

廃瓦舗装の温暖化防止効果に関する研究

京都大学 正会員 ○米田 稔
 京都大学 フェロー会員 森澤 眞輔
 神鋼環境ソリューション 安河内 健
 (株) 國陽 新井 貴史

1. 目的

建設廃棄物として発生する瓦はまだ十分なリサイクル利用がなされていない。本研究では粉碎した廃瓦の持つ水分保持特性の基本的性質を測定するとともに、透水性舗装に利用した場合の温暖化防止効果に対する有効性について検討した。

2. 代替土壌としての特性評価

粉碎瓦の水分特性曲線などの測定結果から、低含水域においてポテンシャルの減少に対して含水率の減少が抑えられる傾向が見られ、瓦の細孔に水が保持される性質を持っていることが示唆された。粉碎する粒径を大きくすると、粉碎瓦は大きな透水性を持つこととなり、粉碎瓦は高い透水性と保水性を併せ持つ代替土壌となる可能性を持っている。ここでは粉碎瓦の屋上緑化用土壌としての利用可能性について検討を試みた。屋上緑化用土壌として求められる条件として、比重が小さいこと、保水性、排水性に優れることなどがあげられる。

粒径が **1mm** 以下の場合、有効水分保持量は大きい。比重が大きい、粒径

表1 有効水分保持量

試料	赤瓦①	赤瓦②	赤瓦③	黒瓦①	黒瓦②	黒瓦③	まさ土
pF1.8含水量(L/m ³)	345.3	147.3	130.9	340.0	173.4	166.5	87.1
pF3.0含水量(L/m ³)	138.2	106.2	104.8	143.1	126.9	122.9	30.1
有効水分保持量(L/m ³)	207.1	41.1	26.1	196.9	46.5	43.6	57
三相分布(気相：液相：固相)(%)	19:35:46	51:15:34	42:13:45	18:34:48	48:17:35	44:17:39	34:9:57
比重(pF1.8)	1.6	1.1	1.1	1.4	1.1	1.0	1.6

①…粒径1mm以下 ②…粒径1mm ③…粒径2mm

が **1mm**、**2mm** の場合では比重が小さいが有効水分保持量が小さい(表 1)。そのため湿潤時比重や有効水分保持量が屋上緑化用土壌として適した値を示すよう **1mm** 以下、**1mm**、**2mm** の粉碎瓦の混合比を変え、合わせて熱伝導率、三相分布、透水係数の各項目を測定し、屋上緑化用土壌として販売されている製品との性状比較を試みた。その結果、湿潤時比重以外は屋上緑化用土壌並の値を示し、廃瓦の屋上緑化用土壌としての有用性が示唆された(表 2)。

表2 瓦と屋上緑化用土壌の性状比較

項目	単位	結果		
		瓦		屋上緑化用土壌
粒径	-	1mm以下:1mm =2:1	1mm以下:1mm =1:1	200mmメッシュ 80%通過
湿潤時比重(pF1.8)	-	1.4	1.4	0.80±0.05
熱伝導率(pF1.8)	W/m・K	0.4±0.1		0.38
有効水分保持量(pF1.8~3.0)	L/m ³	134	121	100±20
三相分布(気：液：固)	%	26:27:47	28:24:48	45:35:20
透水係数	cm/s	1×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁻² 以上

3. 道路舗装材としての再利用

2. で明らかになった瓦のもつ透水性と保水性の高さから道路舗装材としての路面温度上昇抑制効果について検討した。実際に瓦で舗装された道路とアスファルト舗装道路との表面温度変化を測定したところ、日中最高気温で **15℃** 程度の温度抑制効果が確認された(図 1)。この瓦舗装は路盤材としても粉碎瓦を使用し、**25cm** 厚の粉碎瓦の層を持っている。瓦とアスファルト舗装とでのアルベドは、実測値で瓦が約 **0.20**、アスファルトが約 **0.18** と大きな差がなく、日射エネルギーの吸収率はさほど変わらないものと思われる。瓦舗装が温度上昇を抑制するメカニズムとして保水性による潜熱効果と、熱容量増加による温度上昇抑制とが考えられる。

キーワード 瓦舗装, リサイクル, 屋上緑化, 温暖化防止, 数値シミュレーション

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科都市環境工学専攻 TEL 075-753-5154

4. 瓦舗装による温度抑制効果シミュレーション

3. で瓦舗装がアスファルト舗装に比べ大きく路面温度の上昇を抑制することが明らかとなったがその舗装内での水分移動を多層土壌モデル¹⁾を用いたシミュレーションによって再現を試みた。用いた支配方程式を図2に示す。計算で必要となる各種物理パラメータ値は実験によって求めた。厚さ **1m** の層の上部に厚さ **25cm** または **10cm** の粉砕瓦の層、下部は比較的透水性の低いまき土としたときのシミュレーション結果を図3、4に示す。図3、4は **pF1.8** での含水率の状態に、**10mm/hr** の雨が3時間降った後、真夏の晴天日が続いた場合の結果である。境界条件としては、上端と下端の液状水フラックスは **0**、地表面からは風速 **3m/sec** での蒸発、地表面への熱フラックスとして典型的な真夏の晴天日の日射と大気からの長波放射、そして地面からの長波放射を考慮している。図3は、おおよそ図1の実測値の傾向を再現している。瓦の層の厚さの違いの影響を見ると、同じ量だけの降雨浸透があったので、初期においては瓦層厚 **10cm** の方が含水率が高く、よって熱容量が大きくなり、最高温度は抑えられる。しかし瓦層の乾燥も早く、5日後には最高温度は瓦層厚 **25cm** の方が低くなる。安定した温度制御効果という点では瓦層の厚い方が有利であると考えられる。

