

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450340

研究課題名(和文) 廃棄物を再利用した遮熱性を有する景観舗装の研究

研究課題名(英文) Study on Pavement with Heat-Blocking and Appearance Using Recycled Materials

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：開粒度アスファルトの上部空隙にリサイクル材料を細骨材としたモルタルを充填し、遮熱性と景観性を付与する舗装工法について研究した。本研究では、リサイクル材料として破碎したかき殻、廃瓦、陶磁器屑、ガラス廃材、ホタテ殻、サンゴ砂などを利用した。夏季の路面温度上昇に対する抑制効果に着目し、舗装供試体のランプ照射試験を行った。その結果、モルタルを充填する本工法においては舗装表面の明度が明るくなり、温度上昇量はアスファルト舗装に比べて10℃以上低下した。

研究成果の概要(英文)：The developed heat-blocking pavements are constructed from open-graded asphalt concrete in which voids in the upper part of the pavement are filled with a mortar containing recycled materials as a fine aggregate. The recycled materials such as crushed oyster shell, roof tile debris, pottery debris, glass cullet, crushed scallop and coral sand were prepared for filling mortars in this study. The temperature reduction of the pavement surfaces was evaluated experimentally by the lamp irradiation test of the specimens. The results show that the maximum surface temperature of the pavements fell over 10°C compared with that of an asphalt concrete pavement.

研究分野：コンクリート材料

キーワード：遮熱性舗装 リサイクル材料

1. 研究開始当初の背景

アスファルト舗装は、一般にその色が黒いため、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一因ともいわれている。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ができれば、ヒートアイランド現象の緩和に有効と考えられる。また、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だけでなく、都市部において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おり、有効な対策工法が求められている。

2. 研究の目的

廃棄物である廃瓦、陶磁器屑、ガラス廃材などの破碎・粒度調整したものをコンクリート用の細骨材として有効活用する。これらを用いたモルタルを開粒度アスファルト舗装表面に充填して遮熱性と景観向上の機能を付与することを目的としている。

本研究の方法により、一般のアスファルト舗装(密粒度アスファルト舗装)に比較して、夏季の舗装路面の温度上昇を抑制でき、また、持続可能社会の構築に向けて、資源の有効利用・リサイクルの推進にも貢献できる。

3. 研究の方法

(1) 使用材料

破碎した廃瓦(粒径 3mm 以下)、陶磁器屑(粒径 3mm 以下)、ガラス廃材(粒径 2.5mm 以下)、かき殻(粒径 2mm 以下)、ホタテ殻(粒径 2mm 以下)、サンゴ砂(粒径 2.5mm 以下)などをモルタルの細骨材として利用した。写真1は、これら材料の外観を示している。

(2) 供試体の作製

開粒度アスファルト供試体(最大骨材粒径 20mm、寸法 30×30cm、厚さ 5cm)の上面空隙にモルタルを充填し、モルタル硬化後に表面を研磨して模様や色が現れるようにした。写真2は、各種材料のセメントモルタルを充填した各種舗装表面の色と模様を示している。

図1は、モルタルを充填した供試体の状況を表している。供試体の上部にはモルタルが充填され、中・下部には空隙が存在した状態となっている。

(3) ランプ照射試験

本研究では、供試体を用い、室内におけるランプ照射試験により表面温度上昇量を測定した。

室内におけるランプ照射試験の概要を図2に示す。室温は 29°C、ランプの照射時間を3時間とし、照射終了後において約 12 時間測定を行った。使用ランプはビームランプ散光型(110V 150W)、供試体表面からランプま



写真1 細骨材として用いた各種材料
1)かき殻、2)廃瓦破砕材、3)陶磁器屑破砕材、
4)ガラス破砕材、5)ホタテ殻、6)サンゴ砂

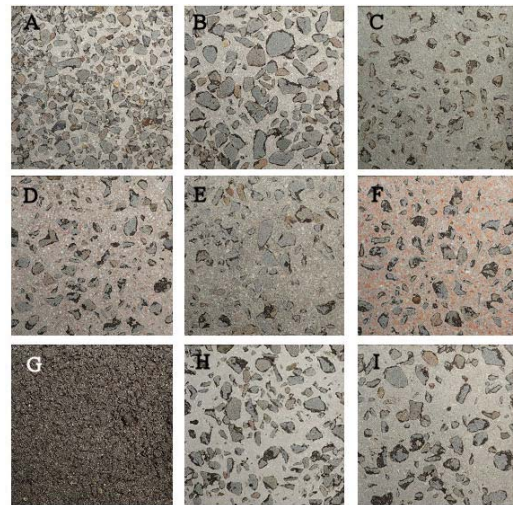


写真2 セメントモルタルを充填した各種舗装表面の色と模様
の例

(細骨材の種類: A,B)かき殻、C)ガラス破砕材、D)陶磁器屑、E)川砂、F)廃瓦破砕材、G)密粒度アスファルト、H)ホタテ殻、I)サンゴ砂)

