

ゴムチップ舗装材の車道への適用性に関する検討

小林昭則¹・藤田広志²・増田欽司³

^{1,2} 正会員 大成ロテック(株) 技術研究所(〒365-0027 埼玉県鴻巣市大字上谷1456)

³ 正会員 (株)ブリヂストン 開発第3部(〒187-8531 東京都小平市小川東町3-1-1)

従来から、廃タイヤを利用した舗装材として歩行者系道路用舗装材やスポーツ施設用表層材があるが、使用量は限られており一層のリサイクルが望まれている。

筆者らは、廃タイヤゴムの弾力性、衝撃吸収性、耐候性に着目し、廃タイヤゴムチップと硅砂およびポリウレタン樹脂からなるゴムチップ舗装材の車道舗装への適用性を検討した。その結果、走行安全性、耐久性は通常舗装と大差ないことを確認した。また、ゴムチップ舗装材は騒音低減効果が高いことを確認した。

KeyWord : *tire rubber ,silica sand ,polyurethan resin ,skid resistance ,impact acceleration ,noise reduction effect*

1. はじめに

我が国においては 経済・社会活動の成長にともない、人の移動、物の輸送が活発化し、これを担う自動車の役割と交通量は飛躍的に増大した。しかしながら、このような自動車の役割の増大は、自動車騒音問題による沿道環境の悪化、排出ガスによる大気汚染問題を誘発している。また、使用済みタイヤの発生量は、自動車保有台数に比例するかたちで年々増加し、平成11年度の使用済みタイヤの発生量は1億本(約97万トン)に達している。使用済みタイヤは、タイヤ用の原料・加工用、セメント焼成用、ボイラー用などに全体の88%が利用されているが、不明分が全国で約12万トン¹⁾に達し、より一層のリサイクルが望まれているのが現状である。

一方、タイヤに使用されているゴムは、適度な弾力および高い耐候性を有していることから、歩行者系道路用舗装材やスポーツ施設用表層材として使われていることは周知のとおりである。しかし、これら舗装材に使用される量は、わが国の歩道整備率やスポーツ施設の数からして限界がある。そこで、使用済みタイヤの有効利用をより推進するためには、使用済みタイヤを用いた舗装材を車道舗装にまで適用範囲を拡大することが、一層効果的と考えられる。しかしながら、実際の車道舗装に使用済みタイヤを用いた例として、タイヤトレッドゴムの粒状材(以下、ゴムチップという)をアスファルト混合物に添加した凍結抑制舗装が知られているが、添加量はゴムチップの飛散等、耐久性の面から数パーセントが限界といわれている²⁾。

以上の現状を踏まえ、車道舗装に求められる舗装と

しての性能の確保と低騒音性を確保しつつ、よりゴムチップの使用量を多くすることを目的に、ポリウレタン樹脂をバインダとして、ゴムチップと硅砂を骨材に用いた舗装材(以下、ゴムチップ舗装材という)の適用性を検討した。バインダにポリウレタン樹脂を用いた理由は、予備試験の結果、アスファルトや他の樹脂に比べ、ゴムチップとの付着性に優れるためである。なお、経済性やリサイクルを考慮するとアスファルトをバインダとすることが望ましい。しかし、付着性の改善には多くの時間を要すると考え、まずポリウレタン樹脂をバインダとして検討することとした。

本研究では、ゴムチップ舗装材の室内試験および構内試験施工を行い、車道舗装への適用性および騒音低減効果を確認した。その結果、すべり抵抗性や骨材の飛散抵抗性などから判断して、ゴムチップ舗装材は車道舗装に適用可能であることが確認できたほか、排水性舗装と同等以上の騒音低減効果を有することが確認できた。

以下に、検討手順、室内試験結果、試験施工結果および騒音測定結果などを報告する。

2. 検討手順

ゴムチップ舗装材を車道に適用するためには、施工性、走行安全性、耐久性などが、通常のアスファルト混合物と同等の性能を有していることが必要である。そこで、ゴムチップ舗装材について、図-1に示すフローのように、室内試験での混合物性状および試験施工により、車道への適用の可

