

## 論文 充填モルタルによるアスファルト舗装路面の温度制御

石黒 覚\*1・山中 正善\*2

**要旨:** カキ殻, ホタテ貝殻, サンゴ砂などを細骨材の代替としてセメントモルタルを作製し, これを開粒度アスファルト舗装に充填する方法により遮熱性舗装を構築した。その遮熱効果を調べるため, 室内照射試験により各種モルタルを充填したアスファルトおよび色の異なる各種コンクリートブロックの表面温度を測定した。表面温度は表面の色の影響が大きいこと, モルタルを充填した場合には明度が大きくなって遮熱効果を発揮することなどがわかった。試験舗装により夏季の路面温度を測定した結果, モルタルを充填したアスファルト舗装は, 密粒度アスファルト舗装に比べて路面の最高温度を 10℃以上低減できることを確認した。  
**キーワード:** 充填モルタル, 貝殻粉, 遮熱性舗装, 路面温度, 室内照射試験

### 1. はじめに

アスファルト舗装は, その色や材質から昼間の太陽光線を多く吸収し, 舗装内部まで高温となる。夏季の路面温度は 60℃以上になることもあり, 舗装の耐久性低下の一因となっている。また, 夜間には舗装内部に蓄積された熱が大気中に放出されるため, ヒートアイランド現象の一因ともなっている。このため, 夏季におけるアスファルト舗装の路面温度を低減することは, 舗装の耐久性向上ならびにヒートアイランド現象の緩和・抑制対策として有効と考えられる。

アスファルト舗装の夏季の路面温度を低減する方法として, 保水性舗装および遮熱性舗装が研究開発されている<sup>1)</sup>。保水性舗装は, ポーラスアスファルトの空隙に保水材を充填し, 舗装体内に保水された水分が蒸発し, 水の気化熱により路面温度の上昇を抑制する舗装である。路面温度が低下することで舗装表面からの輻射熱が減少し, 歩行者空間や沿道の熱環境が緩和されるほか, 一般の舗装よりも舗装内部の蓄熱量が低減されるため, ヒートアイランド現象の緩和が期待できる。一方, 遮熱性舗装は, 表面に近赤外線を高反射する特殊な遮熱性塗料を塗布, あるいはアスファルト混合物に混合して舗装表面に配置し, 舗装表面に到達する日射エネルギーのうち近赤外線を高効率で反射し, 舗装への蓄熱を防ぐことによって路面温度の上昇を抑制する舗装である。

本研究では, カキ養殖やホタテ養殖の副産物であるカキ殻やホタテ貝殻などを有効活用し, 貝殻粉を細骨材の代替として用いたセメントモルタルを開粒度アスファルト舗装に充填し, 遮熱性と保水性を付与することにより, 夏季の路面温度を低減することを目的としている。三重県ではカキ養殖が盛んでカキ殻の排出量も多い。一部分はカキ殻石灰として有効利用が行われているが, さらなる有効利用が望まれている。写真-1はカキ殻石灰の製造工場敷地に集積したカキ殻の状況であり, 製造したカキ殻石灰は土壤改

良材として利用されている。著者らは, これまでにこのカキ殻石灰を利用し, カキ殻粉入りセメントモルタルの特性, 室内照射試験および試験舗装による路面温度の測定を行い, カキ殻粉を用いた場合の温度低減効果について報告した<sup>2)</sup>。本研究では, カキ殻以外にホタテ貝殻, サンゴ砂などの天然資源を細骨材の代替として利用し, これらのセメントモルタルを開粒度アスファルト舗装の上部に充填する方法により遮熱性舗装を構築した(図-1)。これらの遮熱性舗装の遮熱効果を評価するため, まず, 室内照射試験により, セメントモルタルを充填したアスファルト供試体および色の異なる各種コンクリートブロックの表面温度を測定して比較した。つぎに, 試験舗装による夏季の路面温度の測定を行い, 貝殻粉などのセメントモルタルを充填した舗装と



写真-1 カキ殻の集積状況 (三重県鳥羽市)

