

論文 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

石黒 覚*1・山中 正善*2

要旨： 廃瓦骨材の舗装材料への有効利用を目的として、夏季の路面温度上昇に対する抑制効果に着目して検討した。このため、アスファルト舗装、コンクリート平板および砂利舗装の各種供試体を作製し、室内においてランプ照射試験を実施した。その結果、廃瓦骨材を用いたモルタルを開粒度アスファルト表面の空隙に充填した場合、充填しないアスファルト供試体に比べて温度上昇量は大きく低下した。また、廃瓦骨材および各種骨材を用いたコンクリート平板および砂利舗装の供試体について、温度上昇に対する遮熱効果を比較検討した結果から、廃瓦骨材は路面温度上昇の抑制に有効であることが確認できた。

キーワード： 廃瓦, 骨材, 舗装, 明度, 表面温度, ランプ照射試験

1. はじめに

廃瓦は瓦製造工場の不良品や家屋解体などにより大量に継続して発生するため、廃棄処理される一方で、その有効利用も積極的に進められている。

廃瓦のコンクリート用骨材としての既往研究では、骨材の置換材として利用した場合のコンクリートの諸性状に及ぼす影響が検討され、二次製品用コンクリート骨材として通常の天然骨材と同様に利用が可能であることが報告されている¹⁾²⁾³⁾。廃瓦骨材は内部に空隙を多く含み、吸水率も大きくなることから、吸水させた廃瓦粗骨材をコンクリートの粗骨材の一部として利用し、その内部養生効果が検討され、高炉セメントコンクリートやフライアッシュ混入コンクリートの性能向上に有効であることが報告されている⁴⁾⁵⁾。さらに、この内部養生効果を利用して超高強度コンクリートの自己収縮ひずみとそれに起因する拘束応力の低減が検討され、その効果の大きいことが報告されている⁶⁾。また、家屋解体時の廃瓦をポーラスコンクリート用骨材として利用し、歩道用透水性舗装として十分な透水性能および強度を確保できることが報告されている⁷⁾。これらの既往の研究から、廃瓦はコンクリート用骨材として十分に有効利用できることが示されている。

本研究では、廃瓦骨材の舗装材料への有効利用を目的として、夏季の路面温度上昇の抑制効果を調べるため、アスファルト舗装、コンクリート平板および砂利舗装の各種供試体を作製し、室内においてランプ照射試験を実施した。そして、廃瓦骨材と各種骨材を用いた場合の温度上昇量を比較してその効果を検討した。

2. 試験方法

2.1 供試体の種類と作製方法

試験に用いた廃瓦骨材の概観を写真-1に示す。廃瓦は三重県内の家屋解体で排出されたもので、レンガを1%以下で少量含有している。粒径の異なる3種類の廃

瓦骨材 (①: 粒径 0-3mm, ②: 粒径 3-5mm, ③: 粒径 5-10mm) の粒度分布を図-1に示す。粒径 0-3mm では0.075mm以下の微粒子が細骨材の粒度の標準(図中の点線)に比較して多く含まれている。また、廃瓦骨材は茶色と灰色の粒子を含み、灰色の含有率は、粒径 3-5mm および 5-10mmの両者において質量で約26%であった。

ランプ照射試験に用いた舗装供試体は、図-2に示すような(a)アスファルト供試体、(b)コンクリート平板供試体、および、(c)砂利舗装供試体の3種類である。それらの概要と作製方法は以下になる。



