

ゴム弾性舗装材のすべり抵抗におよぼす硬質骨材混入の影響

Effect of mixing of hard aggregates on skid resistance of elastic pavement surface made of recycled rubber chips

(株)日本製鋼所 室蘭研究所 ○ 正 員 小枝 日出夫 (Hideo Koeda)
北海道開発土木研究所 正 員 黒川 國夫 (Kunio Kurokawa)
北海道開発土木研究所 正 員 畑山 朗 (Hatakeyama Akira)
(株)日本製鋼所 室蘭研究所 正 員 吉田 茂 (Shigeru Yoshida)

1. はじめに

舗装の損傷および粉塵等の問題から、平成2年にスパイクタイヤの使用が禁止されたため、現在ではスタッドレスタイヤが広く普及している。しかし、このタイヤは、気象と交通条件によりミラーバーンと呼ばれる非常に滑りやすい凍結路面を発生させる場合がある。特に、坂道や発進停止が繰り返される交差点付近での発生率が高く、スリップ事故や交通渋滞の原因となっている。この問題に対し、タイヤ、道路、除雪方法などの様々な分野で凍結路面対策が行われており、その中でも特に効果の高い対策として、ロードヒーティングの敷設が進められている。しかし、その運用および維持管理などに多額の費用を要することから、よりコストの低い効率的な対策が求められている。

このような背景に対し、舗装路面の改良による対策の一つとして、ゴムチップ成形体を用いた弾性舗装¹⁾が考案されている。このゴム弾性舗装は物理系凍結抑制舗装の一つであり、その特長は一般のアスファルト舗装材に比較して大きなたわみ性を有していることである。そのため、交通荷重によって弾性舗装材表面が変型し路面に形成された氷膜や氷板を破砕するとともに、雪氷と路面との付着力を低減するなどの物理的な作用により凍結抑制効果を発揮する。

著者らはこの弾性舗装材に注目し、試験施工や各種基礎実験によりその効果や適用性について検討²⁾を行ってきた。その結果、路面の凍結防止についてはその効果が確認されたが、アスファルト舗装に比較して湿潤時のすべり抵抗が小さく、制動停止距離が長くなることが明らかとなっている。

そこで、このすべり抵抗に関する問題点を改善する方策として、弾性舗装材の表面に硬質の骨材を混入する方

法を検討した。本論文では、この改善策の効果を確認するために、DFテスター (Dynamic Friction Tester) を用いてすべり抵抗試験を行い、弾性舗装材の湿潤時のすべり抵抗におよぼす硬質骨材の混入の影響を調査した。また、硬質骨材を混入した弾性舗装材の耐久性に対する実用性を検討するために、ラベリング試験および引張り試験を行った。

2. 弾性舗装材のすべり抵抗と硬質骨材

ゴム弾性舗装材は、廃タイヤを粉砕したゴムチップにウレタン樹脂製のバインダーを混合したものを型枠内で高温で加圧成形することにより製造される。その特長は大きなたわみ性と衝撃吸収性を有していることであるが、転倒時の安全性の面から主に歩道や競技場等で広く使用されている。一方、車道用の舗装材として使用する場合には、車両に対する湿潤時のすべり抵抗が小さいことが問題点となっている。

一般のアスファルト舗装では、降雨等により路面に水膜が形成された際には、車両のタイヤに形成されたトレッドのエッジ効果により水膜が破砕され、タイヤの路面に対する凝着力が維持される。しかし、弾性舗装材の場合には、アスファルト等に比較してその表面が柔らかいため、タイヤトレッドのエッジ効果が極めて小さい。そのため、水膜が破砕されず、すべり抵抗が小さいものと考えられる。したがって、弾性舗装材の表面に硬質の骨材を混入することにより、タイヤトレッドのエッジ効果が増加し、すべり抵抗が向上することが期待される。

使用する硬質骨材としては、無機系の土木用骨材および鉱物を中心に、表-1に示すような骨材を候補として考えた。この中より、硬さ、比重、粒子の形状、粉塵化の有無、コストおよび入手の容易さ等を総合的に判断し