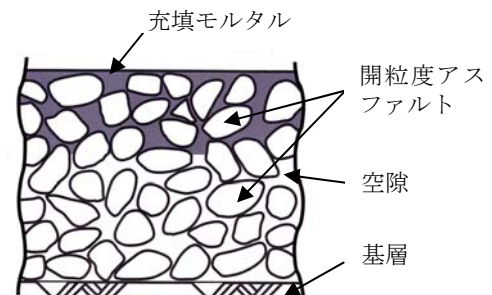


図-1 遮熱性舗装の構造

\*1 三重大学 生物資源学研究科教授 農博 (正会員)

\*2 朝日土木(株) 常務取締役 伊勢営業所所長

密粒度アスファルト舗装の路面温度を比較し、その遮熱効果を評価した。また、施工直後、1年および2年経過した遮熱性舗装について遮熱効果の経年変化を調べた。

## 2. 室内照射試験による遮熱効果の評価

### 2.1 供試体の種類

室内照射試験は、色の異なる市販のコンクリートブロック（寸法 30×30×6cm）と試験舗装と同じ厚さのアスファルト供試体（寸法 30×30×5cm）を対象に行った。表-1 は供試体の種類と概要を示したものであり、コンクリートブロック A~I の表面の色は、製品のカタログから引用した。供試体 J は実験室で作製した。それらの外観を写真-2 に示す。供試体 K および L は密粒度および開粒度アスファルト、M~Q は開粒度アスファルト（最大粒径 20mm）に貝殻粉入りモルタルを充填したものである。ここでは、粒径 2mm 以下に粉砕したカキ殻粉、ホタテ貝殻粉（市販の種類 A および B）、アコヤ貝殻粉（実験室で貝殻を粉砕して製造）について試験した。供試体 R は沖縄県産のサンゴ砂（2.5mm フルイを通過したもの）を用いて作製した。なお、充填モルタルの配合は貝殻粉とセメントの質量比で 2:1（ホタテ貝殻粉 B については 2:1 と 1:1 の 2 種類）とし、モルタルのフロー値が 180mm 程度になるように水量を加減した。このセメントモルタルを供試体表面に敷きならし、コテ型バイブレータを用いて上面から空隙部にモルタルを充填させた。充填後約 7 日で研磨機を用いて表面を研磨し、その後室内に 28 日以上放置してから照射試験を行った。写真-2 の Q は研磨後の供試体表面を示しており、骨材の色と充填モルタルの白色により濃淡の模様を呈している。

表-2 は充填モルタルの配合と圧縮強度を示す。圧縮強度試験には φ5×10cm の円柱供試体を使用した。セメントとして普通ポルトランドセメントを使用し、ここでは表面研磨を行った材齢 7 日の強度を測定した。モルタルのフロー値を同程度とするための水セメント比 (W/C) は、細骨材の種類や細骨材とセメントの質量比などにより異なり、圧縮強度は W/C が小さいほど大きくなった。サンゴ砂は粒子形状が比較的丸く、微粒子も少ないため、モルタルの W/C は小さくなり圧縮強度は増大した。一方、カキ殻粉は粒子形状が扁平で複雑であり、かつ微粒子が多いことが W/C 増大の一因となっている<sup>2)</sup>。ホタテ貝殻粉やアコヤ貝殻粉についてもカキ殻粉と同様の原因で W/C が増大したと推測される。

### 2.2 明度の測定

供試体の明度を定量的に評価するため、色彩色差計を用いて供試体表面の色を測定した。表-1 の明度は  $L^*a^*b^*$  表色系の  $L^*$  の測定値を示している。 $L^*$  は明度を表し、0.0 から 100.0 までの値となり、0.0 が真っ黒、100.0

表-1 室内照射試験に用いた供試体の種類

種類	区分	表面の色、概要	明度
A	コンクリートブロック	グレー (G1)	42.0
B		グレー (G2)	51.1
C		グレー (G3)	74.4
D		グレー、 ポーラスモルタルの上に被覆	56.2
E		オレンジ	59.6
F		グリーン	55.0
G		ブライト	62.8
H		濃いグレー	42.5
I		イエロー	66.4
J		ポーラスモルタルの上にカキ殻粉入りモルタルを厚さ 1cm で被覆	75.1
K	アスファルト	密粒度アスファルト	18.8
L		開粒度アスファルト	14.8
M		ホタテ貝殻粉(種類 A)入りモルタル (配合 2:1) を充填	72.8
N		ホタテ貝殻粉(種類 B)入りモルタル (配合 2:1) を充填	76.6
O		ホタテ貝殻粉(種類 B)入りモルタル (配合 1:1) を充填	64.7
P		アコヤ貝殻粉入りモルタル (配合 2:1) を充填	68.9
Q		カキ殻粉入りモルタル (配合 2:1) を充填	73.6
R		サンゴ砂モルタル (配合 2:1) を充填	70.7