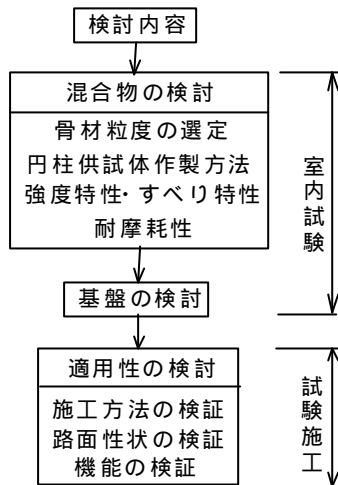


図-1 検討フロー

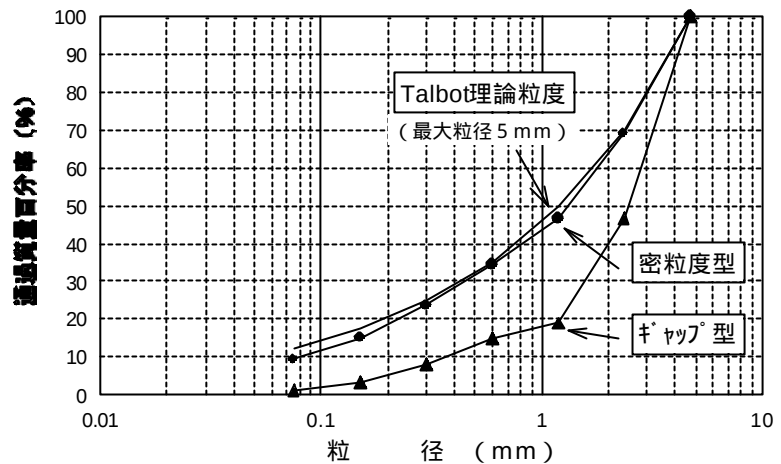


図-2 選定骨材粒度

表-1 バインダ性状

項目	物性値
A 硬度	85
引張り強度 (MPa)	18
伸び率 (%)	116

表-2 骨材容積配合比(%)

	ゴムチップ (5~2mm)	硅砂 (1.7mm以下)
密粒度型	50	50
ギャップ型	75	25

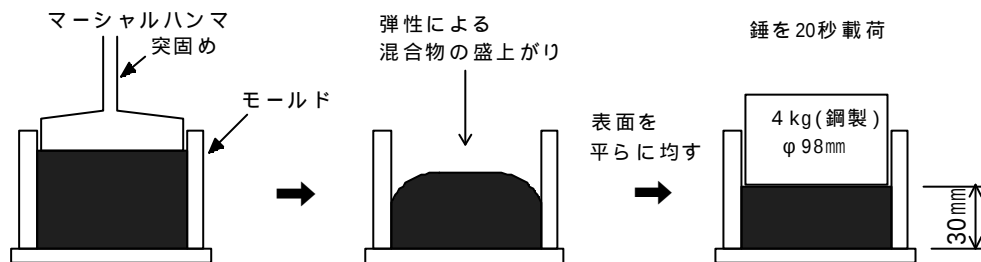


図-3 円柱供試体作製方法

能性を検討した。

3. 室内試験

(1) 混合物の検討

車道舗装材には、走行安全性と耐久性が求められることは周知のとおりである。骨材飛散抵抗性、耐摩耗性、ひび割れ抵抗性などのほか、耐候性を含み耐久性を確保するためには、緻密な配合とすることが望ましい。また、走行安全性に関しては、すべり抵抗が最も重要と考えられる。一般に、ゴム板やゴムチップを敷き詰めた路面は、通常の密粒度アスファルト混合物を用いた舗装に比べ湿潤時のすべり抵抗が小さい³⁾。

ここでは、走行安全性、耐久性の確保に重点を置いたゴムチップ舗装材の骨材配合、混合物の物理性状の面から車道舗装への適用性について検討した。

a) 粒度の選定

表-1に示すポリウレタン樹脂をバインダとしたゴムチップ舗装材の粒度を、Talbotの理論式により選定した。式1において $n=0.5$ と置いた場合が最も空隙が小さくなり、最大密度が得られるといわれている⁴⁾。そこで、 $n=0.5$ とした時の骨材粒度を密粒度型、また比較用として、ゴムチップ量を多くし、1.2mmふるい通過率が密粒度型より約25%少なくしたものをギャップ型粒度とした。密粒度型およびギャップ型の粒度曲線を図-2に、骨材配合を表-2に示す。

$$P = (d / D)^n \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{式1}$$

P: 任意のふるい目における通過質量百分率(%)
d: Pのふるい目の大きさ(mm)
D: 骨材の最大粒径(mm)
n: 指数 ($n=0.5 \sim 1.20$)

表 - 3 促進試験条件

項 目	条 件
回転盤速度	20 km/h
タイヤ速度	18 km/h
タイヤ寸法	145SR10
輪 荷 重	1.5 kN
空気圧	176.6 kPa
タイヤシフト幅	± 50 mm
路面状態	散水湿潤
試験温度	20
試験回転数	80000回
測線数	3測線