写真-1 試験に用いた廃瓦骨材

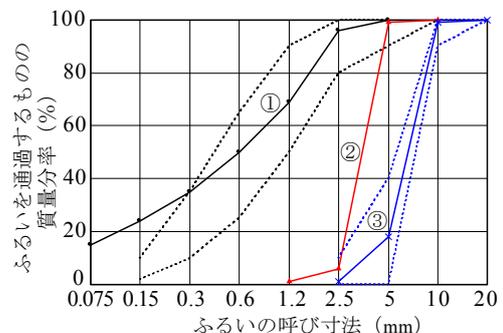


図-1 廃瓦骨材の粒度分布

*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

a) アスファルト供試体 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) の上面から, 廃瓦骨材(粒径 0-3mm)を細骨材としたモルタルを上部の空隙に充填した。充填深さは 1-1.5cm である。モルタル充填後 7 日で研磨機を用いて表面を研磨し, 骨材とモルタルの模様が現れるようにした。そして, 4 週間以上室内に放置した後にランプ照射試験を行った。ここでは, 使用セメントの種類に着目して温度上昇に及ぼす影響を検討するため, 普通ポルトランドセメント (普通 PC), 早強ポルトランドセメント (早強 PC), 白色セメント (白色 C) および高炉セメント (高炉 C, 高炉スラグ微粉末混入率 50%) の 4 種類のセメントモルタルを使用した。充填モルタルの配合は, 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。また, 比較用として, かき殻モルタルを充填した供試体およびモルタルを充填しない開粒度アスファルトも作製した。試験時には, 各供試体の底面中央に温度測定用の熱電対を取り付けた。

b) コンクリート平板供試体 寸法 30×30cm, 厚さ 5cm とし, 厚さ 4cm のコンクリート(W/C=50%)の上部に, 廃瓦骨材(粒径 0-3mm と 3-5mm を 9:1 で混合したもの)を用いて厚さ 1cm のモルタルを打ち込んで作製した。廃瓦骨材との比較用として, 陶磁器屑の破碎材(密度 2.35g/cm³, 粒径 0-5mm), 廃ガラス破碎材(密度 2.49g/cm³, 粒径 0-2.5mm), 熔融スラグ細骨材(密度 2.64g/cm³, 粒径 0-5mm), 川砂(密度 2.61g/cm³, 粒径 0-5mm)を用い, 同様のコンクリート平板供試体を作製した。セメントは, 廃ガラス破碎材のモルタルでは高炉セメント (高炉スラグ微粉末混入率 50%), その他は, 普通ポルトランドセメントを使用した。モルタルの配合は, 細骨材:セメントの質量比を 3:1 とし, 同程度の軟らかさとするために, 廃瓦, 陶磁器屑, 廃ガラス, 熔融スラグおよび川砂のモルタルに対して, 水セメント比は, それぞれ, 0.78, 0.69, 0.76, 0.6 および 0.6 とした。そのときの骨材の含水率は, 廃瓦, 陶磁器屑, 廃ガラス, 熔融スラグおよび川砂に対して, それぞれ, 6.61%, 2.98%, 0.02%, 1.51% および 1.1% である。また, 温度測定用の熱電対は, モルタルとコンクリートの境界部に埋設した。

c) 砂利舗装供試体 砂利舗装を模擬するため, 厚さ 5cm の断熱材 (発泡スチロール) で底面と側面を囲った 30×30×5cm の型枠に骨材を敷いて供試体を作製した。供試体底面中央の温度を測定するため, 断熱材との境界に熱電対を取り付けた。砂利舗装の骨材として, 炉乾燥した粒径 3-5mm および 5-10mm の廃瓦骨材を, また, 比較用として, 写真-2 に示すような白色および黒色の碎石および砂利を用いた。ここでは, 主に骨材色の影響に着目し, 粒径の差異の影響は考慮しなかった。なお, 粒

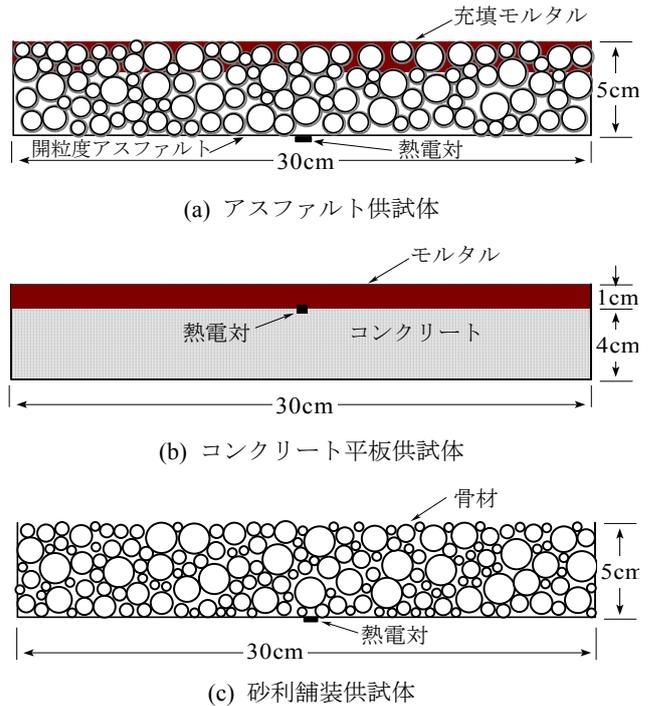


図-2 舗装供試体の概要



写真-2 砂利舗装供試体に用いた比較用の骨材 (左から, 碎石(黒), 碎石(白), 砂利(黒), 砂利(白))