表-1 硬質骨材の候補とその評価

骨材種	硬さ (モース硬度)	比重	表面形状	粉塵化	コスト	入手容易度	総合評価
砕石	△ (3~5)	2.6	角	有	◎	◎	×
ガラスビース	△ (5~6)	2.5	曲面	有	△	○	×
珪砂	○ (7)	2.2	角	有	○	◎	△
アランダム	○ (7~8)	3.8	角	無	△	○	○
ガーネット	○ (8)	4.0	角	無	◎	◎	◎
コランダム	○ (9)	4.0	角	無	△	△	△
ダイヤモンド	◎ (10)	3.5	角	無	×	×	×

注) ◎:優れる, ○:普通, △:やや劣る, ×:劣る

た結果、研掃材として使用されているガーネットを用いることとした。各試験に使用したガーネットの粒度は、0.3～0.8 mm および 0.8～1.4 mm の 2 種類である。図－1 に粒度が 0.3～0.8 mm のガーネットの外観を示す。ガーネットはモース硬度が約 8 であり、ダイヤモンド (10)、コランダム (9) について硬い鉱物である。また、比重が約 4.0 と大きいため、交通荷重により弾性舗装材が摩耗した場合でも粉塵化しにくく、碎石や珪砂等に比較して人体に与える影響が少ないと考えられる。

3. 評価試験

3.1 試験の概要

硬質骨材を混入した弾性舗装材に対して、すべり抵抗試験、ラベリング試験および引張り試験の 3 種類の試験を行い、湿潤時のすべり抵抗、耐摩耗性および強度を評価した。舗装材の空隙率および骨材の混入率をそれぞれ 10～30% および 0～30% の範囲で変化させ、最適な組み合わせを検討した。表－2 に試験体の条件および各試験の組み合わせをまとめて示す。試験体はすべて、粒状のゴムチップにバインダー（ウレタン樹脂製）を体積比率で 10% 混合したものを型枠内で加熱加圧成形することにより製作した。

3.2 すべり抵抗試験

図－2 に試験体の形状および寸法を示す。試験体は、□ 500 mm × 厚さ 40 mm のパネル形状であり、表層の 10 mm の部分にガーネットを混入している。試験は、開発土木研究所所有の DF テスターを使用し、0～80 km/h の速度範囲で行った。試験条件は湿潤状態とし、各試験体につき測定位置を変化させて 3 回の測定を行った。

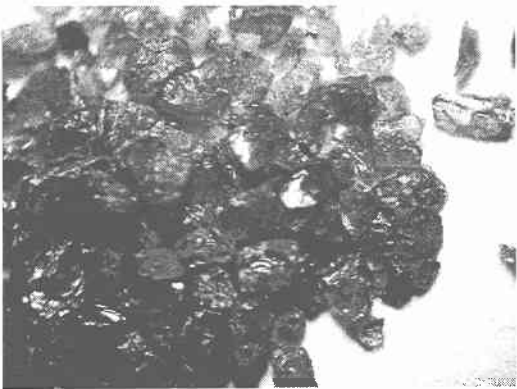
3.3 ラベリング試験

図－3 に試験体の形状および寸法を示す。試験体は、上底 288 mm × 下底 410 mm × 高さ 350 mm × 厚さ 50 mm の台形状であり、表層の 10 mm の部分にガーネットを混入した構造である。試験には、開発土木研究所所有のラベリング試験装置を使用した。試験輪には市販のノーマルタイヤを使用し、試験速度 40 km/h で回転数 3 万回まで行った。また、試験温度は室温とし、特に試験室内の温度制御は実施していない。試験後のすり減り量

は、自動走行式の変位計を用いて 1 つの試験体につき 5 断面で測定した。

3.4 引張り試験

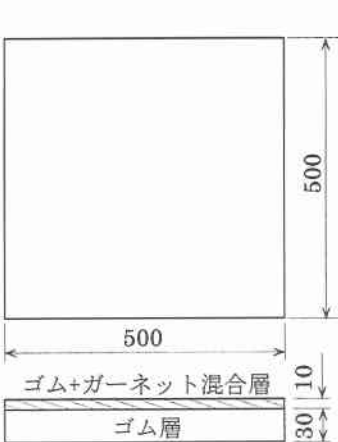
試験は、図－4 に示すダンベル状 2 号試験片を用い、JIS K 6251 (加硫ゴムの引張り試験方法) に準拠して行った。また、負荷速度は 500 mm/min とし、1 条件当たり 5 体の試験を行った。



