

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580329

研究課題名(和文) 地域資源を活用したヒートアイランド現象抑制型舗装の研究

研究課題名(英文) Study on the heat reflecting pavement to reduce heat island effect using local resources

研究代表者

石黒 覚 (Ishiguro, Satoru)

三重大学・生物資源学研究科・教授

研究者番号：30137244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：カキ殻、ホタテ貝殻、サンゴ砂、陶磁器、ガラスカレット、カワラ廃材などのリサイクル材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の上部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、試験舗装を施工して夏季の路面温度を測定した。この結果、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 程度低減できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The developed heat reflective pavements are constructed from open-graded asphalt concrete in which voids in the upper part of the pavement are filled with a cement mortar containing recycled materials such as oyster shell lime, scallop, coral sand, pottery debris, glass cullet, or roof tile debris. The temperature reduction of the pavement surfaces at an open site was evaluated experimentally by taking measurements in summer. The results show that the maximum surface temperature of the pavements fell by about 10 degrees compared with that of an asphalt concrete pavement.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：遮熱性舗装 路面温度 リサイクル材 充てんモルタル

1. 研究開始当初の背景

夏季のヒートアイランド現象は、熱帯夜の増加といった住環境の問題にとどまらず、都市部に局地的な集中豪雨を誘発するともいわれている。このため、わが国でも、近年、地球温暖化とともにヒートアイランド現象の対策が急務となっている。

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て舗装深部まで高温となる。また、夜間には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大きな原因の一つになっている。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、ヒートアイランド現象の抑制対策としても非常に有効である。

2. 研究の目的

水産業の副産物であるカキ殻、ホタテ貝殻、沖縄で多量に産出するサンゴ砂などの地域資源、これらに加えて、三重県内の工場で再生されたガラスカレット、陶磁器およびカワラ廃材などのリサイクル材も有効活用し、これらを細骨材として用いたモルタルを開発した。これらのモルタルを開粒度アスファルト舗装に充填して遮熱性や保水性を付与し、普通アスファルト舗装（密粒度アスファルト舗装）に対して、夏季の舗装路面の温度上昇を抑制し、ヒートアイランド現象の抑制に寄与する遮熱性舗装の構築を目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、主に以下の3つの内容について室内および屋外試験等を実施した。

- (1)カキ殻粉、ホタテ貝殻粉、サンゴ砂、リサイクル材に関する材料試験およびそれらを細骨材としたモルタルの強度・物性の評価
- (2)室内照射試験によるアスファルト舗装の遮熱特性の評価
- (3)試験舗装の施工および舗装路面の夏季の温度低減効果の確認
- (4)路面の滑り抵抗性の評価

表1 モルタルの強度試験結果の一例

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 ²)
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

4. 研究成果

(1) モルタルの強度・物性の評価

粒径 2mm 以下に粉碎したカキ殻粉、ホタテ貝殻粉（市販の種類 A および B）、アコヤ貝殻粉（実験室で貝殻を粉碎して製造）について試験した。サンゴ砂モルタルは、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。

表1はモルタルの強度試験結果の一例を示す。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、ここでは充てん後に表面研磨を実施する材齢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。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 が増大することがわかった。

(2) 室内照射試験による遮熱性の評価

室内照射試験の概要を図1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℃、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。

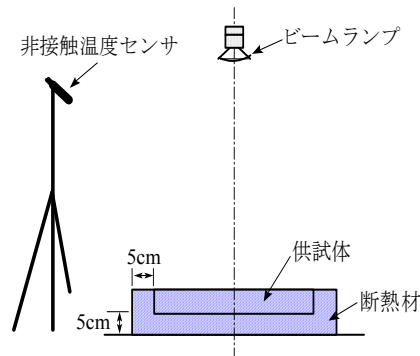


図1 室内照射試験の概要

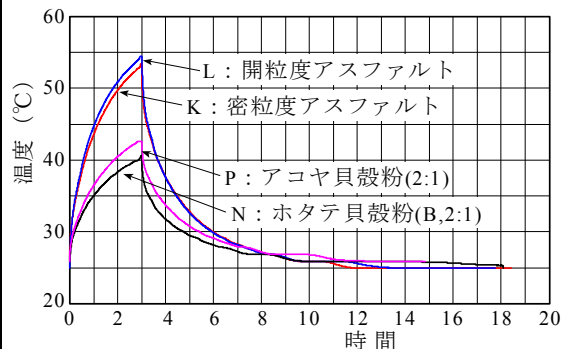


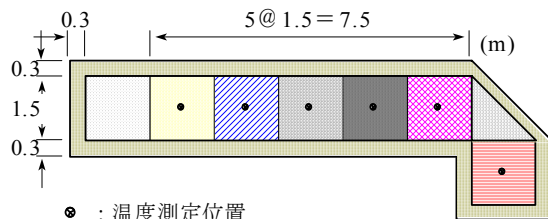
図2 室内照射試験結果の一例

室内照射試験は、試験舗装と同じ厚さのアスファルト供試体(寸法 30×30×5cm)を対象にして行った。供試体作成時には、充てん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。充てん後約 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。

