

# 経年劣化した熔融スラグ混合アスファルトの 夏季路面温度に関する考察

明石工業高等専門学校 鍋島 康之  
渡辺 雅大  
福田道路株式会社事業本部技術部 藤井 政人  
協和道路株式会社試験室 木和田 貴哉

熔融スラグ混合アスファルトは通常の密粒アスファルトと比較して熔融スラグ混合率が高くなるほど夏季路面温度が高くなることを屋外実験などで明らかにしてきた。本報告では舗装表面を人為的に劣化処理した熔融スラグ混合アスファルトの温度特性を室内実験および屋外実験により検討し、温度特性の経年変化について考察するとともに、約4年前に実際に舗装した舗装面では熔融スラグ混合アスファルトと通常のアスファルトに路面温度に差が見られなかったことを報告する。

## 1. はじめに

近年の環境問題への関心の高まりから、道路舗装の分野でも都市ゴミや下水汚泥より製造される熔融スラグを舗装材料として再生利用した熔融スラグ混合アスファルトが使用されている。著者らはこれまで熔融スラグ混合アスファルトの夏季路面温度について検討を行ってきたが、熔融スラグを混合することにより、夏季路面温度が上昇することが試験結果<sup>1)</sup>から明らかになった。一方で、都市部におけるヒートアイランド現象が環境問題化しており、その要因の1つにアスファルト舗装の影響があげられているため、夏季における路面温度上昇を抑制する舗装技術については様々な研究<sup>2)</sup>が行われている。

写真-1は明石工業高等専門学校周辺で撮影したアスファルト舗装のデジタル画像ならびに赤外線画像である。アスファルト舗装の色から明らかなように、手前のアスファルト舗装の方が新しく、奥側のアスファルト舗装の方が古く劣化していることがわかる。アスファルト舗装の劣化程度の違いから、熱赤外線画像では路面温度に明らかな差が現れており、手前の新しいアスファルト舗装の方が温度が高く、奥側の古いアスファルト舗装の温度が手前よりも低くなっている。この様にアス

ファルト舗装が劣化するほど路面温度が変化することが考えられるため、熔融スラグ混合アスファルトの経年劣化による温度特性の変化について、人為的に劣化処理を行った供試体を使用し、屋外



写真-1 道路舗装のデジタル・赤外線画像

ならびに屋内試験で検討したので報告する。また、実際に溶融スラグ混合アスファルトを敷設した実証実験サイトの経年変化について実測した結果についても報告する。

## 2. 屋外・屋内試験

溶融スラグ混合アスファルトの夏季路面温度について解明するために、溶融スラグ混合アスファルト供試体を用いて屋外試験ならびに屋内試験を行った。本研究では、人為的に劣化処理を行った溶融スラグ混合アスファルトの路面温度について検討する。

### 2.1 試験供試体

今回の実験で使用するアスファルト供試体は通常の密粒アスファルト（溶融スラグ混合率 0%）ならびに密粒アスファルトの砕砂・粗砂分を溶融スラグに置き換えた溶融スラグ混合アスファルトを用いている。試験供試体の配合表を表-1 に示す。溶融スラグの混合率は 10, 20, 30%である。一般的には溶融スラグ混合率は 10%以下での使用が推奨され、質量比 20%までは使用可能<sup>3), 4)</sup>とされているが、本試験では比較のため溶融スラグ混合率 30%の供試体も使用している。

試験供試体の寸法は、縦 300mm, 横 300mm, 高さ 50mm である。各供試体は厚さ 50mm の発泡スチロール製の断熱性容器内に供試体を設置し、舗装表面以外は断熱されている。また、アスファルト供試体は 2018 年に製作した供試体（古）と 2019 年に製作した供試体（新）の 2 種類を用いている。また、2018 年製作の供試体については人為的に劣化処理を行っている。劣化処理の方法については屋外試験、屋内試験で説明する。

表-1 アスファルト供試体配合割合

	6号	7号	砕砂	粗砂	石粉	溶融スラグ
密粒 As	37	19	19	19	6	0
10%混合	37	19	14	14	6	10
20%混合	37	20	8	9	6	20
30%混合	37	21	3	3	6	30