図－1 ガーネットの外観（粒度：0.3～0.8 mm）

表－2 試験体条件および各試験の組み合わせ

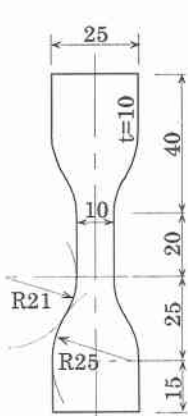
空隙率 (%)	混入骨材(ガーネット)		評価試験		
	粒度 (mm)	混入率 (Vol%)	すべり抵抗	ラベリング	引張り
10.0	無し		○	○	○
	0.3～0.8	10	○	/	○
		20	○		○
		30	○		○
	0.8～1.4	10	○		○
		20	○		○
20.0	無し		○	○	○
	0.3～0.8	10	○	○	○
		20	○	○	○
		30	○	○	○
	0.8～1.4	10	○	/	○
		20	○		○
30.0	無し		○	○	○
	0.3～0.8	10	○	○	○
		20	○	○	○
		30	○	○	○



図－2 すべり抵抗試験体



図－3 ラベリング試験体



図－4 引張り試験片

4. 試験結果および考察

表－3に、各試験より得られたすべり摩擦係数、平均摩耗深さおよび引張り強さをまとめて示す。また、図－5に、骨材の混入率とすべり摩擦係数、平均摩耗深さおよび引張り強さの関係を示す。これらの図表において、すべり摩擦係数は、0～80 km/hの速度範囲でその値がほ

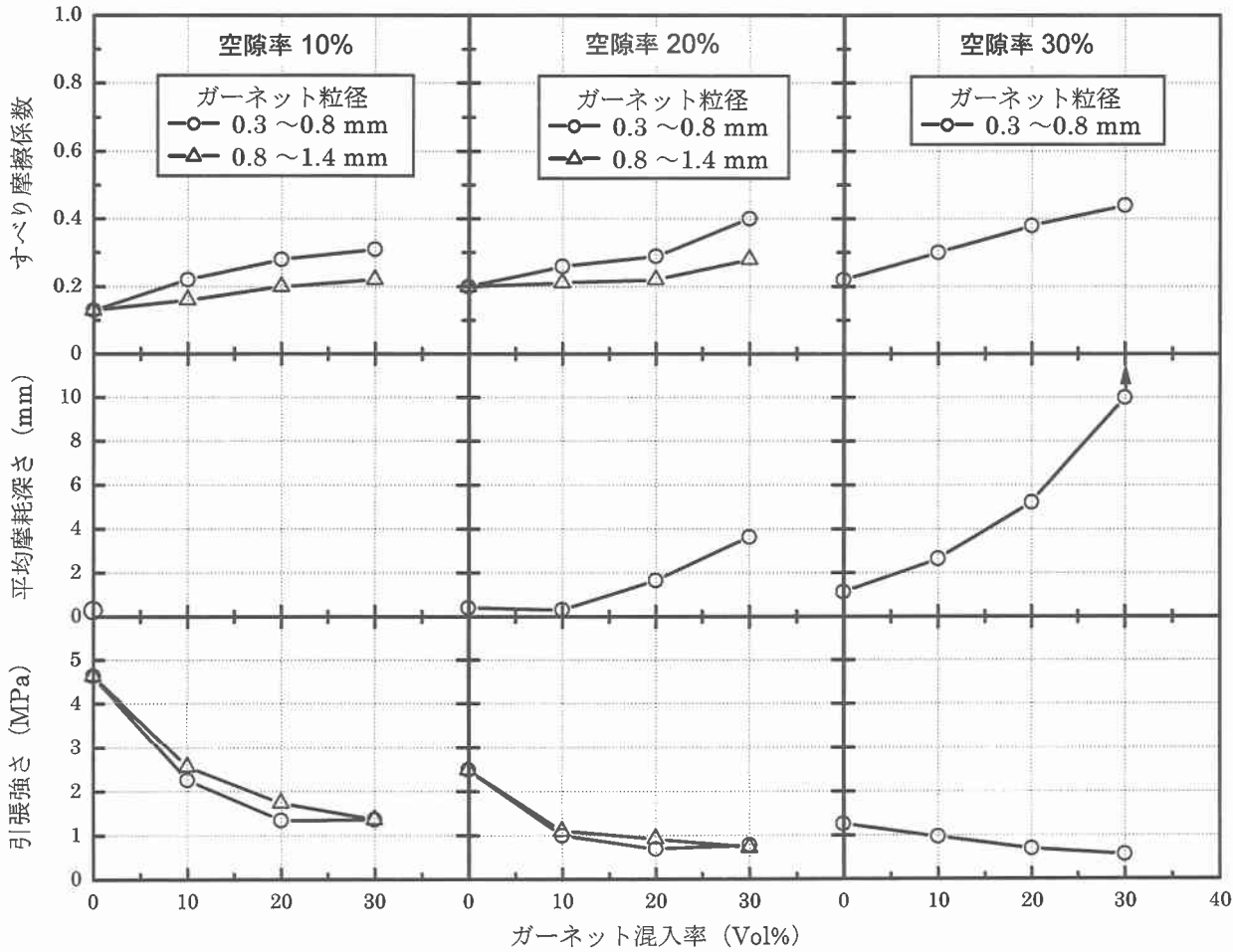
ぼ最低値となる40 km/hの時の摩擦係数を代表値として示している。また、平均摩耗深さ $\bar{x}$ は次式により算出した。

