

3. 遮熱性舗装表面の耐久性に関する性能の設定

Performance Requirements for Durability on Surface of Solar Heat-blocking Pavement

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎

1. まえがき

東京都における遮熱性舗装は、平成20年度から本格施工を実施している。供用後の状況を調査すると、タイヤ走行により、すべり止め用の骨材が摩耗し、すべり抵抗が低下したり、早期に骨材面から遮熱材がはがれる現象が散見された。

本文では、上記遮熱性舗装表面の耐久性に関して室内試験による評価手法を提案し検証を行った結果を報告する。この結果をもとに、平成22年度の性能要件工事に於ける耐久性に関する性能として、促進摩耗試験後のすべり抵抗値とはがれ抵抗性を設定した。



写真 - 1 すべり止め用骨材が摩耗し樹脂面が露出

2. 供用後の遮熱性舗装の状況

遮熱性舗装施工箇所の供用後の目視観察結果によると、舗装表面の耐久性の低下として、目立つものは、摩耗によって遮熱材がすり減る状況と、骨材面から遮熱材がはがれる現象であった。本報告では、この2種の舗装表面の耐久性の低下に着目して、室内試験による検証を行い、舗装表面の耐久性評価試験として採用することとした。

(1) 摩耗による遮熱材のすり減り

摩耗による遮熱材のすり減り状況は、すべり止め骨材が摩耗し樹脂面が露出している(写真 - 1)、すべり止め骨材が摩耗し丸みを帯びている(写真 - 2)、遮熱材が摩耗している(写真 - 3)などであった。遮熱性舗装が、車両の走行に伴って摩耗しすべり抵抗の低下が懸念された。



写真 - 2 すべり止め用骨材が摩耗し丸みを帯びる

(2) 遮熱材のはがれ

遮熱材のはがれは、塗布した遮熱材が舗装表面の

アスファルトと共にはがれ骨材面が露出した状況(写真 - 4)である。原因としては、施工時に母体となるアスファルト舗装面のアスファルト分の研掃が不十分であったり、遮熱性舗装の樹脂とアスファルト



写真 - 3 遮熱材の摩耗



写真 - 5 遮熱材のはがれが進行



写真 - 4 遮熱材のはがれ



写真 - 6 遮熱材のはがれと摩耗が進行

トの付着の問題などが考えられた。しかし、現段階で、原因究明は出来ていない。さらに、はがれと摩耗が進行していくと写真 - 5、- 6に示すように全面におよぶ場合も見られた。

3. 遮熱性舗装表面の耐久性評価に関する室内試験

遮熱性舗装表面の耐久性評価に関する室内試験として次の2種について検討した。

摩耗による遮熱材のすり減りに伴うすべり抵抗の低下を把握するために、遮熱性舗装の供試体を恒温の状態で行うラベリング試験機を用いて促進摩耗させ、振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗を経時的に計測することにより評価した。

遮熱材のはがれ抵抗性については、供試体が回転するタイプのはがれ抵抗測定試験により供試体表面の遮熱材のはがれを面積比で評価した。

(1) 促進摩耗後のすべり抵抗測定試験

促進摩耗後のすべり抵抗測定は、遮熱性舗装の供試体を恒温(20)の状態で行うラベリング試験機を用いて行う促進摩耗試験と、振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗試験を組合せ、走行輪数に応じた摩耗後のすべり抵抗を計測した。

試験用供試体は、室内で作製したポ - ラスアスファルト混合物を母体とする供試体を研削後に遮熱材を塗布したものをを用いた。

本実験では、通常タイプの遮熱性舗装と低臭タイプの遮熱性舗装の供試体を作製した。試験供試体の種類および仕様を表 - 1、- 2に示す。

表 - 1 試験供試体の種類および仕様（通常タイプ）

				通常タイプ（センター構内試験施工時作成）					通常タイプ比較 （試験室作成）	
				第1石油類					第1石油類	
供試体番号										
骨材	1層目	種類		セラサド [®] HW	セラサド [®] HW	セラサド [®] UH	セラサド [®] UH	セラサド [®] UH	セラサド [®] UH	
		粒径（呼称）		B粒	B粒	S粒	S粒	S粒	S粒	
骨材	2層目	種類		/	/	/	/	ホイトシリカ 20-40	/	
		粒径 mm		/	/	/	/	0.4~0.8	/	
遮熱塗料 の塗布量 および 骨材散布 量	1層目	遮熱塗料 a	設計値	kg/m ²	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
		骨材 b	設計値	kg/m ²	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5
		層合計量 a + b	設計値	kg/m ²	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9
	2層目	遮熱塗料 c	設計値	kg/m ²	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
		骨材 d	設計値	kg/m ²	/	/	/	/	0.2	/
		層合計量 c + d	設計値	kg/m ²	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4