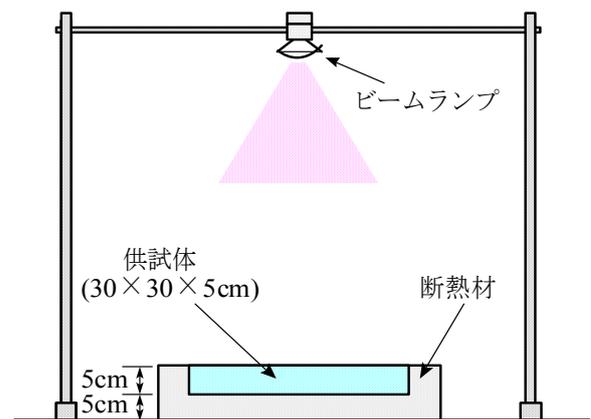


図-3 ランプ照射試験

径の影響の一因と考えられる空隙率については, 型枠に骨材を敷いた時の値を参考として求めた。

2.2 ランプ照射試験

ランプ照射試験の概要を図-3 に示す。室温は 29℃, 照射時間 3 時間, 計測時間を照射開始から約 15 時間とした。使用ランプはビームランプ散光型 (110V150W), 供試体表面からランプまでの距離は 66cm, 開粒度アス

ファルトの表面温度が、照射時間3時間で60℃を超える程度の高さとした。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、内部あるいは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。

2.3 強度試験

セメントの強さ試験方法に準じ、4×4×16cmの角柱供試体を用いて、標準水中養生を行ったアスファルト供試体用の充填モルタルおよびコンクリート平板供試体用のモルタルについて、それぞれ、曲げ強さおよび圧縮強さを測定した。

2.4 明度と色彩の測定

供試体の明度と表面温度の関係を評価するため、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。

3. 試験結果および考察

3.1 アスファルト供試体の試験結果

アスファルト供試体および比較用供試体の表面色と模様を写真-3に示す。供試体表面を研磨しているため、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が美しい色と模様を創出している。一方、かき殻を細骨材とした供試体は比較的白く、明るい表面となっている。

供試体表面の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かほど色鮮やかになり、小さいほどくすんだ色となる。廃瓦骨材のモルタルを充填することにより、L*、a*およびb*の数値が大きくなっており、アスファルト表面に比べて明度が大きくなり、また、赤黄色が増し、色鮮やかになる。白色Cを使用したモルタルはこの傾向が大きいことが測定数値からも評価できる。

各種セメントを用いた充填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いといえる。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。セメントの種類は、供試体の表面色の相違や充填モルタルの強度発現に影響することを示している。

ランプ照射試験におけるアスファルト供試体の表面温度の経時変化を図-5に示す。この結果から、ランプ

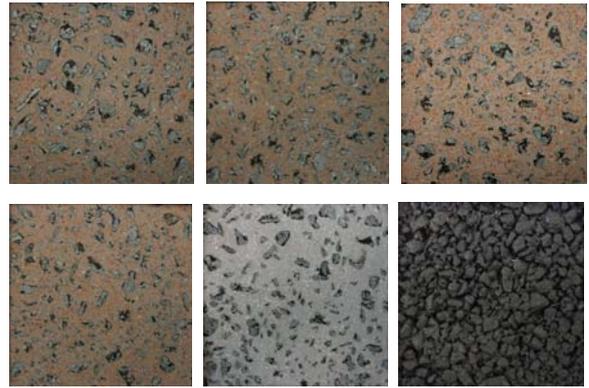


写真-3 アスファルト供試体表面の色と模様(上段左から普通PC, 早強PC, 白色Cを用いたモルタルを充填した供試体, 下段左から, 高炉C, かき殻を用いたモルタルを充填した供試体, 開粒度アスファルト供試体)

