面にゴムチップによる弾性舗装の適用を目的として実施しているものである。この舗装方法は、ゴムチップをバインダーで固化した厚肉のマットをアスファルト路盤表面に敷設するものであるが、廃タイヤを冷凍粉碎したりサイクルゴムチップを採用することが特徴である。このことにより廃タイヤ処理問題の解決にも大きく貢献できるからである。本報では、この廃タイヤゴムチップ板の一般車道用舗装材としての適用可能性を調査するため、基礎試験としてラベリング試験による耐摩耗性の評価を行った。

## 2. 試験方法

## (1)供試体

本研究のラベリング試験用の供試体と製作用の型枠形状を図1に示す。供試体は廃タイヤを冷凍粉碎した顆粒状のゴムチップをバインダーと混練したのち型枠内で台形状にホットプレス成形したものである。バインダーのゴムチップに対する重量比は10%で、ホットプレスは120℃、30分間保持の加



供試体密度：0.6, 0.7, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95 g/cm<sup>3</sup>

図1 供試体の形状と作製用型枠

Labelling Test for a Place Mat Made of Recycled Rubber Chips from Waste Tires.

by Shin-ichi ONO, Yoshio OHKUBO, Akihiko ATSUMI, Kenji NAKAI, Masaru KOBAYASHI.

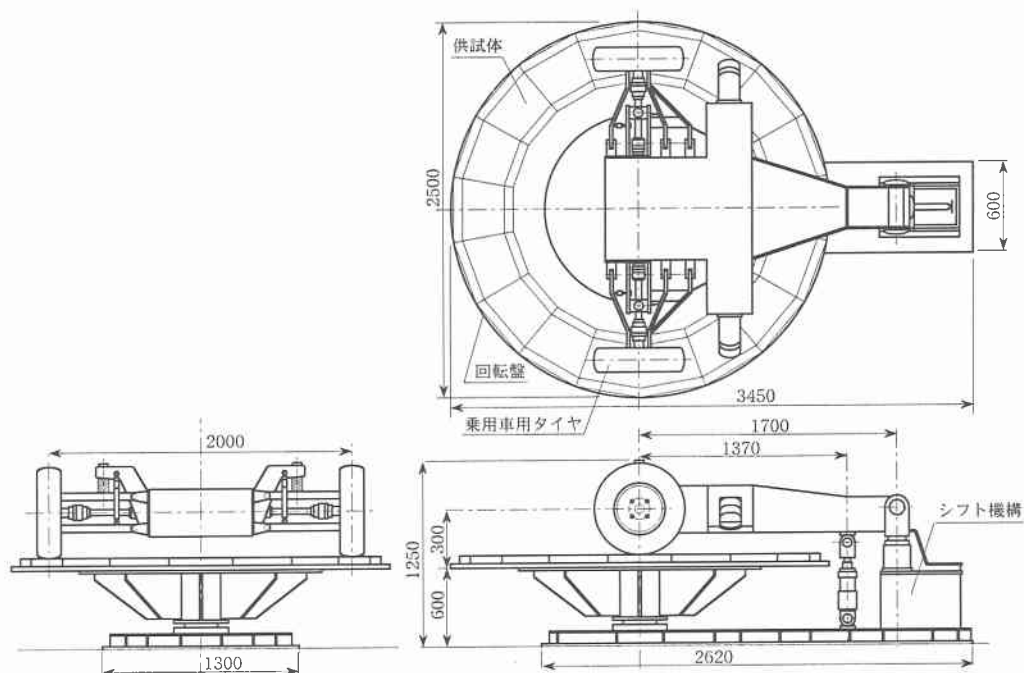


図2 ラベリング試験機と供試体の配置

熱条件で実施した。本研究での供試体には、細粒（1～2 mm）と中粒（2～4 mm）の2種類のサイズのゴムチップを採用し、その密度をそれぞれのサイズについて0.6 g/cm<sup>3</sup>から0.95 g/cm<sup>3</sup>まで変化させた。なお、密度は供試体のゴムチップとバインダの合計重量と成形された体積から計算した値である。

## (2)試験条件

試験は、図2に示すようなスパイクチェーンが装着可能なラベリング試験機<sup>1)</sup>を使用し、日本道路協会の舗装試験法<sup>2)</sup>に準じて行われた。詳細な試験条件は表1のとおりであるが、タイヤの種類は表2に示すノーマルラジアルタイヤ(Case1)、スパイクチェーン装着タイヤ(Case 2)、およびスパイクタイヤ(Case 3)の3種類を採用した。