注1)骨材粒径呼称B粒:1.0~0.5mm、S粒:1.78~0.5mm

注2)第1石油類:1気圧で、引火点が 21 未満のもの。

表 - 2 試験供試体の種類および仕様（低臭タイプ）

				低臭タイプ（センター構内試験施工時作成）						
				第2石油 類	第3石油類			乳剤タイプ		
供試体番号										
骨材	1層目	種類		セラサド [®] UH	セラサド [®] UH	セラサド [®] UH	セバ [®] N	天然砂	セラサド [®] UH	
		粒径（呼称）		S粒	S粒	S粒	B粒	4号	S粒	
骨材	2層目	種類		/	ホイトシリカ 20-40	/	クリスタルサド [®]	アルミ骨材	ホイトシリカ20-40	
		粒径 mm		/	0.4~0.8	/	0~1.2	0.4~0.8	0.4~0.8	
遮熱塗料 の塗布量 および 骨材散布 量	1層目	遮熱塗料 a	設計値	kg/m ²	0.3~0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5
		骨材 b	設計値	kg/m ²	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
		層合計量 a + b	設計値	kg/m ²	0.8~0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
	2層目	遮熱塗料 c	設計値	kg/m ²	0.3~0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
		骨材 d	設計値	kg/m ²	/	0.2	/	0.25	0.2	0.15
		層合計量 c + d	設計値	kg/m ²	0.3~0.4	0.6	0.4	0.65	0.6	0.65

注3)第2石油類:1気圧で、引火点が21 以上70 未満のもの。第3石油類:1気圧で、温度20 で液体であって、引火点が70 以上200 未満のもの。

1) 促進摩耗試験について

促進摩耗試験は、回転ラベリング試験機によって実施した。回転ラベリング試験は、（社）日本道路協会、舗装調査法・試験法便覧の回転スパイクチェーン型試験機を用いた。試験機の仕様および試験条件は、表 - 3および写真 - 7に示すとおりである。試験手順は、次のとおり行った。

母体供試体の作製

母体供試体は、ポーラスアスファルト混合物を使

用し、所定の大きさ（厚さ5cm×幅30cm×長辺40cm×短辺24cm）で12枚作製した。使用材料および合成粒度は、平成21年度東京都建設局土木材料仕様書によった。

表面研削

母体混合物は、現場施工と同様な表面処理とするため、研削用ダイヤモンドカップホイール(写真 - 8)を取り付けたディスクグラインダを使用し、供試体表面を研削した（研削面の状況は、写真 - 9参照）。



写真 - 7 回転ラベリング試験機

表 - 3 試験機の仕様および試験条件

使用タイヤ	小型トラック用タイヤ145R12
輪荷重	1.96kN
接地圧	0.29MPa
走行輪の数	2輪
走行回数	100万輪走行(50万回回転)
走行速度	20km/h
試験温度	20
供試体養生時間	4時間以上
タイヤのシフト幅	±5cm
車軸勾配	キャンバー角1.5度
散水量	2L/min

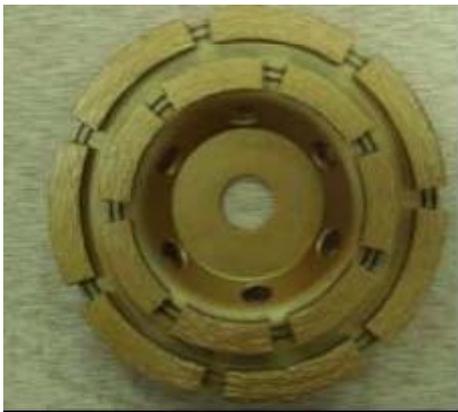


写真 - 8 研削用ダイヤモンドカップホイール

なお、研削回数は左から右へ 1pass を基準とし、全ての供試体表面を同様に研削した。研削した母体に遮熱材を塗布したものを促進摩耗試験用供試体とした。また、各供試体について、研削後のすべり抵抗を、振り子式スキットレジスタンステスト(写真 - 7の手前に写る装置)により測定した。