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{i-1}$$

..... (1)

表－3 すべり摩擦係数、平均摩耗深さおよび引張り強さの測定結果

舗装材 空隙率 (%)	混入骨材(ガーネット)		すべり摩擦係数 [40km/h]	平均摩耗深さ (mm)	引張り強さ (MPa)
	粒 度 (mm)	混入率 (Vol%)			
10.0	無し		0.13	0.29	4.64
	0.3～0.8	10	0.22		2.26
		20	0.28		1.35
		30	0.31		1.37
		10	0.16		2.56
	0.8～1.4	20	0.20		1.75
		30	0.22		1.36
20.0	無し		0.20	0.41	2.39
	0.3～0.8	10	0.26	0.31	1.00
		20	0.29	1.66	0.69
		30	0.40	3.62	0.79
	0.8～1.4	10	0.21		1.10
		20	0.22		0.93
		30	0.28		0.73
30.0	無し		0.22	1.13	1.26
	0.3～0.8	10	0.30	2.64	0.97
		20	0.38	5.21	0.70
		30	0.44	>10	0.56



図－5 骨材の混入率とすべり摩擦係数、平均摩耗深さおよび引張り強さの関係

ここで、 x_i は測定ライン上の*i*番目の点の摩耗深さ、*n*は測定点の数である。

すべり摩擦係数は、骨材の混入率の増加にともない増加し、その傾向は舗装材の空隙率が大きいほど顕著である。また、空隙率の増加に対してもすべり摩擦係数は向上している。しかし、すべり摩擦係数の向上に対しては、空隙率よりも骨材の混入率が大きな効果を示している。骨材の粒度に関しては、粒径が小さい方が大きな摩擦係数を示している。

ラベリング試験では、試験開始直後からガーネットが抜け出す現象が観察された。図-6に試験回数3万回後の試験体の状況を示すが、空隙率30%、骨材混入率30%の試験体では、表層の骨材混入層が全て摩耗し下層のゴム層まで到達していた。また、最も摩耗量が少ない試験体(空隙率10%、骨材混入率20%)においても表面の骨材がほぼ完全に脱落していた。一方、骨材を混入していない試験体では、摩耗量は極めて小さく、空隙率が30%の場合でも平均摩耗深さは1.0 mm程度であった。