### 2.2 屋外試験の概要および結果

写真-2 に屋外試験の状況を示す。8 種類のアス

ファルト供試体を明石工業高等専門学校 土質実験室屋上に設置し、2020 年 8 月 6 日ならびに 9 日午前 10 時から午後 3 時まで 1 時間おきに非接触温度計を用いて供試体路面温度を 5 か所で計測するとともに赤外線サーモカメラで路面温度分布を撮影した。なお、屋上スラブの影響を除去するため、写真-2 に示すように断熱材の上に供試体を設置した。写真-3 は屋外試験で使用した供試体である。2018 年に製作した供試体（古）は 2019 年に製作した供試体（新）よりも若干色褪せが見られたが、大きな差が見られなかったため、サビ落とし用電動式ワイヤーブラシにより、舗装表面を研磨した。人為的に劣化処理を行った供試体を写真-3 に示す。2019 年に作成した供試体と比較すると明らかに人為的に劣化処理を行った 2018 年に製作した供試体の方が明度が高いことが見て取れる。

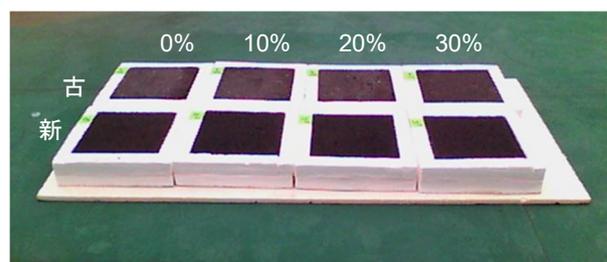


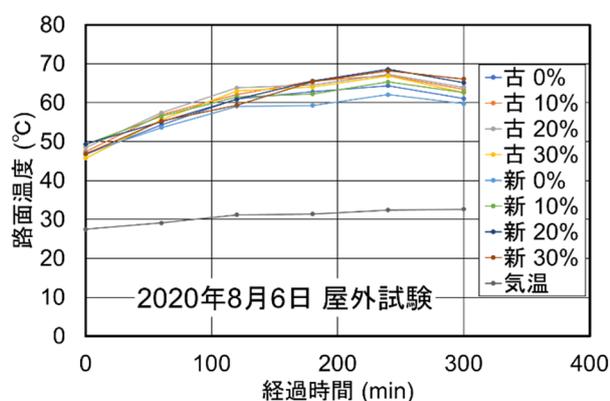
写真-2 屋外試験の状況



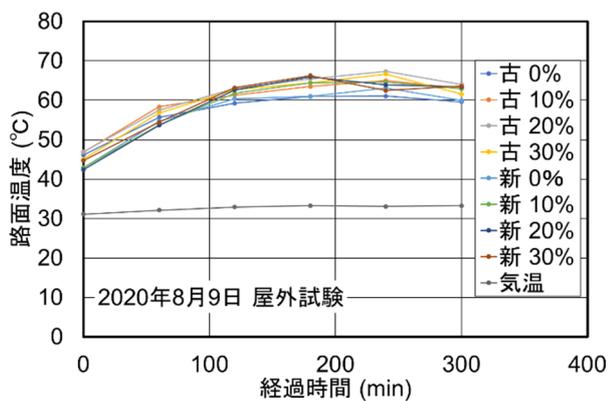
写真-3 屋外試験で使用した供試体

図-1 に 2020 年 8 月 6 日および 9 日に測定した屋外試験におけるアスファルト舗装路面温度の継時変化を示す。アスファルト供試体の路面温度は 120 分経過後は概ね 60℃以上になり、240 分後には路面温度が 70℃近くまで達している。この傾向は 8 月 6 日、9 日ともほぼ同様であった。既往の研究<sup>1)</sup>では、溶融スラグ混合アスファルトは溶融スラグ混合率が増加するほど、路面温度が上昇しやすく、路面温度の最大値が大きくなることが報