写真 - 9 研削面の状況

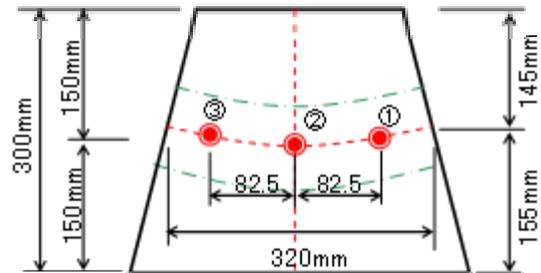


図 - 1 すべり抵抗測定位置

遮熱材の塗布

研削が完了した供試体に、遮熱材の塗布を行い、試験開始まで養生室で静置した。遮熱材の塗布は、供試体 ~ については、土木技術支援・人材育成センター構内での試験施工時に行い、供試体 については、試験室で行った。

試験準備

回転ラベリング試験機のタイヤは10万回転(20万輪)ごとに新しいタイヤに交換した。タイヤの空気圧は 320 ± 10 kPaとし、接地圧、車輪回転数、テ - プル回転数の調整を行った。

供試体養生

供試体を回転ラベリング試験機に設置固定し、供試体表面の温度が 20 ± 1 になるよう、試験室で4時間養生した。

すべり抵抗の測定

供試体の養生を完了後、散水を行いながら試験を開始した。試験は、10万輪走行(5万回転)ごとに振り子式スキットレジスタンステストによりすべり抵抗を測定した。測定位置は、図 - 1に示すとおりとした。

試験終了

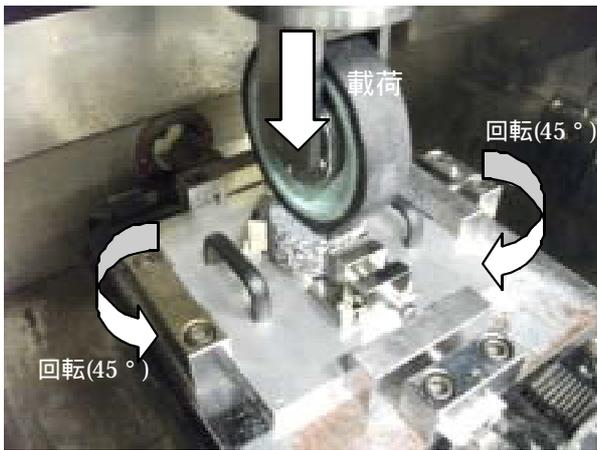


写真 - 10 はがれ抵抗性試験機



写真 - 11 供試体固定用治具

試験終了後に、供試体表面をナイロンブラシにより水洗いを行いタイヤのゴムの付着を取り去りデジタルカメラで撮影した。

(2) 遮熱材のはがれ抵抗性試験

遮熱材のはがれ抵抗性試験は、供試体が両方向に45度の角度で繰り返し回転し、静止状態の載荷輪によって荷重を加える機構になっている(写真 - 10、- 11)。

1) 母体供試体の作製

母体となるポーラスアスファルト混合物は、ホイールトラッキング試験用供試体(30×30×5cm)を11枚作製し 10cmのコアを33個切り出す方法で作製した。使用材料と合成粒度は、促進摩耗試験と同じものを用いた。

2) 表面研削

母体混合物は、研削用ダイヤモンドカップホイー

表 - 4 はがれ抵抗性試験機の仕様と試験条件

供試体寸法	10cm、高さ5cm
試験温度	20
試験輪の種類	ホイールトラッキング用ソリッドタイヤ
試験輪の寸法	直径20cm、幅5cm、ゴムの厚さ1.5cm
試験輪のゴム硬度	JIS硬度78±2(80)
輪荷重	686±10N
接地圧	0.63MPa
回転角度	90度(左右45度)
回転回数	往復650回
回転速度	0.3Hz
回転走行半径	無し(載荷点固定)
供試体の養生時間	試験温度で5時間以上