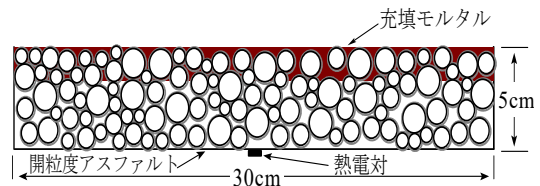


図1 モルタルを充填した供試体の状況

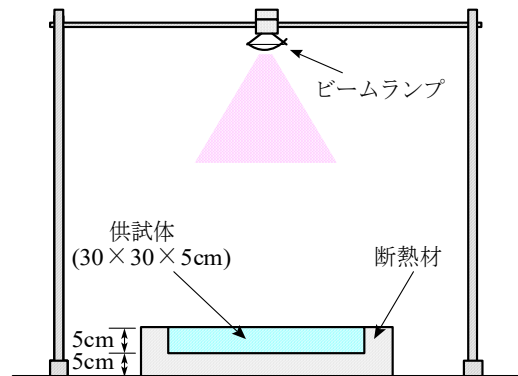


図2 室内におけるランプ照射試験

での距離は 66cm とした。供試体は厚さ 5cm の断熱材（発泡スチロール）で底面と側面を覆って断熱処理を施し、供試体中央の表面温度を非接触温度センサにより、また、底面の温度を熱電対により、それぞれ、20 秒間隔で計測した。

(4) モルタルの強度試験

充填モルタルの圧縮強度試験を実施した。

(5) 表面の明度と色彩の測定

色彩色差計を用いて供試体表面の明度と色彩を測定した。

4. 研究成果

(1) 廃瓦骨材を用いた場合の遮熱効果

廃瓦骨材を用いたセメントモルタルを充填したアスファルト供試体、かき殻モルタルを用いた比較用供試体の表面色と模様を写真 3 に示す。ここでは、セメントとして、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、白色セメント、高炉セメントを使用した。研磨した供試体表面においては、廃瓦骨材を用いた充填モルタルの茶色とアスファルト骨材の色と模様が現れている。また、かき殻モルタルを充填した供試体では比較的白く、明るい表面となった。

供試体表面における明度と色彩の測定結果（表面における 40 点の測定値の平均）を表 1 に示す。明度および色彩は $L^*a^*b^*$ 表色系の結果を表し、 L^* は明度（明るさ）、 a^* と b^* により色相（色合い）と彩度（鮮やかさの度合い）を表す。ここで、 L^* は 0 から 100 までの値をとり、0 が黒、100 が白となる。 a^* と b^* は、 a^* が+のとき赤色、-のとき緑色に近くなり、一方、 b^* が+のとき黄色、-のとき青色に近くなる。また、数値の絶対値が大きいほど色鮮やかになり、小さいほどくすんだ色となることを示している。白色 C を使用したモルタルでは、数値上も赤黄色が増し、色鮮やかになる傾向が認められた。

ランプ照射による各供試体の表面および底面の温度上昇量は、図 3 のようになった。開粒度アスファルト供試体の表面温度が 30°C 以上上昇したのに対し、各種セメントの廃瓦モルタルでは約 20°C であり、10°C 以上の低減効果が認められた。これらの結果から、廃瓦骨材は遮熱性舗装への利用としても有効であることがわかった。セメントの種類に関しては、廃瓦（白色 C）および廃瓦（高炉 C）の温度上昇量が、普通 PC や早強 PC 供試体に比べて若干小さくなった。

廃瓦骨材を用いたモルタルの圧縮強さと材齢の関係を図 4 に示す。早強 PC を使用した場合には材齢 3、7 日の強度が大きくなる反面、材齢 91 日の長期強度の伸びは他に比べて小さくなった。一方、高炉 C の場合は、材齢の経過に伴う強度の伸びが大きくなっている。なお、モルタルの配合は、適切な軟らかさにするため、骨材：セメント：水の質量比で 2：1：0.78 とし、混和剤は使用しなかった。