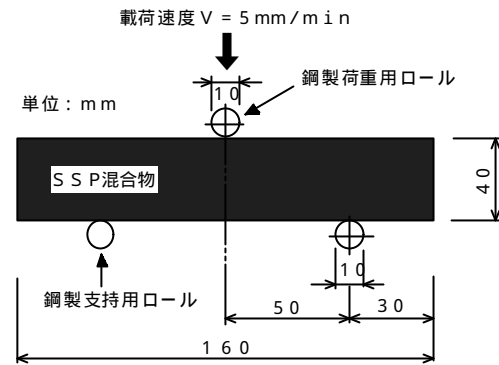


図 - 4 曲げ強度試験方法

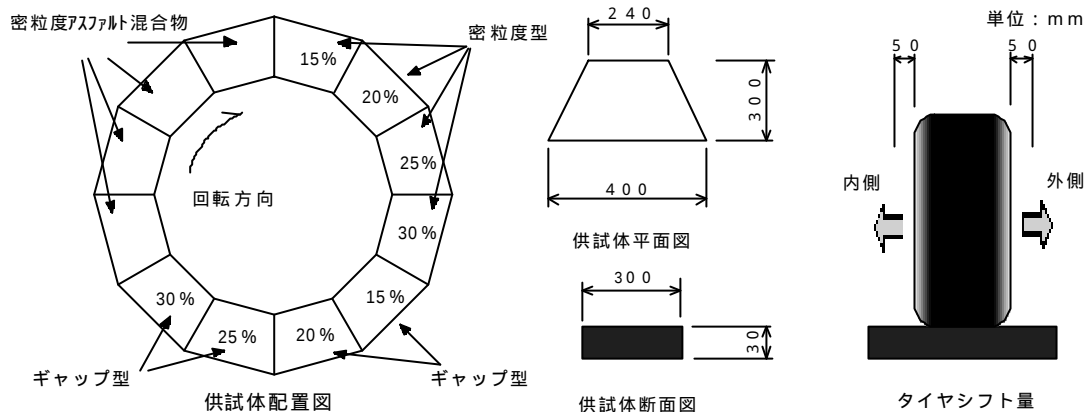


図 - 5 促進磨きだし試験供試体およびタイヤシフト図

b) 円柱供試体作製条件の検討

円柱供試体作製条件を決定する目的で、マーシャルハンマによる突固め試験を実施した。

試験は、温度20℃、湿度60%の室内で表-2の密粒度型およびギャップ型の骨材とバインダを、容積比でそれぞれ80:20とした混合物を作製後、混合物250gをマーシャルモールドに詰め、マーシャルランマの突固め回数（片面）および混合物製造時から締固め開始までの時間を変化させてφ10×3cmの供試体を作製し、養生7日後の密度により締固め特性を調べた。

また、供試体作製は図-3に示すように、突き固め後に混合物の盛り上がり現象が見られたため、供試体作製にあたっては突き固め後に表面を一度平らにならした後、直径98mm、重さ4kgの錘を20秒間静置する方法とした。本条件で作製した円柱供試体密度を基準密度として、以降の各種試験用供試体の密度をこれに合わせた。

c) 強度特性の検討

ゴムチップ舗装材の強度発現および強度に及ぼす要因を探る目的で、図-4に示す方法により温度および湿度を変化させて養生した供試体の曲げ

強度試験を実施した。試験は、ギャップ型の骨材とバインダを容積比で80:20とした混合物を作製後、4×4×16cmの型枠を用いて基準密度で作製した。供試体は、温度20℃、湿度60%、温度20℃、湿度100%および温度50℃、湿度40%で7日間養生し曲げ強度を求めた。

d) すべり抵抗性の検討

骨材表面が実タイヤにより磨きだし作用を受けた時のすべり抵抗を評価する目的で、表-3に示す条件でゴムチップ舗装材の促進磨きだし試験を実施し、磨き出し後のすべり抵抗値を測定した。

試験は、密粒度およびギャップ型に調整した骨材とバインダを容積比にて、85:15、80:20、75:25、70:30で混合したゴムチップ舗装材を用い、図-5に示すように厚さ30mmの台形供試体を基準密度で作製後、温度20℃、湿度60%の室内で7日間養生したものをを用いて実施した。