表1 ラベリング試験条件（1）

| ブレード走行試験条件                     |                        | スパイク走行試験条件 |                        |
|--------------------------------|------------------------|------------|------------------------|
| 慣らし運転                          | 回転が安定するまで              | 慣らし運転      | 回転が安定するまで              |
| テーブル速度                         | 40km/h                 | テーブル速度     | 40km/h                 |
| タイヤ速度                          | 40km/h                 | タイヤ速度      | 40km/h                 |
| 輪荷重                            | 300kgf                 | 輪荷重        | 300kgf                 |
| タイヤ空気圧                         | 1.6kgf/cm <sup>2</sup> | タイヤ空気圧     | 1.6kgf/cm <sup>2</sup> |
| キャンバー角                         | 原則として1.5°              | キャンバー角     | 原則として1.5°              |
| シフト幅                           | 原則として±50mm             | シフト幅       | 原則として±50mm             |
| 養生時間                           | 4h以上                   | 養生時間       | 4h以上                   |
| 運転回数                           | 5000回転                 | 運転回数       | 3000回転                 |
|                                |                        | 散水量        | 2l/min                 |
| 摩耗量の測定 原則としてダイヤルゲージ10mm ピッチ3断面 |                        |            |                        |

表2 ラベリング試験条件（2）

|       |       | CASE1    | CASE2         | CASE3   |
|-------|-------|----------|---------------|---------|
| タイヤ   |       | ノーマルラジアル | スパイクチェーン装着タイヤ | スパイクタイヤ |
| 試験温度℃ | フレロード | 20       | 20            | 20      |
|       | 本走行   | 20       | 0             | 0       |

1回の試験に18枚の供試体を配置し、所定の温度に保たれた定温室においてラベリング試験を実施した。また、アスファルト合材のストレート材とゴム入り改質アスファルト材を用いたラベリング試験の報告<sup>1)</sup>から、本試験と同一条件での耐摩耗性についてゴムチップ板と比較した。

さらに、ラベリング試験後、供試体の一部から60t×60w×205l mmの試験片を採取し、圧縮試験を行った。この試験はゴムチップ製試験体の密度と圧縮挙動の関係を調査するために実施したもので、ラベリング試験と同様な温度、すなわち室温と0℃において最高荷重2 tonを負荷して、その荷重-変位挙動を観察した。

### (3)測定項目

ラベリング試験終了後、供試体の表面の摩耗状態を目視観察するとともに、耐摩耗性を定量的に評価するために1個の供試体の3つ断面において摩耗プロファイルを測定した。測定にはダイヤルゲージを用い、1断面での測定点は10 mmピッチとした。これらの測定値から平均摩耗深さ、すり減り量、および最大摩耗深さを求め、各々の供試体の耐摩耗性を評価した。

## 3. 試験結果

### (1)表面損傷状態の観察

試験完了後、各供試体の表面状態を目視により観察した。Case 1の20℃におけるノーマルラジアルタイヤによる試験には、密度が0.85 g/cm<sup>3</sup>から0.95 g/cm<sup>3</sup>のゴムチップ板を供したが、いずれの密度の供試体の表面にも全く変化がなく、タイヤの走行の軌跡も認められなかった。

Case2の0℃におけるスパイクチェーン装着タイヤによる試験では、密度が0.6 g/cm<sup>3</sup>から0.95 g/cm<sup>3</sup>のゴムチップ板を試験に供した。その結果、密度0.7 g/cm<sup>3</sup>以下の供試体では、その表面にすり減りによる顕著な損傷が認められた。特に密度0.6 g/cm<sup>3</sup>のゴムチップ板ですり減りが大きく、表面のゴムチップがスパイクピンにより削り取られた部分が観察された。一方、密度が0.8 g/cm<sup>3</sup>以上のゴムチップ板では低密度材に多くみられたざらつきも顕著ではなく、その損傷度は軽微であった。

Case3のスパイクタイヤによる試験では、密度0.85 g/cm<sup>3</sup>以上のゴムチップ板を用いたが、表面のゴム地肌の色の变化からすり減り損傷の痕跡が辛うじて確認できる程度であった。しかし、これと同一条件での試験に供されたストレートアスファルト材、ゴム入り改質アスファルト材では、ともに非常に深いすり減り損傷が生じたことが報告されている。この結果から相対的な耐摩耗性はゴムチップ板がアスファルト材より優れていることが示唆された。