写真-2 コンクリートブロック (A~J) の外観およびカキ殻粉入りモルタル充填供試体 (Q) の表面の模様

表-2 充填モルタルの配合および強度

種類	使用細骨材	細骨材とセメントの質量比	水セメント比 W/C	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
I	ホタテ貝殻粉 A	2:1	1.6	5.43
II	ホタテ貝殻粉 B	2:1	1.1	9.39
		1:1	0.87	14.1
III	アコヤ貝殻粉	2:1	1.1	7.06
IV	カキ殻粉	2:1	1.1	10.2
V	サンゴ砂	2:1	0.58	27.1

が真っ白を意味する。なお、明度は供試体表面の5か所で測定した平均値を表す。貝殻粉を充填した供試体 M~Q の明度 (64.7~73.6) は、密粒度および開粒度アスファルト供試体 K および L の明度 (18.8, 14.8) に比べて増大し、明るくなっていることが定量的にも評価できる。

### 2.3 試験方法

室内照射試験の概要を図-2に示す。使用したランプの種類はビームランプ散光型 (110V 150W), 供試体表面からランプまでの距離 66cm, 室温 25~26°C, 照射時間 3 時間, 計測時間は照射開始から約 15 時間とした。供試体は、厚さ 5cm の発泡スチロールで底面と側面を覆って断熱処理を施した。表面温度は非接触温度センサを用いて 20 秒間隔で計測した。

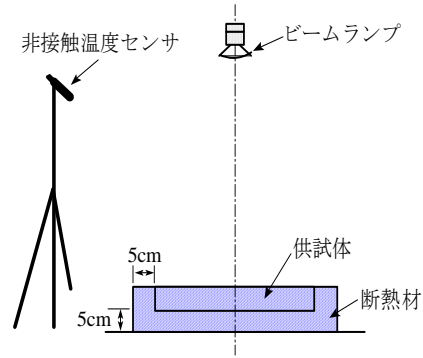


図-2 室内照射試験の概要

### 2.4 試験結果

コンクリートブロックおよびアスファルト供試体の計測結果の一例をそれぞれ図-3および図-4に示す。これらの計測結果の曲線は平滑化処理したものを表す。表面温度はランプ照射中の3時間までは急激に上昇し、その後は放熱に伴って徐々に室温まで低下している。

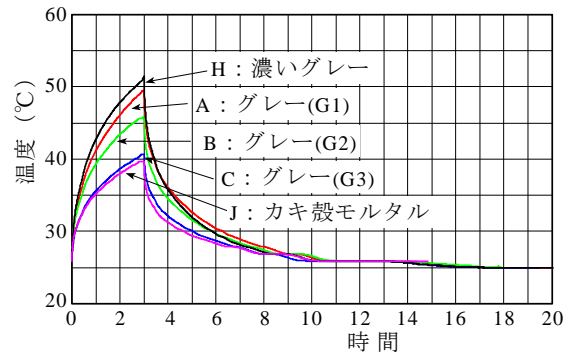


図-3 コンクリートブロックの計測結果の一例

室内照射試験による最高表面温度の比較を図-5に示す。コンクリートブロックにおいて供試体 C (明るいグレー) と H (濃いグレー) の最高表面温度は 40.7°C および 51.5°C となり、10°C 以上の表面温度差がみられた。このような表面温度の差異は、表面の色の違いの影響が大きいと考えられる。グレー系供試体において最高温度の大小の傾向は、明度の測定結果と比較的よく対応している。つまり、明度が大きいほど最高温度は低下した。供試体 J はカキ殻粉入りモルタルを表面に被覆したもので、表面の色が白くなり、光線の反射率が大きくなるため、最高表面温度は 39.7°C で最も低かった。