また、試験前後のすべり抵抗値に関しては、振り子式スキッドレジスタンステスター⁵⁾を用いてすべり抵抗値（BPN）を測定した。

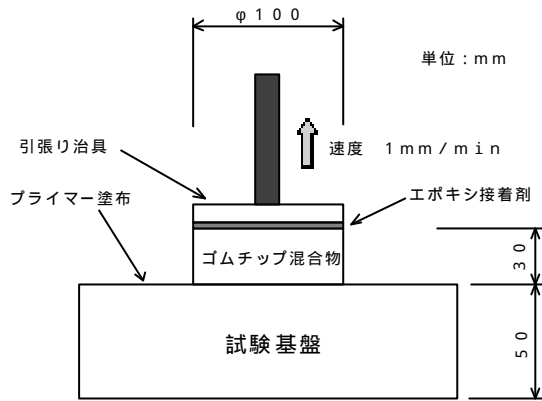


図-6 接着強度試験方法

e) 耐摩耗性

ゴムチップ舗装材の耐摩耗性について、往復チェーンによるラベリング試験⁶⁾を実施した。

試験は、密粒度型およびギャップ型の骨材とバインダの容積比を85:15, 80:20, 75:25で混合したゴムチップ舗装材を用いて、400×150×30mmの供試体を基準密度で作製後、温度20℃、湿度60%の室内で7日間養生したものを用いて実施した。ラベリング試験にはクロスチェーンを使用し、温度-10℃、試験時間1.5時間における摩耗断面積を求めた。また、比較用として密粒度アスファルト混合物（最大粒径13mm、アスファルト量5.4%）についても試験した。

(2) 基盤の検討

ゴムチップ舗装材を施工する場合、施工基盤と十分接着し剥がれ難くすることが重要となる。そこで、ゴムチップ舗装材に適した基盤を接着強度から検討した。試験は、密粒度型の骨材とバインダの配合割合を容積比で80:20としたゴムチップ舗装材を製造して、300×300×50mmの基盤上にφ100×30mmの供試体を基準密度で打ち継いだ。基盤は、密粒度アスファルト混合物、半たわみ性舗装材およびコンクリート平板である。これら基盤の上には、ウレタン系プライマーを0.1kg/m²塗布してある。作製供試体は、温度20℃、湿度60%の室内で7日間養生後に、20℃の室内で図-6に示す引張り試験を実施した。また、最適なプライマー塗布量を決定する目的で、ゴムチップ舗装材に最も適した基盤上にプライマーを、0.1kg/m²、0.3kg/m²、0.5kg/m²、0.7kg/m²、1.0kg/m²と変化させて塗布後、φ100×30mmの供試体を基準密度で打ち継ぎ、同様の引張り試験を実施した。

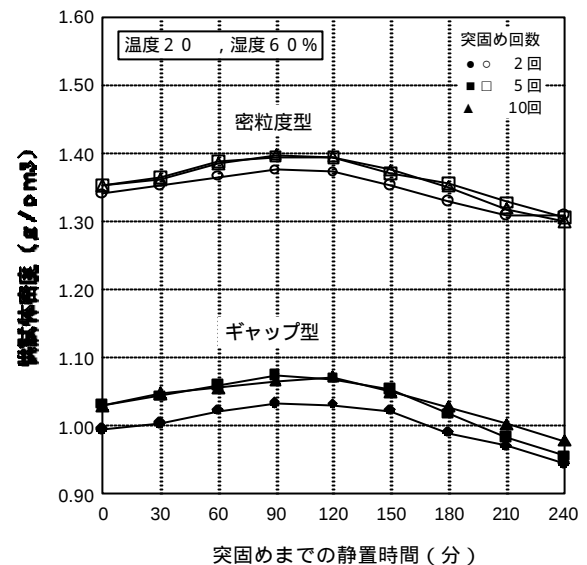


図-7 締固め試験結果

4. 室内試験結果

(1) 混合物性状

a) 円柱供試体作製方法

ゴムチップ舗装材を、温度20℃、湿度60%の条件下で混合物製造から突き固めまでの時間を変化させて作製した場合の突固め回数と密度の関係は、図-7のとおりである。

図より、ゴムチップ舗装材による円柱供試体の作製は、マーシャルハンマの突固め回数を5回程程度で十分であることが分かった。また、供試体密度はゴムチップ舗装材製造後の静置時間により変化し、概ね90分後に締め固めることで最も大きい密度が得られることが分かった。

b) 強度特性

曲げ強度試験結果を図-8に示す。ゴムチップ舗装材の曲げ強度は材令とともに大きくなり、養生温度20℃の曲げ強度で見ると、湿度が高いほど同材令における曲げ強度が若干大きくなる傾向にある。また、養生温度20℃、湿度60%と温度50℃、湿度40%を比較すると、各材令の曲げ強度は養生温度が高いほど大きくなる傾向が見られ、温度の影響が大きいことが分かった。さらに、温度50℃とした場合は、養生温度20℃、湿度60%、養生48時間の強度と同等の強度が材令24時間程度で得られることが分かった。