### (2)耐摩耗性の評価

ノーマルラジアルタイヤによる試験では、前述のようにすりへりによる損傷は全く発生せず、摩耗プロファイルの測定は不可能であった。したがって、スパイクチェーン装着タイヤとスパイクタイヤによる試験に供した試験体においてプロファイル測定を行った。

その結果の一例として図3、4、および5に密度0.6、0.7、0.8 g/cm<sup>3</sup>のゴムチップ板の試験後の摩耗プロファイルをそれぞれ示す。いずれの図も最もすり減り損傷が顕著に観察されたスパイクチェーン装着タイヤによる試験の結果である。これらの図をみると、密度0.6 g/cm<sup>3</sup>のゴムチップ板では最大すり

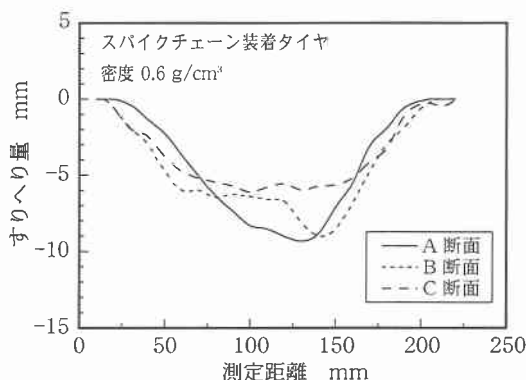


図3 摩耗プロファイル測定結果の一例(密度0.6 g/cm<sup>3</sup>)

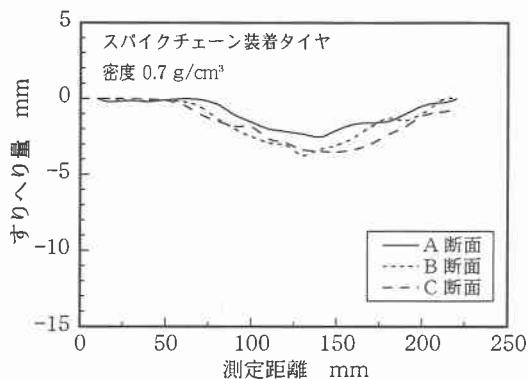


図4 摩耗プロファイル(密度0.7 g/cm³)

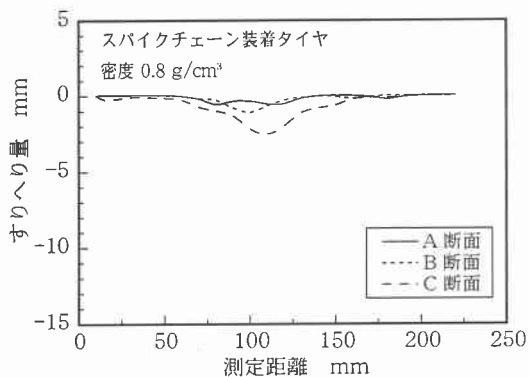


図5 摩耗プロファイル(密度0.8 g/cm³)

減り深さが約 10 mm に達している位置もあり，比較的大きなすり減り損傷であるが，密度が 0.7 g/cm³ になるとその量は最大でも約 4 mm と 0.6 g/cm³ の場合の半以下となり，さらに密度 0.8 g/cm³ のゴムチップ板では約 3 mm のすり減りが局所的な程度にまで大幅に改善されることがわかる。

表 3，4，および 5 に，前述のような摩耗プロファイルの測定結果から得られた平均すり減り深さ，最大すり減り深さ，およびすり減り量をまとめて示す．チップサイズ 1～2 mm のゴムチップ板のスパイクチェーン装着タイヤによる試験での結果を表 3 に示す．この表では密度 0.6 g/cm³ の場合において平均すり減り深さが約 5 mm，最大すり減り深さが約 12 mm，およびすり減り量が約 12 cm² と大きい．密度 0.8 g/cm³ 以上のゴムチップ板ではそれらの値は大幅に減少している．特に最大密度 0.95 g/cm³ では 0.6 g/cm³ の場合に対比して平均すり減り深さとすり減り量が約 1/10 に，最大すり減り深さでも約 1/5 と，すり減り損傷が大幅に低減されている．また，表 4 はチップサイズ 2～4 mm のゴムチップ板の同一条件での試験結果である．この表でも密度の増加によりすり減り損傷が改善される傾向は，前述の細粒チップの場合と同様であるが，密度が同一であればすり減り深さが前者より約 40 % も少なくなっていることが明瞭である．このことからゴムチップ板の密度が同じであればチップサイズが大きいものが耐摩耗性が高いことが結論でき，注目すべき特性である．