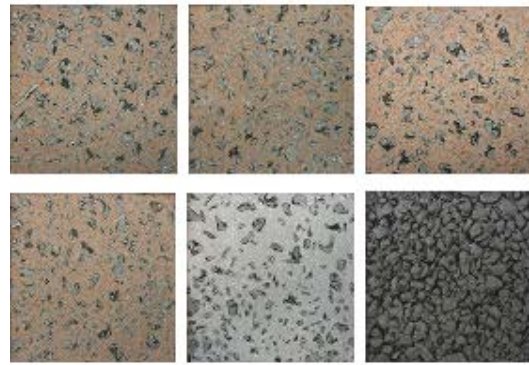


写真 3 廃瓦セメントモルタルを充填した供試体表面の色と模様（上段左から普通 PC、早強 PC、白色 C を用いたモルタルを充填した供試体、下段左から、高炉 C、かき殻モルタルを充填した供試体、開粒度アスファルト供試体）

表 1 供試体表面における明度と色彩

種類	$L^*a^*b^*$ 表色系		
	L^*	a^*	b^*
廃瓦（普通 PC）	59.4	5.8	8.6
廃瓦（早強 PC）	60.1	5.6	8.8
廃瓦（白色 C）	63.3	7.7	10.1
廃瓦（高炉 C）	60.7	6.6	9.6
かき殻（普通 PC）	73.3	0.3	4.5
開粒度アスファルト	15.5	0.9	-0.2

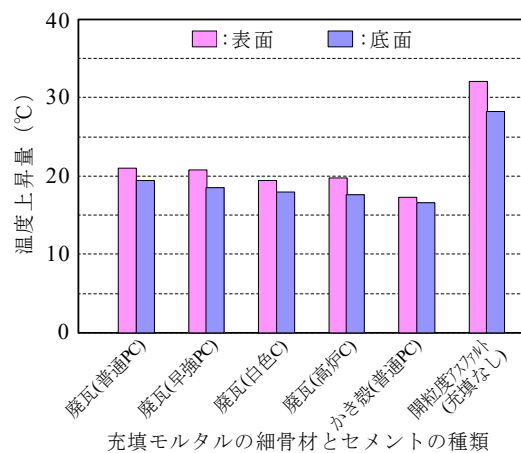


図 3 各供試体における温度上昇量の比較

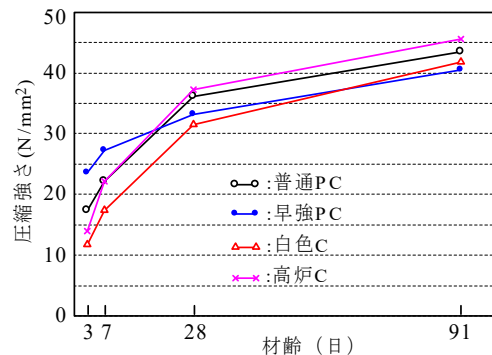


図 4 廃瓦骨材を用いたモルタルの圧縮強さと材齢の関係

(2) 充填モルタルとしてジオポリマーモルタルを用いた場合の遮熱効果

ジオポリマーモルタルの配合を表2に示す。本研究では、粉体として高炉スラグ微粉末 4000 を使用した。また、アルカリシリカ溶液として、珪酸ソーダ 1 号を水道水で 2 倍に希釈したものを使用した。

作製した供試体表面における色と模様を写真4に示す。ここでは、セメントモルタルの場合と同様に、充填モルタル硬化後に供試体表面を研磨した。

図5は、各供試体における温度上昇量の比較を示す。供試体における温度上昇量は、測定した最高温度と試験開始時の温度の差を表している。なお、表面の最高温度はランプ照射終了時点、底面では表面に比べて若干遅れた時点が最高温度となっている。これらの結果から、比較対象とした密粒度アスファルトにおける表面の温度上昇量は、31.8℃と最も高くなり、最も低いホタテ殻の温度上昇量は、15.9℃となった。ホタテ殻を充填した場合には、密粒度アスファルトに比べて約16℃の温度低減効果が認められた。サンゴ砂を使用した場合においても比較的大きい低減効果を示している。また、かき殻の場合の温度上昇量は19.8℃となり、密粒度アスファルトに比べて12℃の温度低減効果があった。温度低減効果の大きい順番は、ホタテ殻、サンゴ砂、かき殻、川砂、陶磁器屑、廃ガラス、廃瓦の順番となった。川砂を用いたモルタルの効果は比較的大きく、陶磁器屑、廃ガラスおよび廃瓦などのリサイクル材に比べて、同程度あるいは大きい効果を有している。また、いずれの骨材を利用した場合においても、密粒度アスファルトに比べて10℃以上の温度低減効果があった。