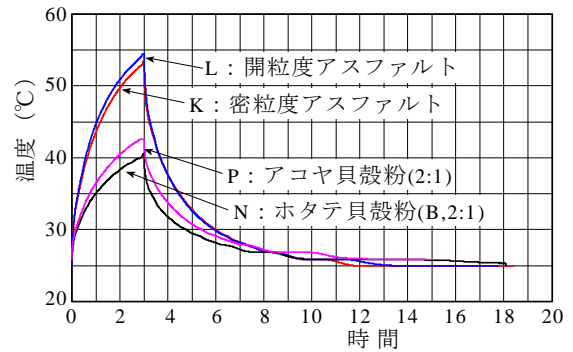


図-4 アスファルト供試体の計測結果の一例

アスファルト供試体 K および L の最高表面温度は 53.5°C および 54.4°C となり、これは色が黒いことにより反射率が小さくなって熱の吸収が大きいためと思われる。一方、開粒度アスファルトにホタテ貝殻粉とカキ殻粉入りモルタルを充填した N および Q の最高温度は 40.7°C および 40.6°C となり、アスファルト供試体 K および L に比べて 10°C 以上の表面温度の低下が認められた。これら貝殻粉入り供試体 N および Q の最高温度は、コンクリートブロック C とほぼ同じであり、その他の市販コンクリートブロックより小さくなっており、モルタル充填による温度低減効果は大きいといえる。サンゴ砂モルタルを充填した供試体 R でも貝殻粉と同様の効果が認められた。

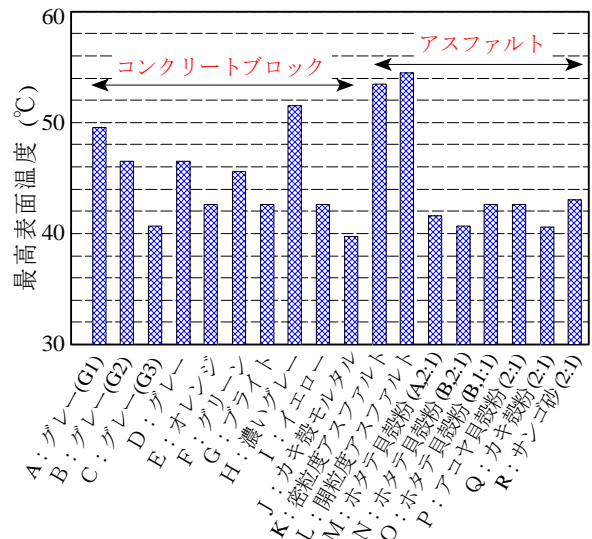


図-5 室内照射試験による最高表面温度の比較

本試験結果から、貝殻粉入りモルタルの充填は、遮熱性の付与に有効であることが確認できた。ここでは供試体の比熱や熱伝導率などの熱物性の影響を考慮していないが、明度つまり反射率と表面温度が良く対応していることから、色の影響が大きいとして試験結果を考察した。

### 3. 試験舗装による遮熱効果の評価

#### 3.1 試験舗装の概要

試験舗装は2011年7月上旬に大学内の敷地で施工した。試験舗装の平面図を図-6に示す。現地では平坦なコンクリート地面に厚さ10cmで粒調碎石を敷き、その上に1.5×1.5mの試験舗装区間が複数設置できるようにアスファルト舗装を施工した。試験舗装区間は、図-6に示すように、①密粒度アスファルト区間、②開粒度アスファルト区間(最大粒径20mm骨材)、③カキ殻粉モルタル充填区間(13mm骨材)、④カキ殻粉モルタル充填区間(20mm骨材)、⑤ホタテ貝殻粉モルタル充填区間(20mm骨材)、⑥サンゴ砂モルタル充填区間(20mm骨材)の6区間とした。舗装区間の周囲は角材で区切り、幅0.3mの部分を土砂で充填した。舗装の厚さはすべて5cmである。また、図中の6か所の温度測定位置において、コンクリート地面ならびに舗装下面の位置に温度測定用の熱電対を埋設した。

充填モルタルはカキ殻粉、ホタテ貝殻粉(種類B)、サンゴ砂を細骨材として使用した。細骨材とセメントの比率が2:1のものを現地で練り混ぜ、それらのモルタルを開粒度アスファルト上面に敷きならし、振動ローラーを用いて空隙に充填させた。充填後7日以上経過してから表面の研磨処理を行った。