以上より、ポリウレタン樹脂を用いたゴムチップ舗装材の強度は、温度および湿度に影響されることが判明した。

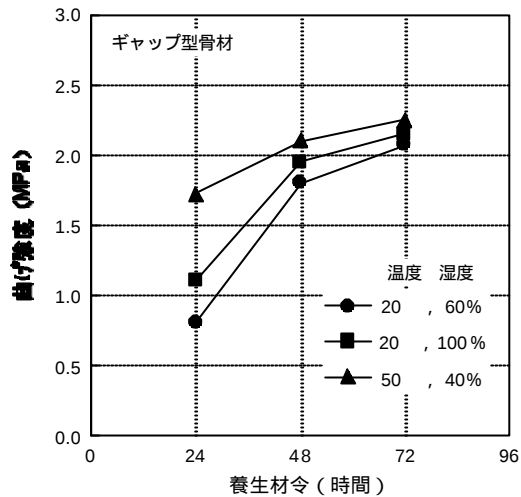


図-8 ゴムチップ舗装材の曲げ強度

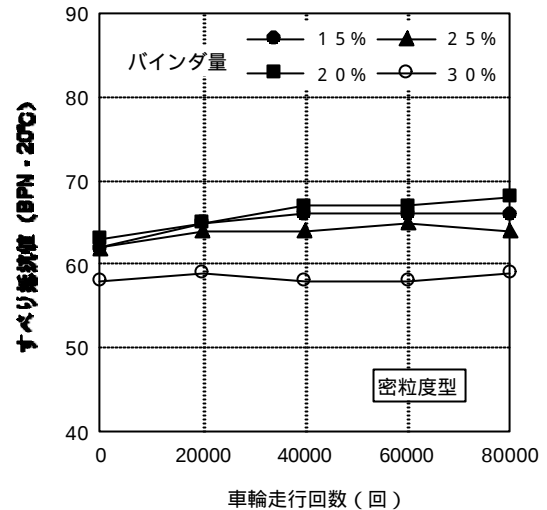


図-9 すべり抵抗測定結果(密粒度型)

c) すべり特性

ゴムチップ舗装材の実タイヤによる促進磨きだし試験結果を図-9～10に示す。密粒度型およびギャップ型とも、バインダ量を15～25%とした場合のすべり抵抗値（BPN）は、いずれも60以上であり通常の密粒度アスファルト混合物と同程度の値が得られることが分かった。また、密粒度型とギャップ型のすべり抵抗値（BPN）を比較すると、ゴムチップを多く配合した場合には、ギャップ型のすべり抵抗値が密粒度型に比べやや小さい値を示すことも分かった。一方、バインダ量を30%とした混合物のすべり抵抗値（BPN）は、密粒度型およびギャップ型のいずれも60以下の値を示すことが分かった。

d) 耐摩耗性

クロスチェーンによる摩耗量測定結果を表-4に示す。ゴムチップ舗装材の摩耗断面積は、バインダ量が多いほど、ゴムチップ量が多いほど小さくなる傾向である。また、通常の密粒度アスファルト混合物に比べ、密粒度型のゴムチップ舗装材の摩耗量が約1/2～1/5、ギャップ型のゴムチップ舗装材の摩耗断面積が、約1/8～1/20と小さく、耐摩耗性が高いことが分かった。また、密粒度型とギャップ型の摩耗量を比較すると、ゴムチップを多く用いたギャップ型（ゴムチップ量75%）の方が摩耗量は小さくなることが明らかとなった。

(5) 付着性

試験結果を図-11示す。ゴムチップ舗装材と接着強度の大きい基盤は、コンクリート板、次いで半たわみ性舗装材、密粒度アスファルト混合物である。また、最適なプライマー塗布量については図-12に示すとおり、接着強度は塗布量0.5kg/m²

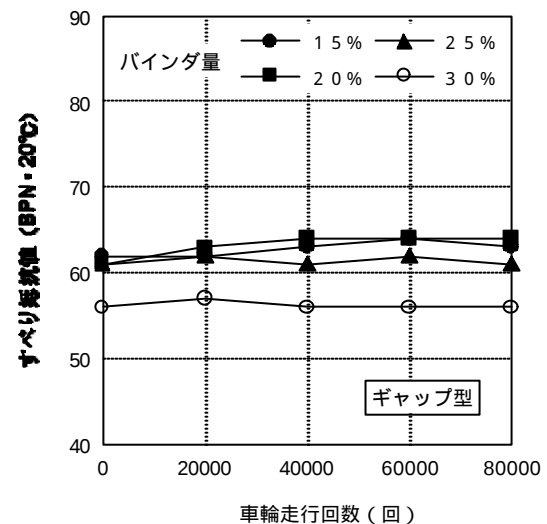


図-10 すべり抵抗測定結果(ギャップ型)