ルを取り付けたディスクグラインダにより研削処理を施した。なお、研削回数は左から右へ1passを基準とし、全ての供試体表面を同様に研削した。

3) 遮熱材の塗布

研削が完了した供試体に、遮熱材の塗布を行い、試験開始まで養生室で静置した。遮熱材の塗布は、供試体 ~ については、センター構内での試験施工時に行った。

4) はがれ抵抗性試験

はがれ抵抗性試験機の仕様と試験条件は、表 - 4に示すとおりとした。

5) 試験データの整理

はがれ面積率は、はがれ抵抗性試験終了後に、表面のタイヤのゴムの付着を取り去り、はがれ状況をデジタルカメラで撮影した。画像処理のイメージは、図 - 2に示すとおりである。この処理画像のピクセル数を解析して次式によりはがれ面積率(%)を算出した。

$$\text{はがれ面積率(\%)} = \frac{\text{はがれた箇所のピクセル数}}{\text{タイヤ接地面積のピクセル数}} \times 100$$

4. 室内試験結果

(1) 促進摩耗試験後のすべり抵抗試験結果

1) すべり抵抗値と走行輪数の関係

すべり抵抗値と走行輪数の関係を図 - 3、- 4に示す。

通常タイプ、低臭タイプに関わらず、走行輪数の増加に伴い、舗装面のすべり抵抗値が低下する傾向

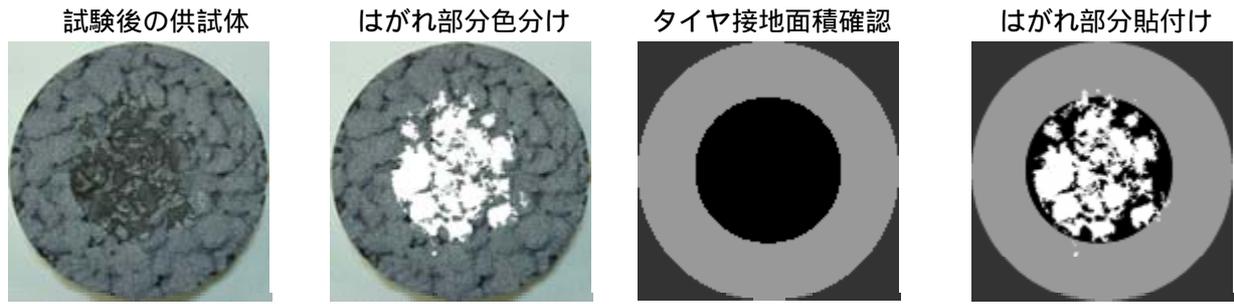


図 - 2 画像処理の手順 (イメージ)

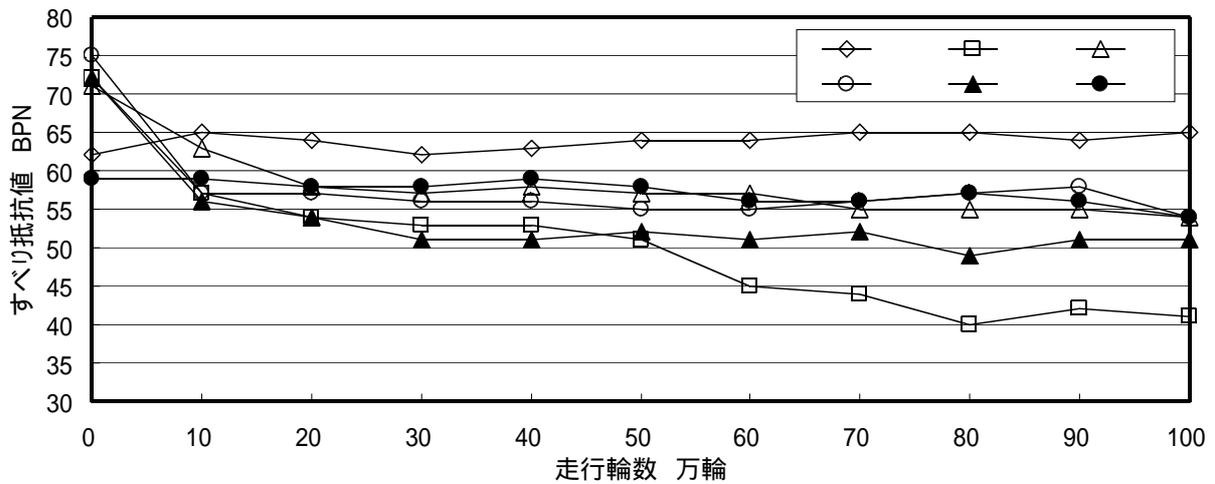


図 - 3 すべり抵抗値と走行輪数の関係(通常タイプ)