告されているが、今回の屋外試験結果からはそのような傾向は明確には見られなかった。しかしながら、120分経過後は熔融スラグを混合したアスファルト供試体の方が通常の密粒アスファルト（熔融スラグ混合率0%）よりも高い路面温度を示すことが多く、熔融スラグ混合アスファルトの方が密粒アスファルトよりも路面温度が高くなる傾向が見られた。この原因として、碎石と熔融スラグの熱伝導率の違い<sup>5)</sup>が考えられ、熔融スラグの方が熱伝導率が高いためと考えられる。次に、人為的に劣化処理を行った2018年に製作した供試体の路面温度については、2019年に製作した供試体の路面温度と明確な差が見られなかった。



(a) 2020年8月6日実測結果



(b) 2020年8月9日実測結果

図-1 屋外試験における路面温度

次に、写真-4は屋外実験の赤外線画像を示している。供試体の配置は写真-2と同じであり、手前の列に並べられている供試体が2019年に製作したアスファルトである。赤外線画像では寒色系から暖色系になるほど表面温度が高くなり、白色を示している部分が最も温度が高いことを示し

ている。写真-4から2019年製作のアスファルトは2018年製作のアスファルトに比べ路面温度が高く、また、密粒アスファルト（左端の縦列）の方が熔融スラグ混合アスファルト（左端以外）よりも路面温度が低いことが確認できる。このことから、経年劣化した供試体の方が路面温度が低くなることが推察でき、写真-1と同じ傾向を示している。図-1では経年劣化の影響が明確には見られなかったが、これは測定点数が5か所と少なかったためであると考えられる。また、写真-4からも熔融スラグ混合アスファルト供試体の方が密粒アスファルト（熔融スラグ混合率0%）よりも路面温度が高くなることが確認できた。