図 2 のように、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する。アスファルト供試体 K および L の最高表面温度は 53.5℃および 54.4℃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ことによる。一方、開粒度アスファルトにホタテ貝殻粉とアコヤ貝殻粉入りモルタルを充填した N および P の最高温度は 40.7℃および 43℃となり、アスファルト供試体 K および L に比べて 10℃以上の表面温度の低下が認められた。

(3) 夏季の路面温度低減効果

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 3 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、同図に示すように、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 の外周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。



- : 温度測定位置
- ① : 密粒度アスファルト区間
- ② : 開粒度アスファルト区間 (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)

図 3 試験舗装の平面図

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。

路面温度の測定は 2011 年 8 月中旬の晴天日に実施し、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。

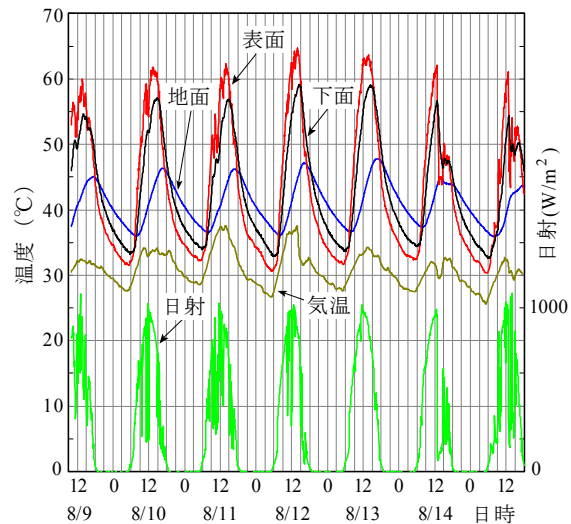


図 4 密粒度アスファルト区間の測定結果

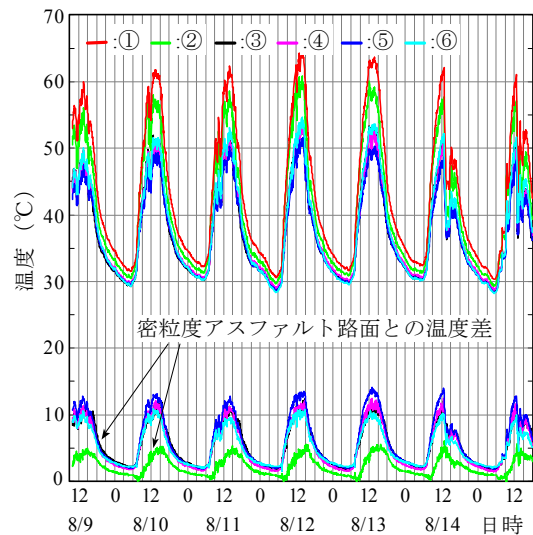


図 5 各区間の表面温度の測定結果

密粒度アスファルト区間の温度測定結果を図 4 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 5 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が明らかになった。

各区間の舗装下面の温度測定結果については図示していないが、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。

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 2 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 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た。

表 2 供試体の種類および明度

種類	区分	表面の色, 概要	明度
K	ア ス フ ア 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

2012 年 6 月、開粒度アスファルト (図 3 の②区間、2011 年 7 月施工) 区間において、

ガラス、陶磁器、カワラなどのリサイクル骨材モルタルの充てん区間、川砂モルタルの充てん区間(それぞれ 0.75×0.75m)を施工し、それぞれの区間中央に熱電対を埋め込んだ。同年 7 月下旬から、これらの区間および 1 年前に施工した密粒度アスファルトおよびカキ殻モルタル充てん区間 (それぞれ 1.5×1.5 m) の表面温度を測定した。

- A:カワラ骨材モルタル区間(0.75×0.75 m)
- B:川砂モルタル充てん区間(0.75×0.75 m)
- C:陶磁器骨材モルタル区間(0.75×0.75 m)
- D:ガラス骨材モルタル区間(0.75×0.75 m)
- E:かき殻モルタル充てん区間(1.5×1.5 m)
- F:密粒度アスファルト区間(1.5×1.5 m)

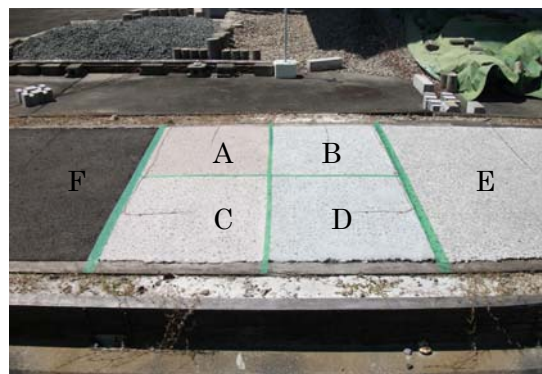


写真 1 リサイクル骨材モルタルおよび川砂モルタルを充てんした試験舗装区間

2012 年 7 月 24 日午前 6 時から 29 日午後 6 時までの屋外試験の温度変化を図 6 に示す。密粒度アスファルトに対する温度低減は陶磁器骨材区間 9.2~10℃、ガラス骨材区間 8.9~9.7℃、カワラ骨材区間 8~8.8℃、川砂モルタル区間 8.2~8.9℃であった。これらの結果から、リサイクル骨材モルタルを充てんした場合においても、夏季の路面温度の低減効果のあることが確認できた。