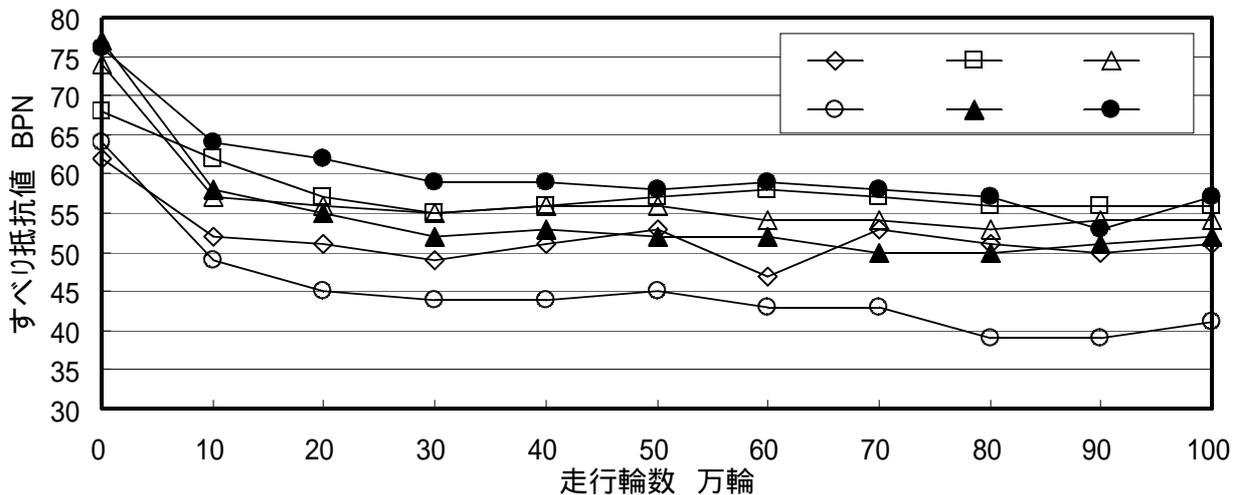


図 - 4 すべり抵抗値と走行輪数の関係(低臭タイプ)

が確認できた。走行開始より10万輪走行までの間で、すべり抵抗が急激な低下を示した。舗装表面の観察より、低下した要因としては、余剰の樹脂や骨材が無くなり、すべり止め骨材表面や遮熱材の樹脂の摩