表-4 ラベリング試験結果

混合物の種類	バインダ量 (%)	摩耗断面積 (cm ²)
密粒度型	15.0	0.56
	20.0	0.23
	25.0	0.23
ギャップ型	15.0	0.15
	20.0	0.05
	25.0	0.04
密粒度アスファルト混合物	5.4	1.18

以上で接着強度の増加が見られないことから、塗布量としては0.5kg/m²が適当であることが分かった。

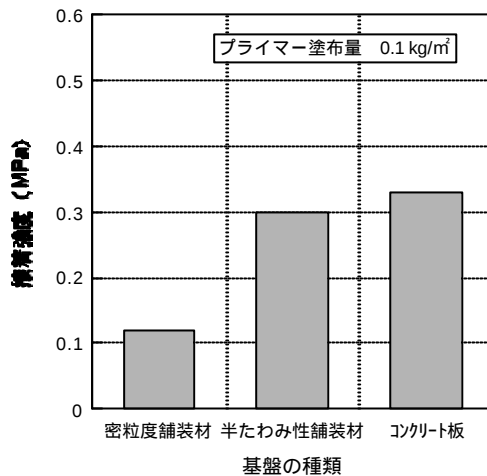


図-11 接着強度試験結果

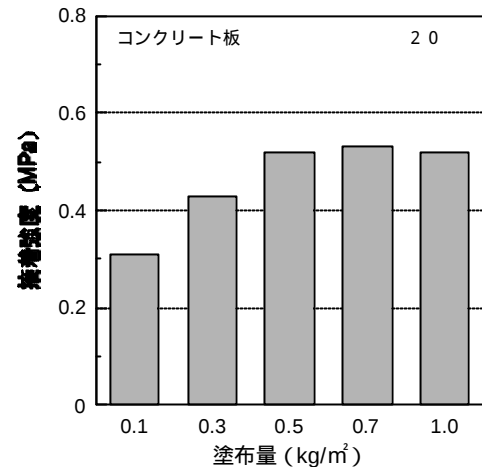


図-12 プライマー塗布量と接着強度の関係

表-5 試験施工混合物の性状

	容 積 配 合 比			密度 (g/cm³)	連続空隙率 (%)	静ばね定数 (kN/mm)
	ゴムチップ	珪砂	バインダ			
密粒度型	40.0	40.0	20.0	1.425	8.5	4240
ギャップ型	56.3	18.7	25.0	1.086	8.1	1140
密粒度アスファルト舗装	最大粒径13mm, アスファルト量5.4%			2.387	-	-
排水性舗装	最大粒径13mm, アスファルト量4.7%			2.001	16.7	-

5. 試験施工による検証

(1) 試験施工の概要

a) 目的

室内試験の結果、ゴムチップ舗装材の実路への適用の可能性が見いだせた。そこで、実車走行試験を行い車道舗装材としての適用性の検証およびゴムチップ舗装材に期待できる騒音低減効果を確認した。

b) 配合および施工規模

試験施工に用いたゴムチップ舗装材は表-5に示す性状のものである。当該混合物を既設セメントコンクリート舗装上に1種類あたり幅5.0m、延長25m、厚さ3cmで舗装した。また比較用として、密粒度アスファルト混合物（最大粒径13mm）、排水性混合物（最大粒径13mm）の区間も設けた。

c) 施工方法

ゴムチップ舗装材の施工は以下の手順で行い、密粒度アスファルト混合物、排水性混合物は通常の方法により施工した。

既設セメントコンクリート舗装表面のショットブラスト処理（投射密度100kg/m²）

プライマーを500g/m²塗布

ゴムチップ舗装材を現位置で製造し、アスファルトフィニッシャーで敷きならし

敷きならし90分後に、敷きならした混合物の上に敷板（1×5m、厚さ12mm）を載せ、その上からパイプレーティングコンパクタ（重量65kg）で締め固め

7日間養生

d) 実車走行試験条件

実車走行試験では、総重量=181.5kN、後輪軸重=137.3kN、後輪荷重=70kNで、タイヤ寸法=10.00R2014PR、空気圧=950kPaに設定した大型車を、40km/hで4万回（1方向）走行させた。

e) 調査項目

4万回走行後の路面において、すべり抵抗性、わだち掘れ量について調査した。また、ゴムチップ舗装材の騒音低減効果も確認した。

(2) 調査結果

a) すべり抵抗性

走行安全性の指標である路面のすべり抵抗を、振り子式スキッドレジスタンステスターおよび回転式すべり抵抗測定装置（DFテスト）⁷⁾を用いて測定した。4万回走行試験後の測定結果を表-6に示す。ゴムチップ舗装材（密粒度型、ギャップ型）のすべり抵抗値（BPN）はいずれも60以上を示し、密粒度型が密粒度アスファルト舗装、排水性舗装と同程度、ギャップ型は密粒度アスファルト