#### 3.2 路面温度の測定結果

路面温度の測定は2011年8月中旬の晴天日に実施した。温度は、コンクリート地面、舗装下面、舗装表面について測定した。なお、舗装表面の温度は熱電対先端を表面部に埋め込んで測定した。路面温度以外に気温、相対湿度、日射、風速などについて、データロガーを用いて1分間隔で測定した。

密粒度アスファルト区間の温度測定結果を図-7に示す。測定期間中ほぼ毎日、表面の最高温度は60℃以上となった。舗装下面やコンクリート地面の温度は、表面温度のピークから少し遅れてピークに達し、表面に比べて緩やかな温度変化を繰り返している。

図-8は各区間の舗装表面の温度測定結果を示す。舗装表面の温度は、①密粒度アスファルト区間、②開粒度アスファルト区間、⑥サンゴ砂モルタル充填区間、④カキ殻粉モルタル充填区間(13mm骨材)、③カキ殻粉モルタル充填区間(20mm骨材)、⑤ホタテ貝殻粉モルタル充填区間の順番に高くなった。カキ殻粉モルタル充填区間(13mm骨材)と(20mm骨材)ではほとんど差はなかった。また、同図には最も表面温度が高くなった密粒度アスファルト路面との温度差を示している。この結果によると、ホタテ貝殻粉入りモルタルを充填した区間は、密粒度アスファルト区間に比べて13~14℃低下し、その他のモルタル充填区間においても10℃以上の低下がみ