さらに表 5 はスパイクタイヤによる試験の結果を示したものである．供試体のゴムチップサイズは前述と同様な細粒と中粒の 2 種類であるが，密度は 0.85 g/cm³ 以上である．また，比較のためにアスファルト合材での試験結果の報告をも併せて示している．この表をみると，この試験条件では，いずれのチップサイズや密度のゴムチップ板でもほとんどすり減りによる表面損傷が生じていないことが明らかである．一方，

表 3 スパイクチェーン装着タイヤ試験結果  
(ゴムチップサイズ：1～2 mm 使用)

| 密度<br>g/cm³ | 平均すりへり<br>深さ<br>$\bar{X}$ mm | 最大すりへり<br>深さ<br>X max mm | すりへり量<br>S cm² |
|-------------|------------------------------|--------------------------|----------------|
| 0.6         | -5.30                        | -11.68                   | 11.66          |
| 0.7         | -2.74                        | -7.17                    | 6.02           |
| 0.8         | -1.10                        | -3.80                    | 2.43           |
| 0.85        | -0.81                        | -2.77                    | 1.53           |
| 0.9         | -0.64                        | -2.40                    | 1.28           |
| 0.95        | -0.51                        | -1.89                    | 0.97           |

表 4 スパイクチェーン装着タイヤ試験結果  
(ゴムチップサイズ：2～4 mm 使用)

| 密度<br>g/cm³ | 平均すりへり<br>深さ<br>$\bar{X}$ mm | 最大すりへり<br>深さ<br>X max mm | すりへり量<br>S cm² |
|-------------|------------------------------|--------------------------|----------------|
| 0.6         | -3.66                        | -8.37                    | 8.04           |
| 0.7         | -1.13                        | -3.48                    | 2.48           |
| 0.8         | -0.41                        | -1.73                    | 0.91           |
| 0.85        | -0.40                        | -1.70                    | 0.82           |
| 0.9         | -0.29                        | -1.56                    | 0.78           |
| 0.95        | -0.39                        | -1.66                    | 0.81           |

アスファルト合材では、ストレート材、ゴム入り改質材ともに4 mm以上の大きなすり減り損傷が報告されている。このことから、本試験に供したゴムチップ板の耐摩耗性はアスファルト材に比較して相対的に優れているものと判断される。

図6は、本試験において測定された各供試体の平均すり減り深さと密度の関係を示したものである。また、アスファルト材のすり減り深さの値も破線で示している。この図をみると、前述の表のように、中粒ゴムチップ板が細粒のものより耐摩耗性が高いことや、ゴムチップ板がアスファルト合材に比較して圧倒的にすり減り損傷が少ないことがより明瞭に理解できる。また、この図から、密度が0.8 g/cm<sup>3</sup>以上ではすり減り深さにおよぼす密度の影響は比較的小さいものの、0.7 g/cm<sup>3</sup>以下になるとすり減り損傷が急激に増加する傾向が確認でき、細粒ゴムチップを用いた供試体の場合により顕著なようである。

このような挙動を考察するため、本報では細粒ゴムチップで製作された供試体の0℃での圧縮試験を行ったが、その結果から得られた各密度のゴムチップ板における面圧と変位の関係を図7に示す。この図において、試験とほぼ同じレベルと推定される接触面圧が20 kgf/cm<sup>2</sup>付近での曲線の傾き、すなわち弾性係数に着目してみると、密度0.6 g/cm<sup>3</sup>と0.7 g/cm<sup>3</sup>の場合の傾きは小さく、しかもほぼ同様な値であるのに対して、0.85 g/cm<sup>3</sup>以上では前者より約2.5倍以上にも増大していることがわかる。この結果から、前述のように低い密度のゴムチップ板ですり減り損傷が急激に増大する現象の原因のひとつとして、弾性係数の急激な低下による接触長さの増加にともなう走行抵抗の増大が考えられるが、詳細なメカニズムについてはさらに検討が必要である。