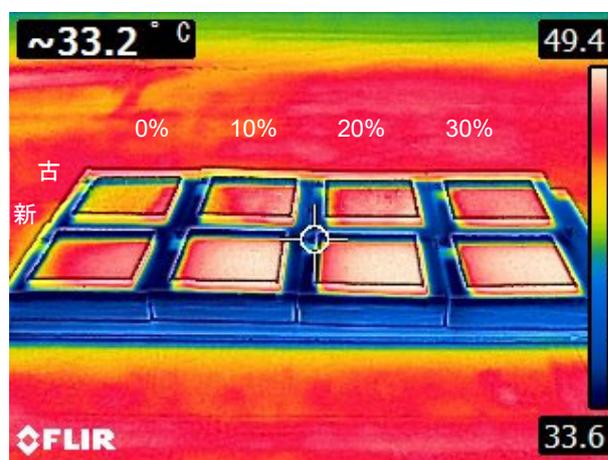


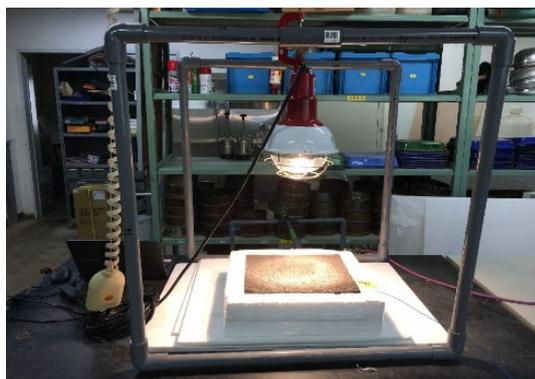
写真-4 屋外試験の赤外線画像

### 2.3 屋内試験の概要および結果

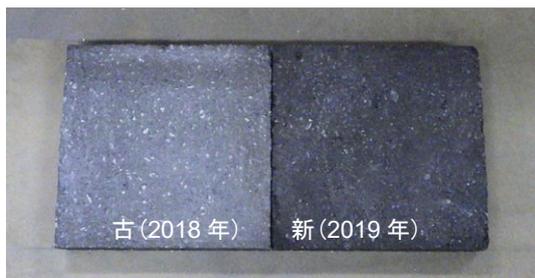
写真-5に屋内試験の状況を示す。屋外試験では測定日の日照条件や最高気温、風向・風速などの影響を受けるため、温度を管理した状況下で路面温度を測定するため、屋内実験を行った。500wの投光器を写真-5に示すように供試体上300mmの高さに設置した。投光器で2時間照射し、30分間隔で路面温度の測定を行った。路面温度の測定は供試体中央部の温度を非接触温度計を用いて測定するとともに、赤外線サーモカメラで路面温度分布を撮影した。屋内試験では試験開始180分前から室温を25°Cに設定し、供試体温度が一定になっていることを確認した後、試験開始とともに投光器を照射し、アスファルト路面温度を計測した。屋内試験では、密粒アスファルト（古・新）と熔融スラグ混合アスファルト30%（古・新）について比較を行った。屋外試験の路面温度計測結果（図

—1 参照) では劣化処理の影響が明確ではなかったため、屋内試験では 2018 年に製作した供試体の舗装面を面直し砥石 (#60) で研磨して更に劣化処理を行った。写真—6 に屋内試験で使用した供試体を示す。屋外試験で使用した供試体 (写真—3) よりも更に表面が平滑になるとともに、明度が高くなっていることが確認できる。写真—7 に劣化処理を行った供試体としていない供試体の舗装表面の拡大写真を示す。明らかに劣化処理した供試体の方が表面の凹凸が小さく、白くなっていることがわかる。

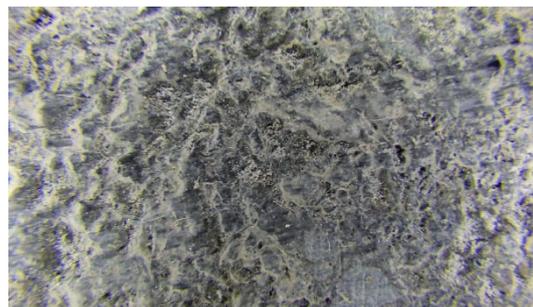
写真—8 に屋内試験における赤外線カメラで撮影した供試体の赤外線画像を示す。投光器による照射は点光源であり、太陽光のような平行光線になっていないので供試体の路面温度分布は供試体中央部分と周辺部で大きな差があることがわかる。このため、本研究では供試体中央部の路面温度を用いて比較することにした。屋内試験におけるアスファルト供試体の路面温度計測結果を図—2 に示す。室内温度を 25°C に設定したにも関わらず、測定開始時の路面温度に差が見られるが、2018 年製作の供試体 (図—2 の古) ならびに 2019 年製作の供試体 (図—2 の新) とともに時間の経過とともに路面温度が上昇する傾向を示し、温度上昇速度はほぼ同じであった。図—2 から明らかに 2019 年製