ト舗装，排水性舗装よりやや小さい値である．また，動的すべり摩擦係数（60km/h）を見ると，ゴムチップ舗装材は，いずれも密粒度アスファルト舗装より0.2～0.3，排水性舗装より0.1～0.2小さい値を示した．一方，密粒度型とギャップ型のゴムチップ舗装の動的すべり摩擦係数を比較すると，ゴムチップ量を多くした場合（ギャップ型）は動的すべり摩擦係数が小さくなり，低速域（40km/h）から高速域（80km/h）までほぼ一定の値を示すことが分かった．

b) わだち掘れ量

実車走行前後の横断形状およびきめ深さを，横断プロファイルメータおよびレーザセンサによる路面きめ深さ測定装置（MTM）⁸⁾により計測した．その結果，ゴムチップ舗装材の4万回走行後の横断形状に変化は見られずわだち掘れ量は0.0cmであった．また，路面粗さは，密粒度型が0.23mmから0.32mm，ギャップ型が0.41mmから0.42mmへと粗面化が見られたが，ゴムチップを多く配合したギャップ型の路面きめ深さは，密粒度型に比べ変化が小さいことが分かった．

c) 騒音低減効果

ゴムチップ舗装材の騒音低減効果については多くの報告があり，空隙率が30%以上の多孔質弾性舗装の場合は，密粒度アスファルト舗装に比べ10dB以上騒音レベルが低下するといわれている⁹⁾．そこで，密粒度型およびギャップ型のゴムチップ舗装の騒音低減効果がどの程度であるかを把握する目的で，乗用車を50km/h（定常走行）で走行させて通過騒音¹⁰⁾を測定した．また，ゴムチップ舗装の物理性状として，図-13に示す衝撃加速度測定装置¹¹⁾による舗装材の衝撃加速度を測定した．

通過騒音レベルと衝撃加速度の関係を整理して図-14に示す．図より，路面の衝撃加速度と通過騒音には相関が認められ（ $r=0.8673$ ），衝撃加速度と通過騒音レベルは比例関係にあることが見て取れる．密粒度型（ゴムチップ量50%）としたゴムチップ舗装は，連続空隙率が排水性舗装より6.2%小さいものの，排水性舗装と同程度の騒音低減効果がある．ギャップ型（ゴムチップ量75%）のゴムチップ舗装は，密粒度アスファルト舗装に比べ約8dB，排水性舗装に対しては約4dBの低減効果が認められる．これらゴムチップ舗装の連続空隙率はほぼ同程度であることから，舗装材の弾性が大きく騒音低減効果に寄与していると考えられる．

以上の結果から，ゴムチップ舗装材は，排水性舗装と同等または同等以上の騒音低減効果を有することが分かった．

表-6 試験舗装のすべり抵抗測定結果

項目	すべり抵抗値 (湿潤BPN)	動的すべり摩擦係数 (μ)		
		40km/h	60km/h	80km/h
舗装名				
密粒度型	65	0.57	0.51	0.46
ギャップ型	62	0.41	0.40	0.38
密粒度舗装	68	0.79	0.75	0.60
排水性舗装	66	0.65	0.62	0.42