表-1 アスファルト供試体表面の明度と色彩

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

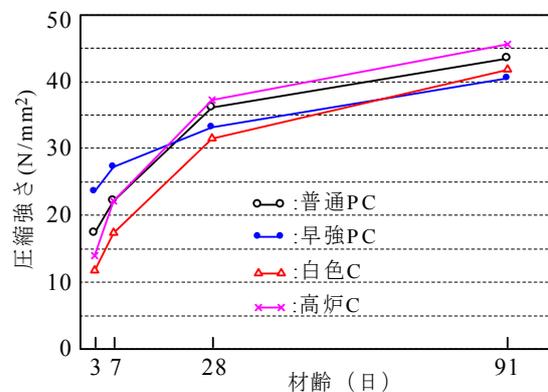


図-4 各種セメントを用いた充填モルタルの圧縮強さと材齢の関係

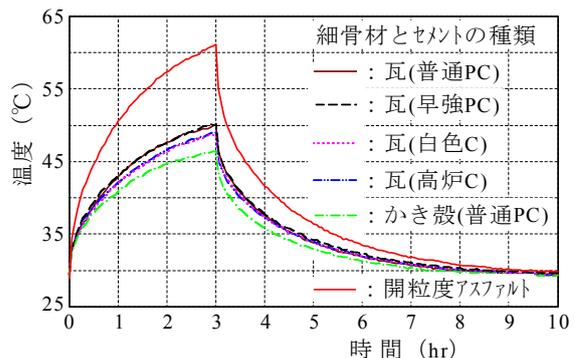


図-5 アスファルト供試体の表面温度の経時変化

照射中は供試体表面の温度は急激に上昇し、照射後は放熱に伴って徐々に室温まで低下する挙動がうかがえる。また、開粒度アスファルト供試体はその表面色が黒く熱を吸収しやすいことから、最高表面温度は61.1℃に達し、他の供試体に比べて10℃以上大きくなっている。一方、比較用のかき殻モルタルを充填したものは最も低い温度となっている。

ランプ照射による温度上昇量を各供試体について比較すると図-6のようになる。開粒度アスファルト供試体の表面温度が30℃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℃であり、10℃以上の低減効果が認められる。供試体底面の温度は、表面温度の高いほど高くなり、また、表面温度とほぼ同様の傾向を示している。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と思われる。一方、かき殻（普通PC）供試体の温度上昇量が最も小さくなったのは、かき殻を細骨材に用いることにより表面色が明るくなり、光線の反射率が大きくなるためと考えられる⁸⁾。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ている。これは、供試体の明度の差が一因と思われ、表-1におけるL*（明度）の値の大小と比較的よく対応している。つまり、明度が大きいほど表面の色が明るくなり、光線の反射率が大きくなるため、温度上昇量は低下すると考えられる。

3.2 コンクリート平板供試体の試験結果

写真-4は、コンクリート平板の表面の色と模様を、表-2にそれら平板の表面の明度と色彩の測定値を示す。

これらの結果から、廃瓦骨材を用いたモルタルの表面は、色が鮮やかになり、舗装ブロック平板に用いた場合には景観にも良いように思われる。また、熔融スラグ骨材のモルタルの明度(L*)の値は、廃瓦と同程度であり、陶磁器屑、廃ガラス、川砂などに比べて小さく、比較的暗い色になることがわかった。一方、陶磁器屑、廃ガラス、川砂の供試体表面は、廃瓦よりも明度が大きくなり、明るい表面色となっている。

材齢7日および28日におけるモルタルの圧縮強さを図-7に示す。廃瓦骨材の材齢7日の圧縮強さは、他のリサイクル骨材のそれに比べて同等あるいは大きくなり、川砂に比べて小さい。しかし、材齢28日では廃瓦モルタルの強度の伸びが大きくなり、最大強度を示した。また、ここでは結果を図示していないが、曲げ強さの傾向も圧縮強さと同様であった。廃瓦骨材をコンクリートの細骨材に用いた場合、長期強度の発現性に優れることが報告されている⁹⁾。本試験結果においても、廃瓦骨材のモルタル強度の伸びは大きく、既往の研究結果と同様の傾向を示している。