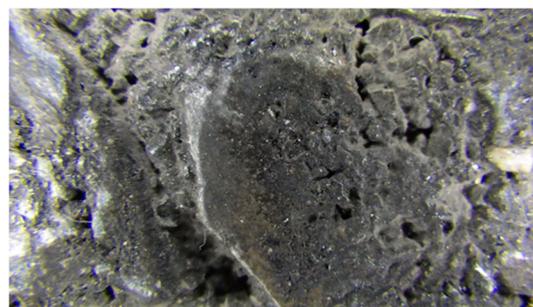
写真—5 屋内試験の状況



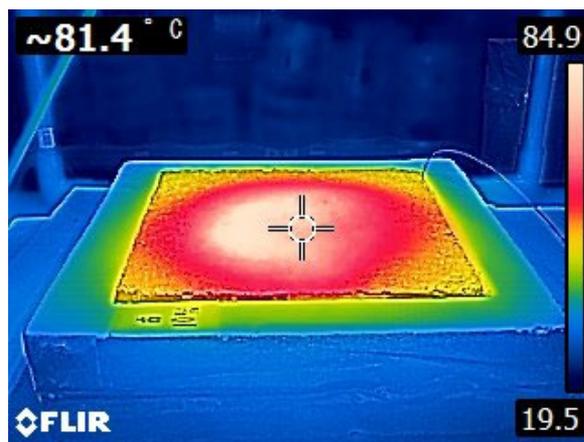
写真—6 屋内試験で使用した供試体



(a) 劣化処理したアスファルト舗装



(b) 劣化処理していないアスファルト舗装  
写真—7 舗装表面の拡大写真



写真—8 屋外試験の状況

作の供試体の方が路面温度が高く、2018 年製作の供試体の方が路面温度が低いことがわかる。このことから、同じ条件下では経年劣化が進行した舗装の方が路面温度が低くなることが伺える。また、密粒アスファルト (図—2 の古・新 0%) と溶融スラグ混合アスファルト (図—2 の古・新 30%) と比較した場合、30 分まではほぼ同じ路面温度を示したが、90 分以後は溶融スラグ混合アスファルトの方が路面温度が高くなった。この傾向は劣化処理の有無によらず、同様の傾向を示している。以上のことから、屋外試験同様、溶融スラグの有無によって路面温度に差が現れる結果が得られた。

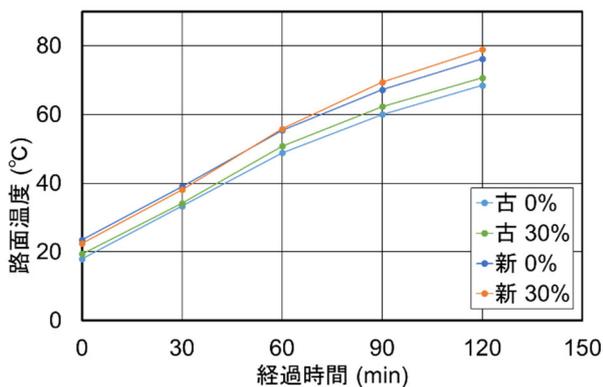


図-2 室内試験における路面温度

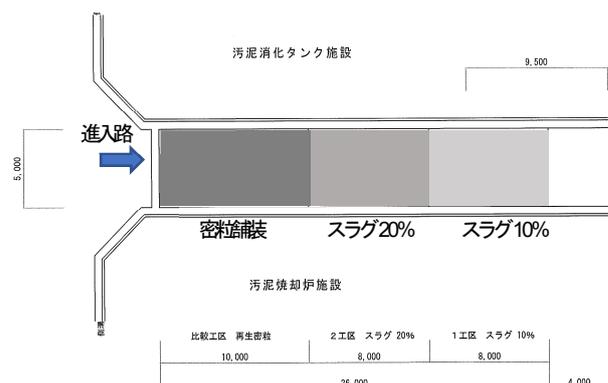


図-3 試験施工サイト平面図

### 3. 実証実験サイトにおける実測

#### 3.1 実証実験サイト概要

溶融スラグ混合アスファルトの実証実験<sup>6)</sup>として、2017年1月に明石市二見浄化センター内において、通常の密粒アスファルト、ゴミ溶融スラグを10%、20%混合したアスファルトの舗装を実際に施工した。図-3に実証実験現場の平面図を、写真-9には実証実験サイトの状況を示す。舗装面の幅員は5mで進入路から順に、密粒アスファルトを10m、スラグ混合率20%を8m、スラグ混合率10%を8m、全長26mの舗装を行った。進入路にある排水溝部分が最も傷みやすく、この部分を密粒アスファルトで舗装することにし、スラグ混合アスファルトよりも2m長く舗装し、排水溝から離れた部分をスラグ混合アスファルトとの比較検討箇所としている。



写真-9 試験施工サイト (手前が進入路)

表-2 実証実験サイトの路面明度

スラグ混合率	測定年				
	2017	2018	2019	2020	2021
0%	25.83	31.77	35.76	36.75	37.96
10%	27.23	31.09	34.33	34.96	35.84
20%	26.33	31.94	35.14	36.17	36.73

#### 3.2 舗装路面の色彩変化

2017年に敷設した後、定期的に路面明度を測定している。その結果を表-2ならびに図-4に示す。路面明度は色彩色差計(コニカミノルタ CR-300)を用いて、各工区について6点を測定し、L\*a\*b\*表色系で明度を表すL\*の平均値を算出して比較している。