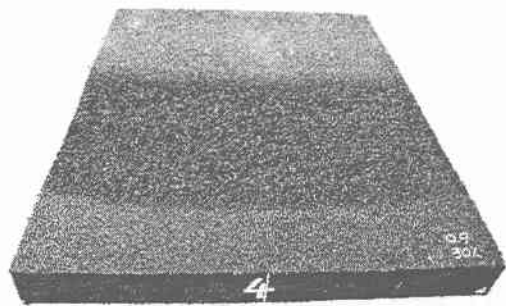
この耐摩耗性の低下は、骨材の混入により舗装材表層の強度が減少したことによるものと考えられる。図-5に示すように、平均摩耗深さは骨材の混入率の増加にともない顕著に大きくなっており、それに対応して引張り強さは大きく減少している。この強度の低下の原因としては、使用しているバインダーがゴムチップの成形用であるため、骨材の結合に適合していないことが考えられる。

以上の結果から、硬質骨材の混入により弾性舗装材のすべり抵抗を改善する方法は、舗装材の耐久性が大きく低下することから困難であると思われる。一方、骨材の混入に比較するとその効果は小さいが、舗装材の空隙率を増加させることによってすべり抵抗が向上することが明らかとなった。したがって、空隙率を適正に増加させることですべり抵抗の向上を図ることも一つの方法と考えられる。

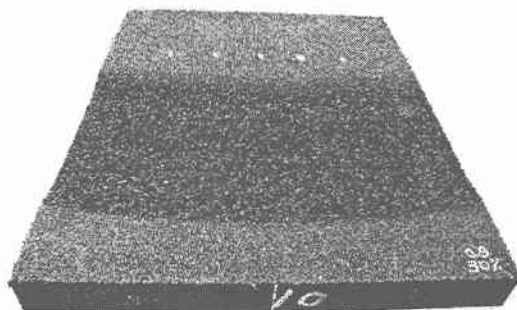
5. まとめ

ゴム弾性舗装材のすべり抵抗を改善する方策として、弾性舗装材の表面に硬質の骨材を混入する方法を検討した。この改善策の効果を確認するために、硬質骨材としてガーネットを混入した舗装材に対してDFテスターによるすべり抵抗試験を行い、弾性舗装材の湿潤時のすべり抵抗におよぼす骨材混入の影響を調査した。また、硬質骨材を混入した弾性舗装材の耐久性に対する実用性を検討するために、ラベリング試験および引張り試験を行い、その耐摩耗性および強度を評価した。以下に得られた主な結果を示す。

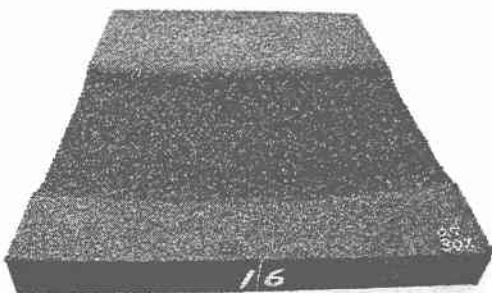
- 1) 弾性舗装材のすべり抵抗は骨材の混入率の増加にともない増加し、その傾向は舗装材の空隙率が大きいほど顕著である。
- 2) 弾性舗装材のすべり抵抗は空隙率の増加によっても向上するが、骨材の混入の方がより大きな効果を示す。
- 3) ラベリング試験では、試験開始直後からガーネットが抜け出す現象が生じ、試験回数3万回後ではほぼ全ての骨材が脱落した。



(a) 空隙率10%



(b) 空隙率20%



(c) 空隙率30%

図-6 ラベリング試験体の摩耗状況(3万回後)

- 4) 骨材の混入に比較すると、舗装材の耐摩耗性におよぼす空隙率の影響は小さい。
- 5) 骨材の混入により弾性舗装材のすべり抵抗を改善する方法は、舗装材の耐久性の観点から困難であると判断される。

参考文献

- 1) 岩本, 小野, 三田村, 佐藤, 逢坂: 廃タイヤを用いた弾性舗装の制動、耐久性試験について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第55号(A), pp166-171, 1999.
- 2) 小枝, 池田, 三田村, 小野: 凍結路面対策用ゴム弾性舗装材の開発, 土木学会北海道支部論文報告集, 第57号(A), pp144-148, 2001.