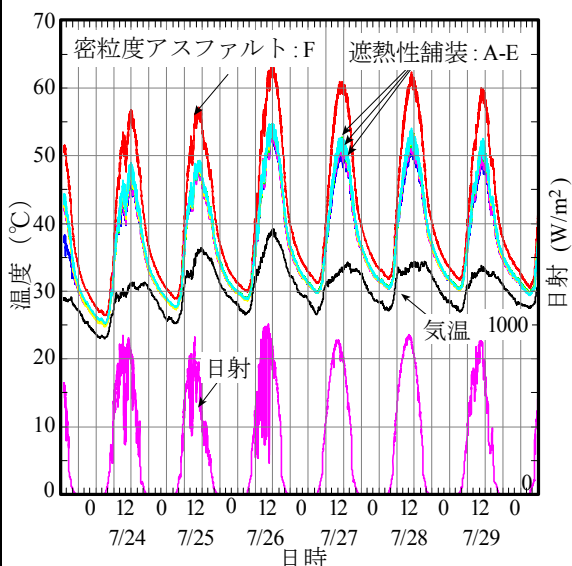


図 6 各区間の表面温度の測定結果

表3は、実験に用いたガラスカレット、陶磁器くず、カワラ廃材、川砂およびかき殻の粒径、ならびにそれらを用いた充てんモルタルの配合と圧縮強度(材齢7、28日)を示す。

表3 リサイクル骨材、川砂の粒径と充填モルタルの配合および強度

骨材の種類	粒径 (mm)	W/C (%)	骨材セメント比	圧縮強度 (MPa)	
				7日	28日
カワラ	0-3	95	2:1	16.1	25.9
川砂	0-5	50	2:1	32.9	44.3
陶磁器	0-3	83	2:1	17.0	27.0
ガラス	0-2.5	55	2:1	24.3	35.9
かき殻	0-2	110	2:1	6.97	9.61

(4) 路面の滑り抵抗性の評価

路面の滑り抵抗を ASTM E 303 (Standard Test Method For Measuring Surface Frictional Properties Using The British Pendulum Tester) に基づく試験器 (ポータブルスキッドレジスタンス試験器) を用いて測定した。表4に試験結果を示す。すべての路面のすべり抵抗値 (BPN) の値は、基準 (例えば、高速道路などで55以上、坂道やロータリーで65以上) の値を上回っている。

表4 すべり抵抗値 (BPN)

遮熱性舗装区間					密粒度アスファルト区間
A	B	C	D	E	F
73	80	77	77	79	86

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

- ① Mohammad Raihanul ISLAM and Satoru Ishiguro, Study on physical properties and usability of some selected recycled fine aggregate, Proceedings of third international conference - GEOMAT2013, geotechnique, construction materials and environment, 査読有, 2013, pp.406-409
- ② Satoru Ishiguro and Masayoshi Yamanaka, Heat control of pavement surface temperature using recycled materials, Proceedings of third international conference on sustainable construction materials and technologies, 査読有, 2013, CD

- ③ 石黒覚、山中正義、充填モルタルによるアスファルト舗装路面の温度制御、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol 1、2012、pp.1384-1389

- ④ Satoru Ishiguro and Masayoshi Yamanaka, Heat control of pavement surface temperature using oyster shell lime, Proceedings of first international conference - GEOMAT2011, geotechnique, construction materials and environment, 査読有, 2011, pp.353-356

[学会発表] (計 4件)

- ① 名倉有香、I. M. Raihanul 石黒覚、山中正義、副産物を利用した環境負荷低減型モルタルの強度特性、農業農村工学会京都支部研究発表会、2013年11月13日、京都テルサ (京都府京都市)

- ② Mohammad Raihanul ISLAM and Satoru Ishiguro, Study on usability of some selected recycled fine aggregate, 平成25年度農業農村工学会大会講演会、2013年9月3日～2013年9月5日、東京農業大学世田谷キャンパス (東京都世田谷区)

- ③ 佐藤咲乃、石黒覚、岡島賢治、山中正義、地域のリサイクル材を活用した遮熱性舗装の温度低減効果、農業農村工学会京都支部研究発表会、2012年11月21日、新潟ユニゾンプラザ (新潟県新潟市)

- ④ 石黒覚、山中正義、充填モルタルによるアスファルト舗装路面の温度制御、コンクリート工学年次大会、2012年07月04日～2012年07月06日、広島国際会議場 (広島県広島市)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)
○取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石黒 覚 (ISHIGURO, Satoru)
三重大学・大学院生物資源学研究所・教授
研究者番号：30137244