明らかに路面明度は徐々に上昇しており、2017年には密粒アスファルトの路面明度が最も低い値であったが、2021年には最も高い値となった。しかしながら、溶融スラグ混合アスファルトの路面明度も上昇しており、溶融スラグ混合率が高いほど路面明度が上昇する傾向が見られた。路面明度の経時変化については今後も継続的に実測を続けていく予定である。

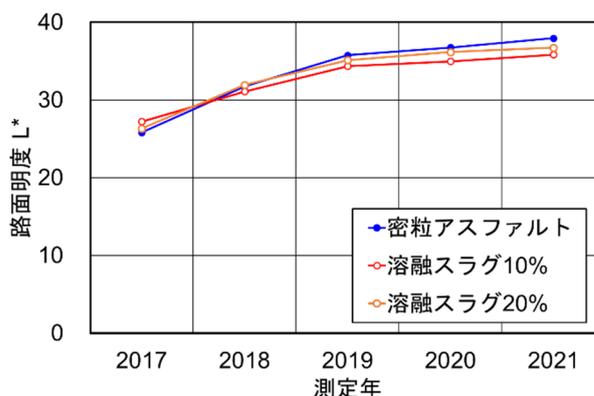


図-4 路面明度の経時変化

#### 3.3 路面温度実測結果

実証実験サイトにおける夏季路面温度の計測を2018年8月25日ならに2020年9月1日に実施

した。各工区 6 ヶ所において路面温度を非接触温度計で測定し、平均した値を路面温度とした。その結果を表-3 に示す。2018 年 8 月 25 日と 2020 年 9 月 1 日の明石市における最高気温はそれぞれ、31.5℃、34.6℃と条件が異なるため、直接比較はできないが、2018 年では溶融スラグ混合アスファルト（混合率 20%）、2020 年は密粒アスファルトの路面温度が最も高くなった。この様に、溶融スラグ混合アスファルトと密粒アスファルトの路面温度については明確な差が確認できなかった。

表-3 実証実験サイトの夏季路面温度

スラグ 混合率	路面温度（℃）	
	2018 年	2020 年
0%	37.3	55.1
10%	37.4	54.5
20%	38.8	53.9

#### 4. まとめ

本報告では舗装表面を人為的に劣化処理した溶融スラグ混合アスファルトの温度特性を屋外試験および屋内試験から検討するとともに、約 4 年前に実際に舗装した舗装についても夏季温度を測定した。その結果、屋外試験では経年劣化の影響は明確には見られなかったが、屋内試験では経年劣化を模擬した供試体で温度が低くなる傾向を示した。また、4 年が経過した実際の舗装では密粒アスファルトと溶融スラグ混合アスファルトの差が明確に見られなかった。

#### 9. 謝辞

本研究は、公益財団法人 昭瀝記念財団ならびに一般財団法人 日工記念事業団の研究助成を受けて実施した研究である。また、溶融スラグ混合アスファルトの実証実験に関しては明石市都市局下水道室の協力を受けている。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 鍋島・藤井・木和田：溶融スラグ混合アスファルトの夏季表面温度について，第 14 回北陸道路舗装会議技術論文集，六-②，2018.
- 2) 例えば，吉中，根本，幸田：透水性アスファルト舗装の車道への適用 に関する検討，土木学

会舗装工学論文集，Vol.5，pp.47～52，2000.

- 3) 国土交通省：溶融スラグの有効利用に係るガイドライン，<http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00097/k00910/kyoutuu/youyuusuragu.pdf>
- 4) 東京都環境局：東京都溶融スラグ資源化指針，2003.
- 5) 鈴木，板坂，槇野：ヒートアイランド対策用路盤材料としての廃ガラス発泡骨材の熱的・力学的特性，地盤工学ジャーナル，Vol.1, No.5, pp.85～93，2006.
- 6) 鍋島，藤井，木和田：ゴミ溶融スラグを混合したアスファルト舗装の実証実験について，第 32 回日本道路会議，No.3107，2016.