表5 スパイクタイヤ試験結果  
(ゴムチップサイズ：1～2 mm 使用)

| ゴムチップ<br>サイズ | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 平均すりへり<br>深さ<br>$\bar{X}$ mm | 最大すりへり<br>深さ<br>$X_{max}$ mm | すりへり量<br>$S$ cm <sup>2</sup> |
|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1～2<br>mm    | 0.85                    | -0.01                        | -0.06                        | 0.01                         |
|              | 0.9                     | -0.01                        | -0.05                        | 0.01                         |
|              | 0.95                    | -0.01                        | -0.04                        | 0.01                         |
| 2～4<br>mm    | 0.85                    | -0.01                        | -0.04                        | 0.01                         |
|              | 0.9                     | 0.00                         | -0.04                        | 0.01                         |
|              | 0.95                    | 0.00                         | -0.04                        | 0.02                         |
| アスファルト       | ストレート<br>アスファルト         | -4.56                        | —                            | —                            |
|              | ゴム入り<br>アスファルト          | -4.26                        | —                            | —                            |

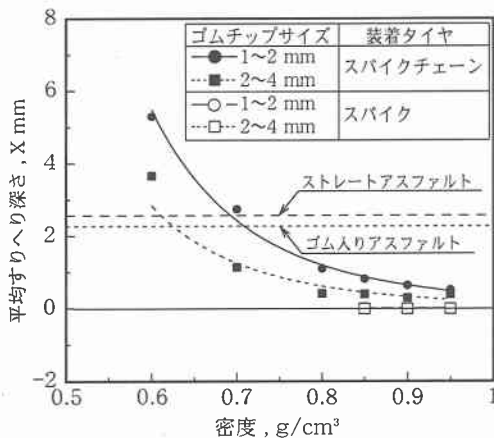


図6 すりへり量と密度の関係

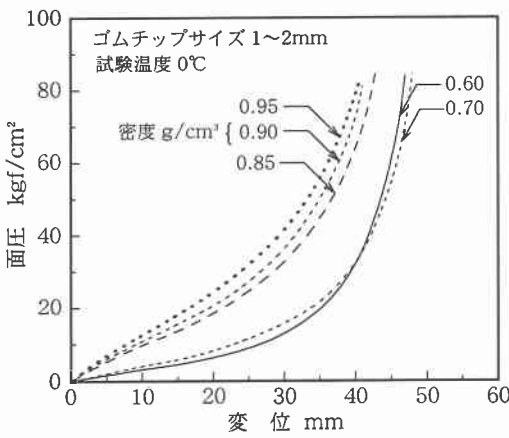


図7 ゴムチップ材の面圧と変位の関係

#### 4. まとめ

寒冷地における道路のトンネル出入口付近や交差点でのアイスバーン対策として、路盤表面に廃タイヤゴムチップによる弾性舗装の適用を検討するため、密度を変えて製作したゴムチップ板のラベリング試験を行い、その耐摩耗性の評価と適用の可能性を検討した。その結果、適正な密度に成形されたゴムチップ板のすり減り損傷は、平均的なアスファルト合材に比較してかなり小さいことから、道路の舗装材料として使用することが可能であると判断できる。また、本実験の結果からチップサイズや密度を増大させると耐摩耗性が改善されることが判明したが、許容平均すりへり深さの基準値を3 mmとすると、これを満足させるためのゴムチップ板の密度は、チップサイズが1～2 mmでは0.7 g/cm<sup>3</sup>以上、2～4 mmでは0.6 g/cm<sup>3</sup>以上であればよいと思われる。

今後、実用化を推進するためにはタイヤとのすべり特性、走行性、排水性などの検討を加えることが必要であるが、現在、この廃タイヤゴムチップを用いたマットによる弾性舗装を試行し、施工性について検討を行っている。また、その凍結時の路面性状調査や、実車による制動試験を推進中である。

なお、本試験の実施にあたりまして北海道開発局開発土木研究所維持管理研究室の多大なる御協力を頂きましたことを深謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1)大類, 久保, 熊谷, 佐藤, 山西, 小笠原: スパイクラベリング試験について, 昭和56年度第25回北海道開発局技術研究発表会論文集, pp164-171.
- 2)社団法人日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊 (暫定試験方法), pp139-161.