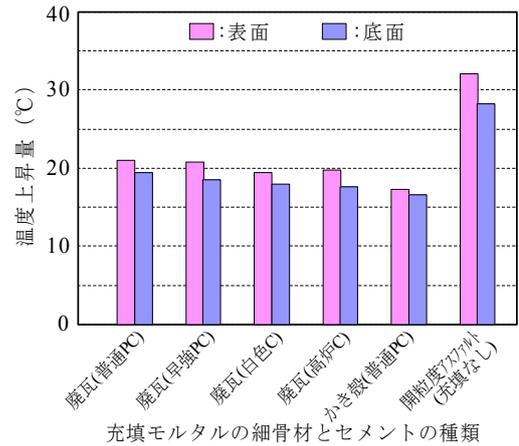


図-6 アスファルト供試体の温度上昇量

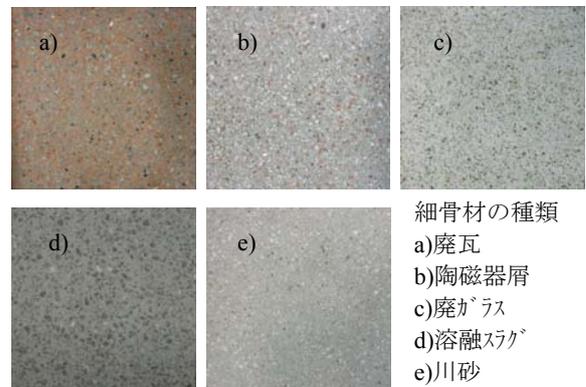


写真-4 コンクリート平板の色と模様

表-2 コンクリート平板の明度と色彩

モルタルに用いた細骨材の種類	L*a*b*表色系		
	L*	a*	b*
廃瓦	59.1	8.2	10.5
陶磁器屑	67.0	2.2	5.8
廃ガラス	67.8	-0.7	4.6
熔融スラグ	58.7	0.5	3.8
川砂	64.9	0.4	4.8

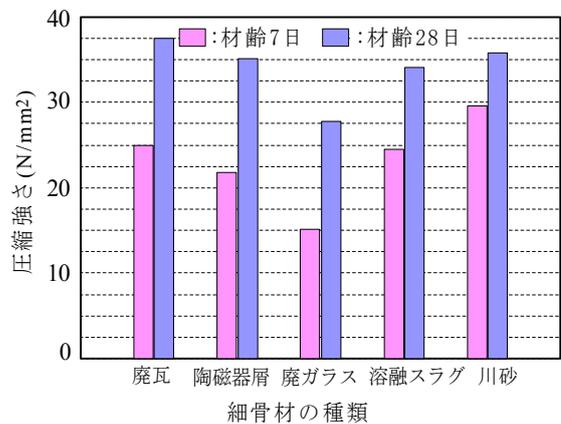


図-7 コンクリート平板のモルタル圧縮強さ

ランプ照射試験におけるコンクリート平板の表面温度の経時変化を図-8に示す。アスファルト供試体と同様に、ランプ照射中は供試体表面の温度は急激に上昇し、照射後は放熱に伴って徐々に室温まで低下している。ランプ照射による温度上昇量を各供試体について比較すると図-9のようになる。コンクリート平板の温度上昇量は、表面の明度の小さい熔融スラグ骨材を用いたものが最も大きくなり、明度の大きい陶磁器屑が小さくなっている。この結果は、表面の明度と比較的よく対応している。また、廃瓦の温度上昇量は、廃ガラスのものと同程度で、川砂より若干小さくなった。コンクリート平板において廃瓦骨材を用いた場合、他のリサイクル骨材などに比べて温度上昇の抑制効果は、同等か良好であり、また、表面の色は鮮やかになることがわかった。

3.3 砂利舗装供試体の試験結果

砂利舗装骨材として、粒径3-5mmおよび5-10mmの廃瓦骨材、比較用として白色および黒色の碎石および砂利を用いた。それらの骨材の密度、吸水率、および、骨材を発泡スチロール型枠に詰めた時の空隙率を、それぞれ、表-3に示す。廃瓦骨材は吸水率が14-16%と大きく、内部空隙を多く含んでいる。また、廃瓦骨材は、他の骨材に比べて密度も小さく、供試体空隙率は比較的大きくなっている。