供試体表面における明度と色彩を表3に示す。明度および色彩は $L^*a^*b^*$ 表色系の結果を表し、 L^* は明度（明るさ）、 a^* と b^* により色相（色合い）と彩度（鮮やかさの度合い）を表す。ここで、廃瓦を用いた場合には、 a^* 、 b^* がともに+の値が増加し、赤色、黄色側に増加している。また、陶磁器屑も陶器廃材が含まれているため、同様の傾向が認められた。

モルタルを充填したアスファルト供試体において、明度の最も大きいものは、ホタテ殻の場合で79.0であった。これは、明度の大きなホタテ殻モルタルを表面に充填したことによる。また、最も明度の小さいものは、廃瓦の62.8であった。なお、ランプ照射試験に用いた密粒度アスファルト供試体表面の明度は26.8であり、最も暗い供試体となっている。

図6は、アスファルト供試体表面における温度上昇量と明度の関係を示したものである。アスファルト供試体における明度の大きい順番は、ホタテ殻、サンゴ砂、かき殻、陶磁器屑、川砂、廃ガラス、廃瓦の順番となっている。これは、ランプ照射試験における温度上昇量の小さい順番とほぼ一致した。

表2 ジオポリマーモルタルの配合
(1リットルの練り混ぜ量)

配合 No.	細骨材の種類	高炉スラグ微粉末 (g)	アルカリシリカ溶液 (g)	細骨材 (g)
1	かき殻	382	524	764
2	廃瓦	332	455	1194
3	陶磁器屑	305	418	1218
4	廃ガラス	306	420	1224
5	ホタテ殻	473	649	946
6	サンゴ砂	372	511	1117
7	川砂	339	465	1355

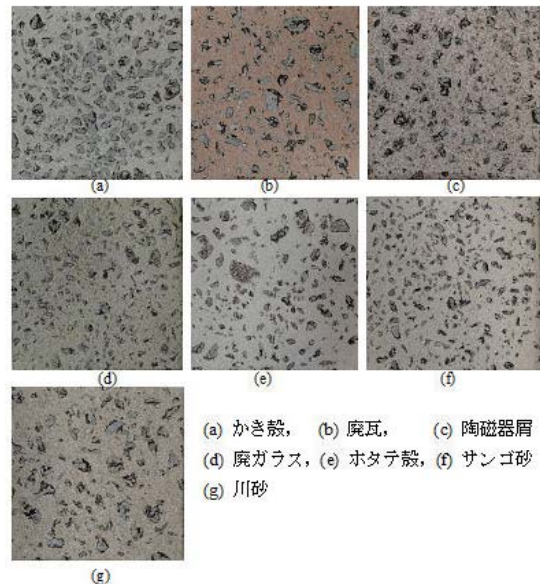


写真4 ジオポリマーモルタルを充填した供試体表面の色と模様 (15×15 cm 範囲)

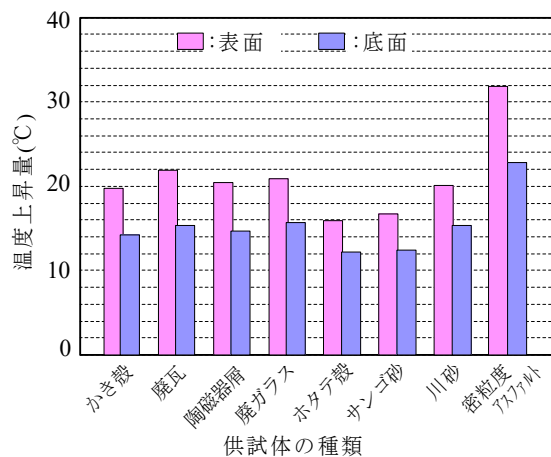


図5 各供試体における温度上昇量の比較

材齢 7 日および 28 日におけるモルタルの圧縮強度を図 7 に示す。各材齢において、細骨材としてホタテ殻を用いたモルタルが最も大きな圧縮強度となり、かき殻の場合が最も小さかった。また、廃瓦を用いた場合も比較的大きな強度が得られた。