耗であった。また、10万輪走行以後は、すべり抵抗値が緩やかに変化する傾向であった。

しかし、供試体、
については、すべり抵抗の低下が大きかった。

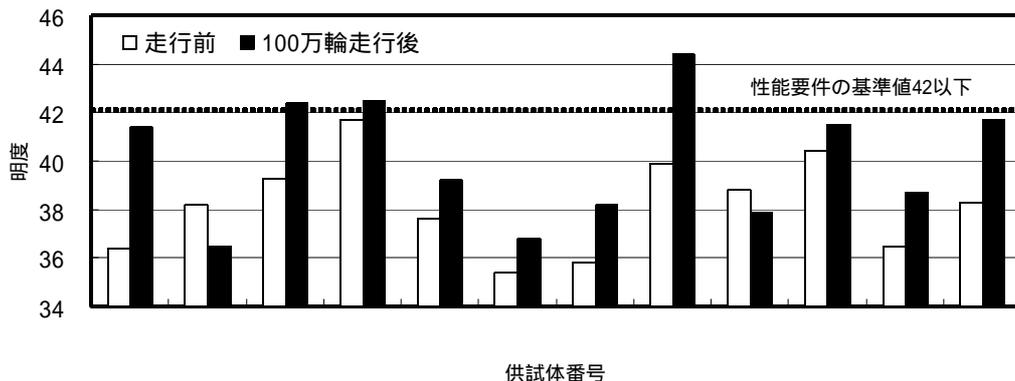


図 - 5 明度測定結果

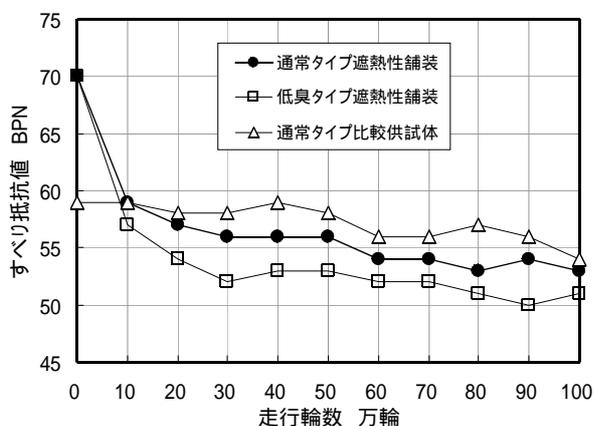


図 - 6 すべり抵抗値と走行輪数の関係

供試体 については、試験の早い時点より、遮熱塗料の摩耗が進み、供試体母体の骨材表面が露出した。明度を比較したところ、走行前、走行後と比較した時、走行後に値が小さくなる（暗くなる）結果であった(図 - 5)。供試体表面の目視観察では、骨材が露出した部分は、骨材表面でののがれによるものであった。原因は明確でないが、母体となるポラスアスファルト舗装の骨材表面のアスファルト分の除去不足や塗布時のアスファルトのカットバックなど、摩耗以外の要因が想定された。

また、供試体 については、すべり抵抗値は初期から低い値を示し、明度を計測したところ、明度が小さく（暗く）なっているが、舗装表面の状態に、大きな変化（極端な摩耗やがれ）は見受けられなかった。

2) 通常タイプと低臭タイプのすべり抵抗値比較
通常タイプと低臭タイプのすべり抵抗値の平均値を、図 - 6に示す。また、通常タイプと低臭タイプの100万輪走行後の供試体表面状況を写真 - 12に示す。

- ・100万輪走行後のすべり抵抗を比較すると、低臭タイプの方が通常タイプに比べ、BPNが6低い結果となった。各供試体のBPNの標準偏差は、室内で作製した比較品を除き4～6程度であり、遮熱性舗装のばらつきと考えられた。

- ・100万輪走行後の供試体表面を比較すると、写真 - 12に示すように異常な摩耗は見られなかった。

- ・100万輪走行後の明度について比較すると、通常タイプで平均41.4と低臭タイプで平均39.8であり、個別では、性能要件の指標である42以下を上回るものがあるものの、大きな差は見られなかった。

3) 通常タイプの遮熱性舗装の散布骨材に関する比較

図 - 3に示した通常タイプの遮熱性舗装において、散布した骨材の種類、粒度、散布量、また、2層目の骨材散布の有無について、比較した結果を下記に示す。

- ・すべり抵抗値は、供試体 、 が初期値から大きな値の変化が無く、値が安定していた。

- ・20万輪を超えた辺りから、すべり抵抗値の変化は少なかった。

- ・供試体表面状況と明度は、供試体 と 、 の変化量が大きく、目視観察では、摩耗していた。



写真 - 12 100万輪走行後の供試体表面状況
上段:通常タイプ、下段:低臭タイプ

供試体、について骨材散布量の違いによる比較をすると以下のとおりである。

- ・すべり抵抗値は、同種の骨材（セラサンドUH）粒径粒度（S粒）の場合、骨材散布量による差は見られなかった。

- ・供試体表面状況は、ほとんど差は見られないが、明度を比較した場合、骨材散布量が多い供試体は明度差が0.8と変化が少なく、摩耗も少なかった。

供試体、について骨材散布回数を比較すると以下のとおりである。

- ・同種の骨材（セラサンドUH）粒径粒度（S粒）を比較した時、初期値である走行前は、ホワイトシリカを散布した供試体の方が大きい値を示したが、走行開始後は、1層施工の供試体の方がBPNが3大きい値を示した。