ランプ照射試験における砂利舗装供試体の表面温度の経時変化を図-10に示す。廃瓦骨材を敷いた場合、ランプ照射開始1時間までは供試体表面の温度は急激に上昇し、その後は砂利(黒)と碎石(黒)に比べて上昇速度は若干小さくなり、3時間後の最高温度は約60℃に達した。ランプ照射の終了後は、砂利(黒)や碎石(黒)に比べて表面温度は急激に低下している。一方、砂利舗装供試体底面の温度経時変化は図-11のようになる。底面では、表面に比べて若干遅れて最大温度に達し、その後は比較的緩やかな温度低下を示している。このとき、廃瓦骨材の各供試体は、ほぼ同じ挙動になっている。

ランプ照射による温度上昇量を各供試体について比較すると図-12のようになる。黒色の碎石および砂利の表面温度上昇量は、それぞれ、約35および34℃、白色のそれらでは約17および18℃であり、明度の相違の影響が大きく現れている。白色の骨材では光線の反射が大きいため、温度上昇が抑制されたものと思われる。一方、廃瓦骨材の温度上昇量は、粒径3-5mmおよび5-10mmでは約31および30℃となり、白色の骨材に比べて約13℃高くなり、黒色の骨材に比べて約5℃低下した。また、廃瓦骨材の場合、表面と底面の温度上昇量の差が比較的大きくなる傾向を示している。これは、廃瓦供試体の空隙率が大きいことに加え、廃瓦骨材の内部空隙の大きいことが、下方への熱の伝わりを抑制し、断熱効果

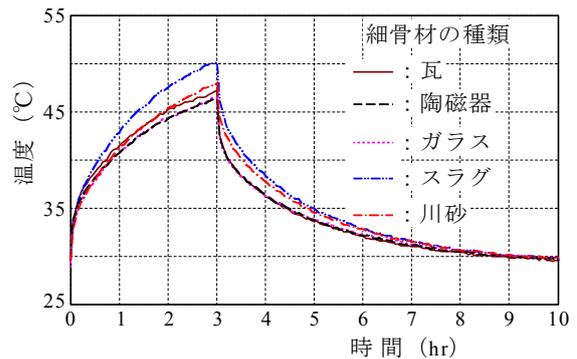


図-8 コンクリート平板の表面温度の経時変化

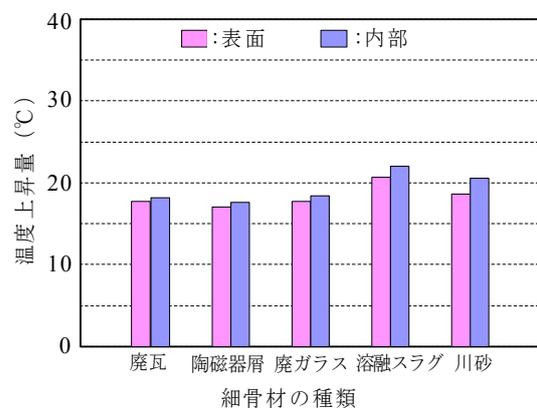


図-9 コンクリート平板の温度上昇量

表-3 砂利舗装骨材の物性と供試体の空隙率

骨材の種類	密度(g/cm ³)		吸水率 (%)	空隙率 (%)
	表乾	絶乾		
廃瓦(3-5mm)	2.16	1.87	15.7	39.8
廃瓦(5-10mm)	2.18	1.92	13.6	36.6
碎石(黒,5-15mm)	2.66	2.64	0.77	32.7
碎石(白,2-5mm)	2.73	2.68	1.99	36.4
砂利(黒,10-15mm)	2.80	2.80	0.33	30.8
砂利(白,10-15mm)	2.84	2.84	0.24	30.7

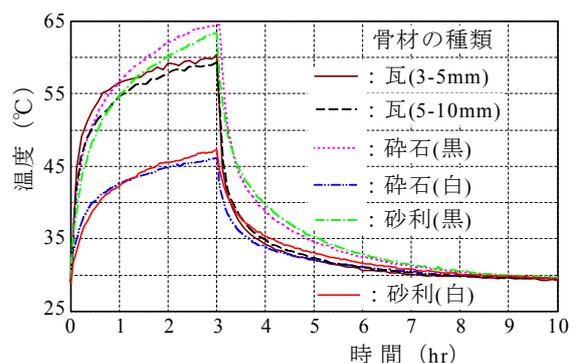


図-10 砂利舗装供試体の表面温度の経時変化

を大きくしたためと考えられる。

4. まとめ

本研究では、廃瓦骨材の舗装材への有効利用を目的として、開粒度アスファルトの充填モルタル、コンクリート平板、砂利舗装の骨材に用いた場合の遮熱効果をランプ照射試験により調べた。本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