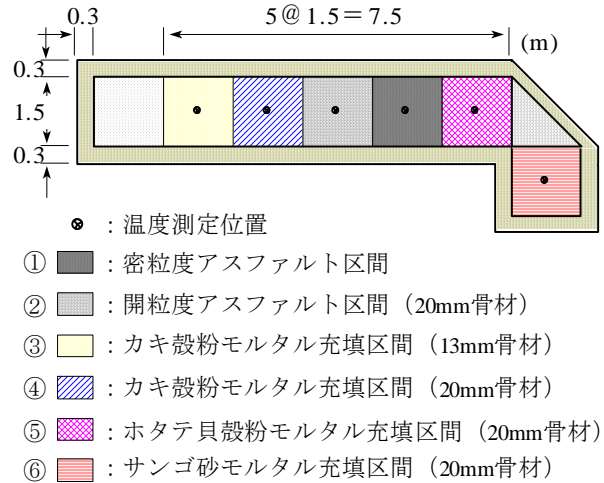


図-6 試験舗装の平面図

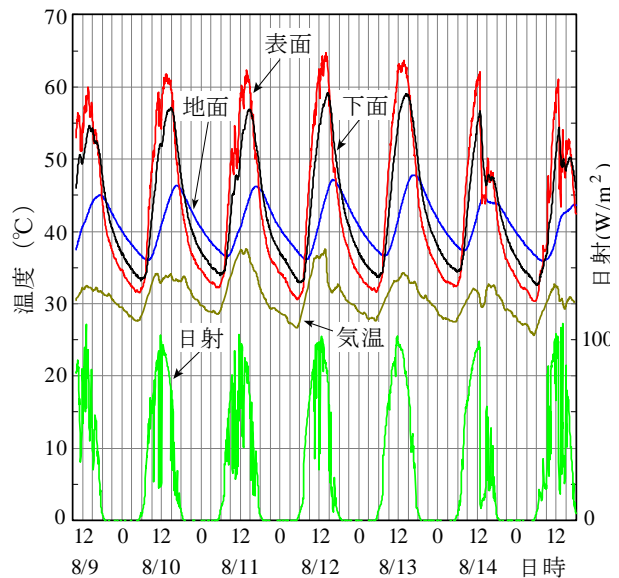


図-7 密粒度アスファルト区間の温度測定結果

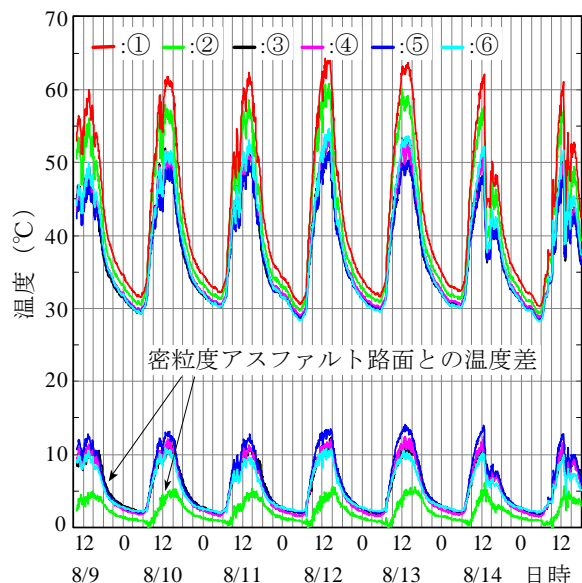


図-8 各区間の舗装表面の温度測定結果

られた。貝殻粉などを混入したモルタルの充填は、表面の明度が増加して日射の反射率が大きくなり、夏季のアスファルト舗装の路面温度低減に大きな効果のあることを示している。

著者らは既報において、密粒度アスファルト舗装とカキ殻粉入りモルタル充填舗装の近赤外線（780-2500nm）の分光反射率を測定し、それぞれ 0.05~0.11 および 0.55~0.7 となることを報告した<sup>2)</sup>。また、色彩色差計を用いて同じ供試体の表面色を測定した結果、明度（L\*）は前者で 21.5、後方で 72.5 となり、明度が増加して明るくなると日射反射率は大きくなることが確認できた。

図-9は各区間の舗装下面の温度測定結果を示す。下面の温度変化は表面と同様の傾向を示しており、ホタテ貝殻粉入りモルタルを充填した区間の最高温度は、密粒度アスファルト区間に比べて約 10℃低下し、その他のモルタル充填区間においても低減効果がみられた。貝殻粉入りモルタルを充填した場合、舗装表面と下面の温度上昇が抑制され、舗装内部の蓄熱量が低減されるため、ヒートアイランド現象の緩和にも有効と考えられる。

### 3.3 遮熱効果の経年変化

2009年7月上旬に施工されたカキ殻粉入りモルタル充填の遮熱性舗装について、路面温度の経年変化を測定した。施工後、この舗装区間は駐車場として使用されており、その平面図を図-10に示す<sup>2)</sup>。舗装は既設アスファルト舗装を処理した基層上に厚さ5cmで施工し、幅3m、長さ30mの表面処理法の異なる遮熱性舗装区間（最大粒径20mm骨材）とその周囲に幅1.5mの密粒度アスファルト区間を設けた。路面温度は、図中の温度測定位置において深さ2.5cm、5cmの位置に熱電対を埋設し、舗装表面では熱電対を接着剤で取り付けて測定した。

2009年8月中旬の晴天日における舗装表面の温度測定結果を図-11に示す。遮熱性舗装区間の昼間の最高表面温度は、密粒度アスファルト区間に比べて約12℃低下した。また、夜間においても表面温度は2~4℃低下した。なお、測定日における相対湿度は、昼間で約50%、夜間で85%程度になり、昼間の風速は1.2~2.8m/secであった。

2010年8月下旬における舗装表面の温度測定結果を図-12に示す。この結果によると、遮熱性舗装区間の昼間の最高表面温度は、密粒度アスファルト区間に比べて最大で約10℃低下した。また、夜間においても表面温度は1~2℃低下した。前年度の測定結果と比較すると、カキ殻粉入りモルタル充填舗装と密粒度アスファルト舗装との夏季の温度差は若干小さくなっている。これは密粒度アスファルト舗装の表面色が、施工直後の黒色から経年変化して明度が大きくなったことやカキ殻粉入りモルタル充填舗装の表面色の変化などの影響が考えられる。施工後1年において最高温度は最大で約10℃低下してお