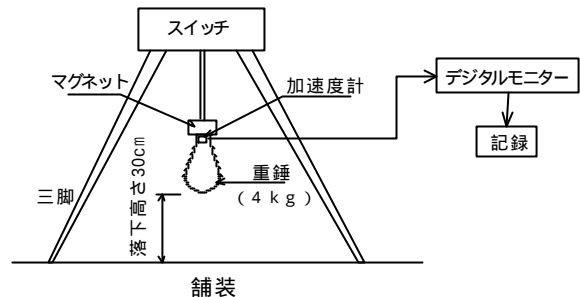


図-13 舗装材の衝撃加速度測定方法

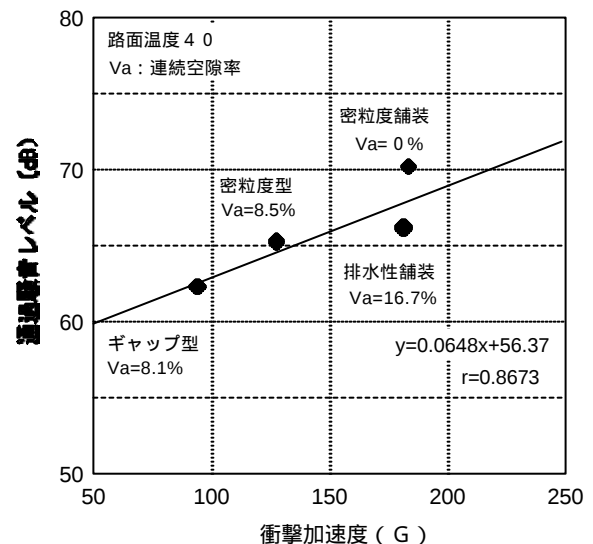


図-14 衝撃加速度と通過騒音の関係

6. 結論

ゴムチップ，珪砂，ポリウレタン樹脂からなるゴムチップ舗装材の室内試験結果および試験施工結果から，以下のことが明らかとなった．

マーシャルハンマを用いてゴムチップ舗装材を締め固めた場合，突き固め回数片面5回までは密度が増加するが，それ以上突き固め回数を増やしても密度の増加は認められなかった．このことから，ゴムチップ舗装材は，密粒度アスファルト混合物に比べ小さなエネルギーで締め固めが可能と考える．

ゴムチップ舗装材の締め固め易さは，混合物を製造してから締め固めるまでの経過時間の影響を

受け、温度が20℃、湿度60%の場合、製造後90分程度経過してから締め固めた場合に最も大きな密度が得られることが明らかとなった。このことから、実施工においても混合物の温度、湿度を踏まえ、締め固めのタイミングを決める必要があると考える。

ゴムチップ舗装材の強度発現は、温度および湿度の影響を大きく受ける。

ゴムチップ舗装材のすべり抵抗値は、大型車走行前・後とも密粒度アスファルト舗装と同程度のすべり抵抗性を示した。このことから、ゴムチップ舗装には、密粒度アスファルト舗装と同程度の走行安全性が期待できると考える。また、珪砂の量が多い配合の場合は高いすべり抵抗性が得られ、ゴムチップ量の多い配合では耐磨耗性に優れることが判明した。

今回の試験条件の場合、ゴムチップ舗装の騒音低減量は、排水性舗装と比べ4～8dB低くなることが明らかとなった。なお、ゴムチップ舗装の騒音低減効果は、舗装体の弾性がタイヤ転動時の衝撃を緩和することに起因すると考える。

ゴムチップ舗装材の舗設は、通常のアスファルトフィニッシュにより敷きならすことが可能である。しかし、締め固め方法についてはさらに検討が必要である。

7. おわりに

室内試験および試験施工から、ゴムチップ舗装材は車道舗装材として必要な性能を有しており、

車道への適用が可能と判断できた。しかし、ゴムチップ舗装材は強度発現が比較的遅いため更なる改良が望ましいことや、長期の耐久性、効果の持続性に関する検討が十分でない。今後はこれらの点についてさらに研究する所存である。

参考文献

- 1) (財)日本タイヤリサイクル協会：タイヤリサイクルハンドブック，2000。
- 2) (財)道路保全技術センター：道路保全技術・技術審査証明報告書，ルビット舗装，p.10，平成7年。
- 3) 島渦・柑本・柳田：歩行者系機能性舗装材料の試験施工とその特性値の検討，第19回日本道路会議特定課題論文集，pp.180～181，1991。
- 4) 道路舗装設計法：森北出版，pp.54～55，1969。
- 5) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，pp.960～970，平成8年。
- 6) 前掲5)のp.517
- 7) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊（暫定試験法），p.288，平成8年。
- 8) 前掲7)のp.295。
- 9) 大西・明嵐・鉢嶺：多孔質弾性舗装の騒音低減特性について，土木技術資料，pp.32～37，1996。
- 10) 日本工業規格：JIS Z 8731，騒音レベル測定方法，1999。
- 11) 石井：グラウンドのはなし，技報堂，p160，1990。

EXAMINING THE APPLICATION OF RUBBER CHIPS CONTAINING PAVEMENT MATERIALS FOR VEHICLE USE

Akinori KOBAYASHI, Hiroshi FUJITA and Kinji MASUDA

Based on the use of abandoned tires, construction material designed for implementation in upper layers of pedestrian oriented pavements as well as of pavements found in athletic facilities, is currently being used in a limited range. Recycling of such material is therefore strongly justified in the future. The authors have considered properties such as elasticity, shock absorption and weather resistivity, and have considered examining an elastic rubber chip mixture composed of polyurethane resin, rubber chips and silica sand for use in vehicle pavements. As a result, findings show that travel safety, as well as durability of these pavements do not significantly differ compared with traditional pavements. Moreover, it has been determined that rubber chip pavement effectively reduce vehicle noise.