1) 廃瓦を細骨材としたモルタルを作製し、開粒度アスファルト上面の空隙に充填した場合、表面の色が鮮やかになり、さらに、表面の温度上昇量は充填しない場合に比べて10℃以上低下した。また、供試体表面の明度や色彩は、使用セメントの種類によって若干異なり、明度の明るいほど遮熱効果も大きかった。

2) 廃瓦を細骨材としたコンクリート平板を作製し、各種リサイクル骨材や川砂を用いた場合と比較した。廃瓦骨材は、その他のリサイクル骨材に比べて温度上昇の抑制効果は同等あるいは良好であった。

3) 廃瓦を砂利舗装の骨材として用いた場合、供試体の表面温度は、白色の骨材に比べて約13℃高くなり、黒色の骨材に比べて約5℃低減した。また、廃瓦骨材の場合、供試体の表面と底面の温度上昇量の差が比較的大きくなった。

以上の結果から、廃瓦骨材は夏季の路面温度上昇の抑制に有効利用できることが確認できた。

参考文献

- 1) 友竹博一, 清水利康, 坂本一樹, 鳥居和之: 廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品の諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1355-1360, 2003.6
- 2) 上原 匠, 梅原秀哲, 友竹博一, 篠田泰宏: 瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1405-1410, 2005.6
- 3) 飛田浩孝, 上原 匠, 梅原秀哲, 友竹博一: 瓦廃材のコンクリート用骨材への適用性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1577-1582, 2006.6
- 4) 重松 明, 温品達也, 木村 守, 佐藤良一: 廃瓦粗骨材の内部養生による高炉B種コンクリートの性能

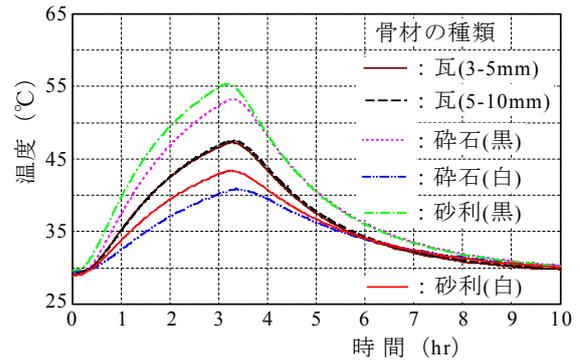


図-1 1 砂利舗装供試体底面の温度経時変化

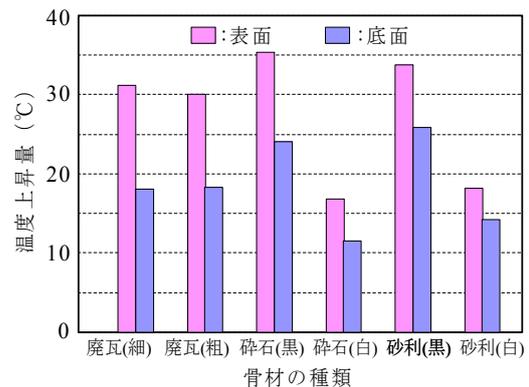


図-1 2 砂利舗装供試体の温度上昇量

向上について, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.205-210, 2009.6

- 5) 温品達也, 清水祥平, 中川信矢, 佐藤良一: 廃瓦の内部養生によるフライアッシュ混入コンクリートの性能向上に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.241-246, 2009.6
- 6) 鈴木雅博, 丸山一平, 川畑智亮, 佐藤良一: 廃瓦粗骨材を用いた超高強度コンクリートの変形と拘束応力に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.651-656, 2007.6
- 7) 坂口 稔, 上原 匠, 杉浦領亮, 亀井則幸: 家屋解体時に発生する廃瓦を用いたポーラスコンクリートの基本的物性, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1552-1557, 2012.6
- 8) 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, pp.1367-1372, 2010.6