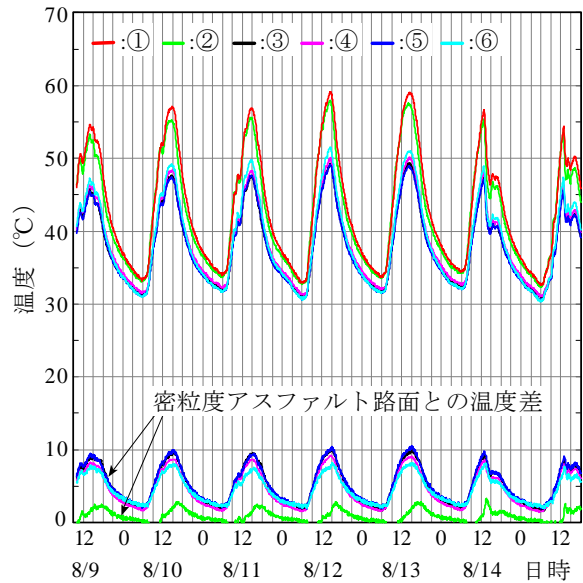


図-9 各区間の舗装下面の温度測定結果

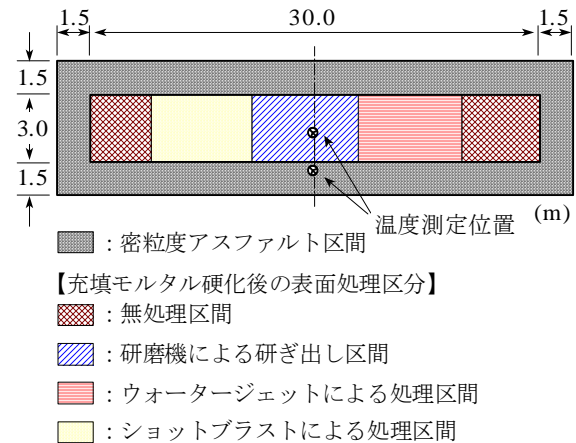


図-10 カキ殻粉入りモルタルを充填した舗装（2009年7月施工）の平面図<sup>2)</sup>

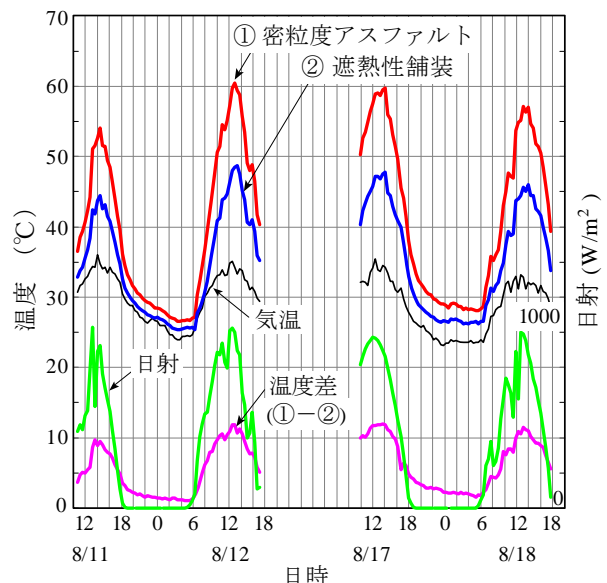


図-11 舗装表面の温度測定結果（2009年8月）

り、舗装の遮熱効果は維持されているといえる。

2011年8月末および9月中旬における舗装表面の温度測定結果を図-13に示す。遮熱性舗装区間の昼間の最高表面温度は、密粒度アスファルト区間に比べて最大で約8~9℃低下した。前年度の測定結果に比べるとこの値は若干低下している。これは測定日が前年度に比べて遅いために気温が比較的低かったためと思われる。

夏季に撮影した舗装表面の熱画像を写真-3に示す。調査対象区間(図-10の研磨機による研ぎ出し区間、写真中の点線内範囲)においては、周囲の密粒度アスファルト区間に比べて表面温度が低くなり、遮熱効果が維持されている。隣接するウォータージェットとショットブラスト区間では、表面処理時およびその後に充填モルタルが飛散したため遮熱効果は小さくなっている。