- ・供試体表面状況は、ほとんど差は見られないが、明度を比較した場合、供試体は3.1、供試体は1.4明るくなっており、供試体は表面が摩耗していた。

4) 低臭タイプの遮熱性舗装の散布骨材に関する

比較

図 - 4に示した低臭タイプの遮熱性舗装において、散布した骨材の種類、粒度、散布量、また、2層目の骨材散布の有無について、比較した結果は、次のとおりである。

- ・すべり抵抗値は、20万輪以降、変化が少なかった。

- ・明度差は、4.5と供試体の変化量が大きく、摩耗していた。

供試体、について低臭タイプ遮熱材の油類種別の違いによる比較すると以下である。

- ・同種の骨材（セラサンドUH）粒径粒度（S粒）で、油類種別を比較した時、第2石油類の供試体の方がBPNで3大きい値を示した。

- ・供試体表面状況は、ほとんど差は見られないが、明度差を比較した場合、供試体は1.4、供試体は4.5程度、明るくなっており、供試体は表面の遮熱材の摩耗が少なかった。

供試体、について骨材散布回数の違いによる比較は、以下である。

- ・すべり抵抗値は、同種の骨材（セラサンドUH）粒径粒度（S粒）の場合、ホワイトシリカの散布による差はBPN2と小さかった。

- ・供試体表面状況は、ほとんど差は見られないが、明度を比較した場合、骨材散布量が多い供試体は供試体の4.5に比べ明度差が2.4と変化が少なく、摩耗も少なかった。

(2) 遮熱材のはがれ抵抗性試験結果

遮熱材のはがれ抵抗性試験結果は、図 - 7に示すとおりである。はがれ面積率は、1組3供試体の平均値で表わした。

試験を実施した供試体(n=33)のはがれ面積率の平均値は、27.9%、標準偏差は18.0であった。また、はがれ面積率が20%未満の供試体は全体の42%であった。

1) 遮熱材のベース樹脂の石油類別のはがれ面積率

- ・第1石油類のベース樹脂を使用した遮熱材(供試体 ~)のはがれ面積率は、9.9 ~ 65.2%の範囲であり平均は31.8%であった。

- ・第2石油類のベース樹脂を使用した遮熱材(供試体)のはがれ面積率は、16.4%であった。

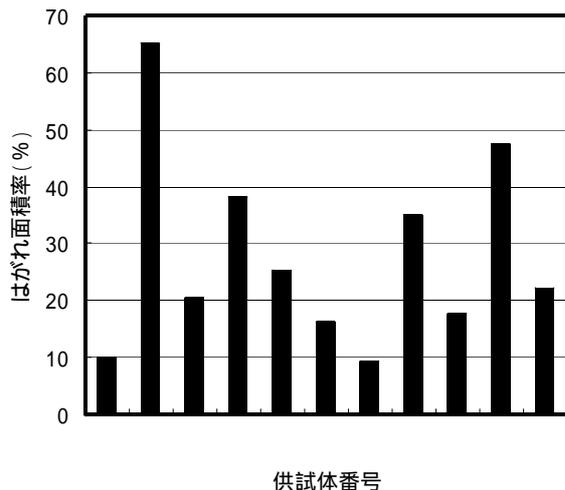


図 - 7 はがれ面積率

・第3石油類のベース樹脂を使用した遮熱材(供試体 ~)のはがれ面積率は、9.4~47.5%の範囲にあり平均は、27.4%であった。

・乳剤を使用した遮熱材(供試体)のはがれ面積率は、22.3%であった。

2) ベース樹脂製造元別の遮熱塗料のはがれ面積率

・製造元A(供試体 、 、)のベース樹脂を使用した遮熱材のはがれ面積率は、第1石油類9.9~65.2%、第3石油類9.4%であった。

・製造元B(供試体 、 、)のベース樹脂を使用した遮熱材のはがれ面積率は、第1石油類20.4~25.2%、第3石油類35.1%であった。

・製造元C(供試体)のベース樹脂を使用した遮熱材のはがれ面積率は、第3石油類17.7%であった。

以上より、ベース樹脂の石油類別および製造元別による、遮熱材のはがれ面積率に極端な差はないといえる。また、母体アスファルト混合物の表面研削処理を同一条件としていることから、遮熱材の配合および施工方法などによりはがれ面積率に差が生じるものと考えられた。

5. 性能要件による発注工事の規格値の設定

遮熱性舗装表面の耐久性に関して室内試験による評価手法を提案し検証を行った。この結果をもとに、平成22年度の性能要件工事に於ける耐久性に関する性能として促進摩耗試験後のすべり抵抗値とはがれ