表 3 供試体表面における明度と色彩

細骨材の種類	色彩		
	L*	a*	b*
かき殻	73.7	0.2	4.3
廃瓦	62.8	6.8	10.0
陶磁器屑	71.6	3.2	6.5
廃ガラス	67.8	-0.2	6.6
ホタテ殻	79.0	-0.4	2.1
サンゴ砂	77.1	1.4	7.1
川砂	69.6	1.2	8.0

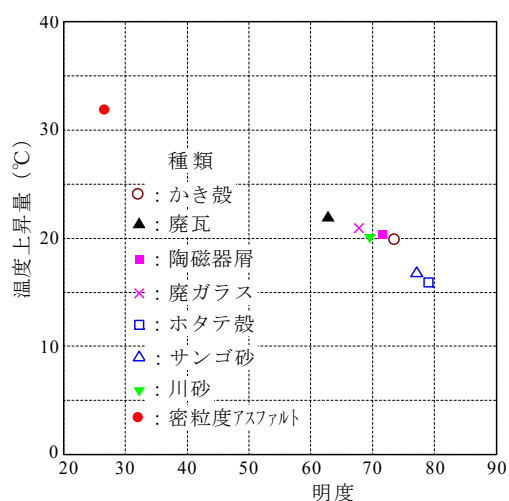


図 6 供試体表面における温度上昇量と明度の関係

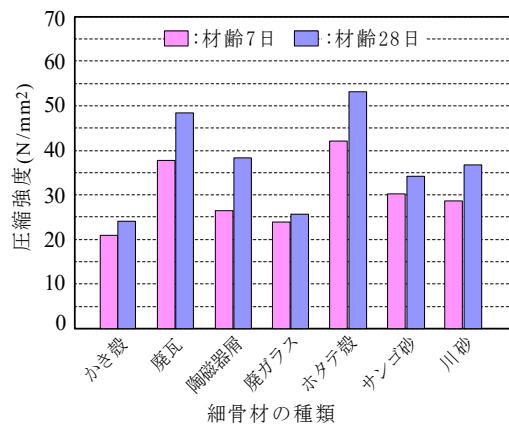


図 7 各種骨材を用いたジオポリマーモルタルの圧縮強度

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 石黒覚、山中正善、各種リサイクル材を用いたジオポリマーモルタルの強度とそれらを充填したアスファルト舗装表面の遮熱効果、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.38, No.1, 2016, pp.2307-2312
- ② 古田麻奈、石黒覚、山中正善、廃瓦骨材を用いたポーラスコンクリートの透水性および保水性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.38, No.1, 2016, pp.1773-1778
- ③ Ishiguro Satoru and Yamanaka Masayoshi, Control of Pavement-Surface Temperature –Rise Using Recycled Materials, Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol.10, No.1, pp.37-43, 2016, 査読有
- ④ 石黒覚、山中正善、廃瓦骨材を利用した舗装供試体のランプ照射による温度挙動、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37, No.1, 2015, pp.1489-1493
- ⑤ Mohammad Raihanul ISLAM, Ishiguro Satoru and Yamanaka Masayoshi, Surface Heat Reduction of Asphalt Concrete by Top Filling with Mortar Prepared by Oyster Shell Aggregate and Ground Granulated Blast Furnace Slag and Their Strength in Different Curing Condition, IDRE Journal, 2015, Vol.83, No.2, pp.1-7, 査読有
- ⑥ Mohammad Raihanul ISLAM and Ishiguro Satoru, Effects of Partial Replacement of Cement by Ground Granulated Blast Furnace Slag on Compressive Strength of Oyster Shell Aggregate Mortar, IDRE Journal, 2014, Vol.82, No.6, pp.19-24, 査読有

[学会発表] (計 1 件)

- ① 石黒覚、山中正善、夏季の路面温度の実測値とランプ照射試験結果の比較、平成 27 年度農業農村工学会大会講演会、2015 年 9 月 1 日～2015 年 9 月 4 日、岡山大学津島キャンパス (岡山市)

[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

(4) 研究協力者

山中正善 (YAMANAKA, Masayoshi)