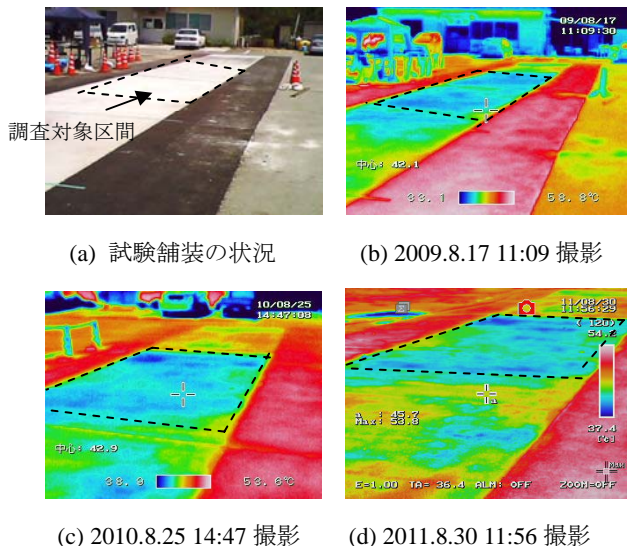


写真-3 夏季の舗装表面の熱画像

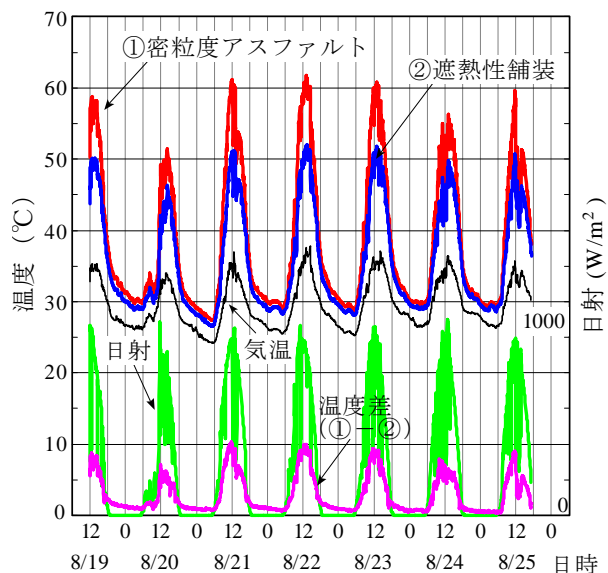


図-12 舗装表面の温度測定結果 (2010年8月)

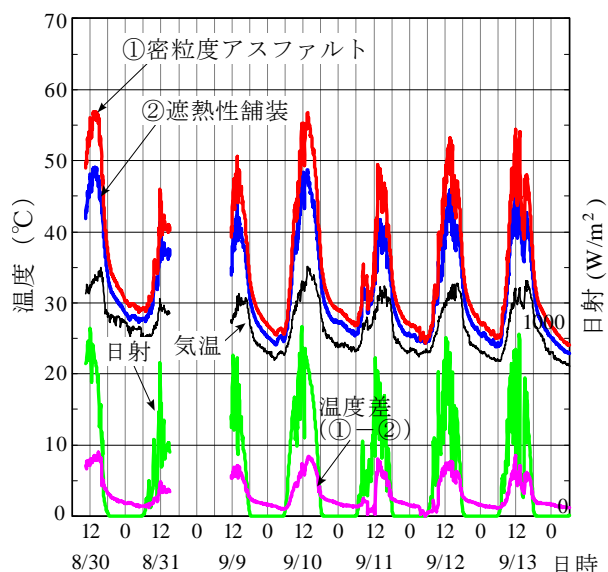


図-13 舗装表面の温度測定結果 (2011年8,9月)

#### 4. まとめ

本研究では、カキ殻、ホタテ貝殻、アコヤ貝殻、サンゴ砂などを細骨材の代替として利用し、このセメントモルタルを開粒度アスファルト舗装に充填する方法により遮熱性舗装を構築した。その遮熱効果を検討した結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 室内照射試験により各種モルタルを充填したアスファルト供試体および色の異なる各種コンクリートブロックの最高表面温度を比較した結果、表面温度は表面の色の影響が大きいこと、モルタルを充填した舗装は表面が白色となり、光線の反射率が增大して遮熱効果が大きくなることなどを確認した。
- 2) 試験舗装により夏季の路面温度を測定した結果、モルタルを充填したアスファルト舗装は、密粒度アスファルト舗装に比べて路面の最高温度を10℃以上低減できることがわかった。
- 3) カキ殻粉入りモルタルを充填した舗装について、施工直後、1年および2年経過後の温度測定を行った結果、密粒度アスファルト舗装との温度差は経年的に小さくなったものの遮熱効果を維持していることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会 舗装委員会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック，丸善，2009.6
- 2) 石黒 覚，山中正善：カキ殻粉入りモルタルを活用した遮熱性舗装の研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，p.1367-1372，2010.6
- 3) 土木学会 舗装工学委員会：環境負荷軽減舗装の評価技術，土木学会，2007.2