表 - 5 遮熱性舗装表面の耐久性に関する規格値

性能	完成時の規格値
路面のすべり抵抗値	母体ポーラスアスファルト混合物をプラントで採取して実験室で再加熱して作成した供試体に現場施工時に遮熱材を塗布し、促進摩耗試験後(20万輪走行後)の振子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗値が5.5 BPN以上
路面の遮熱材のはがれ抵抗性	完成後に現地でコアを採取し、遮熱材のはがれ抵抗性試験のはがれ面積率40%以下

抵抗性を表 - 5のとおり設定した。

6. まとめ

今回得られた結果は、以下のとおりである。

(1)促進摩耗試験後のすべり抵抗

通常タイプ、低臭タイプに関わらず、走行輪数の増加に伴い、舗装面のすべり抵抗値が減少する傾向が確認できた。

すべり抵抗値は、100万輪走行時で、初期値に対して20~30%程度減少し、通常タイプと低臭タイプの大きな差は、確認できなかった。

0~10万輪の走行で、すべり抵抗値が急激に減少(初期値に対して通常タイプで15%程度、低臭タイプで18%程度減少)し、その後、10万~30万輪走行まで緩やかな減少(初期値に対して、通常タイプで18%程度、低臭タイプで25%程度減少)を示した。

20万輪走行以後は、多少の増減はあるものの、100万輪走行まで大きな変化が見られない事が確認できた。

したがって、最小限20万輪走行させれば、遮熱性舗装の供用後の初期のすべり抵抗値の確認ができると考えた。

表面状況の評価方法の一つとして、100万輪走行後に、走行部と未走行部の明度の比較を行ったところ、通常タイプ、低臭タイプに関係なく、2層目にホワイトシリカを散布したタイプが、明度差(未走行部の明度から走行部の明度を引いた値の絶対

値)が少ないことが確認できた。

(2) はがれ抵抗性試験

遮熱性舗装のはがれ抵抗性試験は、現道における遮熱材のはがれの状況を室内で再現すること、ならびに低臭タイプの遮熱材の塗膜の耐久性を検証することを目的に、室内で作製した母体アスファルト混合物に試験施工時の実機で塗布した供試体を用いて実施した。

試験後の遮熱材の塗膜は、実道での塗膜のはがれの状況に類似していることを確認した。今回の提案室内試験法が実道での遮熱材の塗膜のはがれを評価する試験法として十分適用できると考えた。また、研削条件を同一とした母体アスファルト混合物を用いても、施工会社によって遮熱材のはがれ抵抗性(はがれ面積率)に差が見られることが確認された。今回の結果では、遮熱材に使用するベース樹脂の石油分類(第1石油類～第3石油類)や、ベース樹脂の製造元による明確な差は、見られなかった。このことから、施工会社によるはがれ抵抗性の差は、遮熱材の配合手法など製造と施工の技術全般にわたる能力の差によるものと考えられた。

さらに、通常タイプの遮熱材(第1石油類)に対して、低臭タイプの遮熱材(第1石油類以外)の摩耗抵抗性は同程度にあると判断でき、母体アスファ

ルト混合物と遮熱塗膜との付着性や塗膜強度は同レベルに達していると考えられた。

(3) 性能要件規格値の設定

遮熱性舗装表面の耐久性に関して室内試験による評価手法を提案し検証を行い、平成22年度の性能要件工事に於ける耐久性に関する性能として促進摩耗試験後のすべり抵抗値とはがれ抵抗性を設定した。

7. あとがき

舗装路面のすべり抵抗の長期間の確保は、道路交通の安全性の面から絶対に担保されなければならないものである。しかし、遮熱性舗装の本格施工に入ってから交通量や大型車の混入率、車両速度、タイヤの水平せん断力がかかるかどうかなどの条件によっては、舗装表面の耐久性の低下からすべり抵抗が低下するという問題が一部の箇所が発生してきた。そのために、急遽、舗装表面の耐久性として促進摩耗試験後のすべり抵抗値とはがれ抵抗性を性能として設定した。

今後、舗装表面の耐久性を評価する試験法の簡略化の検討も必要であるが、提案した試験法により、遮熱材の使用樹脂やすべり止め骨材の種類および使用量を検討し、より耐久性のある材料を緊急に提案する必要があると考えている。