5. 結論

粉砕瓦は、瓦の細孔に水を保持する性質を持っていると考えられ、適当な粒径の粉砕瓦を組み合わせることで屋上緑化用土壌として使用可能と考えられる。

廃瓦の透水性と保水性を利用して道路舗装材として用いた場合、瓦舗装とアスファルト舗装の路面温度を比較すると日中で最大 **15℃** 程度の温度抑制効果が確認された。多層土壌モデルを用いたシミュレーションにより、これは瓦層の持つ保水効果が温熱環境改善に寄与していると考えられ、その効果は瓦層の厚さが厚い方がより大きいと考えられる。

参考文献

1) Kondo, J. and N. saigusa: "modeling the Evaporation from Bare Soil with a Formula for Vaporization in the Soil Pores.", J. Meteor. Soc. Jpn, No. 72, pp.413-421 (1994)

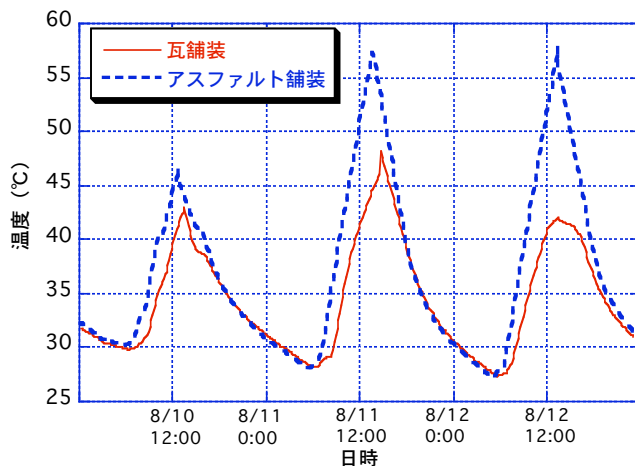


図1 瓦舗装とアスファルト舗装温度比較（地表面下3cm）

液状水輸送方程式:

$$\rho_w \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial Q_{\theta, liq}}{\partial z} - E_{soil}$$

熱輸送方程式:

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial Q_h}{\partial z} - lE_{soil}$$

$$\text{水蒸気輸送方程式: } \frac{\partial \{(\theta_{sat} - \theta)\rho q\}}{\partial t} = -\frac{\partial Q_{\theta, vap}}{\partial z} + E_{soil}$$

液状水フラックス:

$$Q_{\theta, liq} = -\rho_w K - \rho_w D_{T, liq} \frac{\partial T}{\partial z} - \rho_w D_{\theta, liq} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

水蒸気フラックス:

$$Q_{\theta, vap} = -\rho D_{am} f(\theta) \frac{\partial q}{\partial z} \quad \text{熱フラックス: } Q_h = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$$

C :熱容量(J/K・m³) D_{am} :水蒸気分子拡散係数(m²/s)

$D_{T, liq}$:温度勾配液状水拡散係数(m²/s)

$D_{\theta, liq}$:等温液状水拡散係数(m²/s) E_{soil} :土壌内部蒸発量(kg/m³・s)

$f(\theta)$:ねじれ度ファクター(-) K :透水係数(m/s) l :蒸発潜熱(J/kg)

ρ_w :水密度(kg/m³) ρ :空気密度(kg/m³) θ :含水率(-) q :比湿(kg/kg)

図2 水分・熱同時移動の支配方程式群

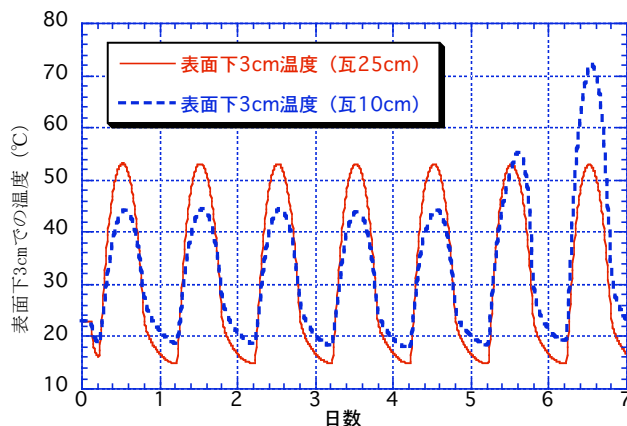


図3 地表面下3cmでの温度のシミュレーション結果

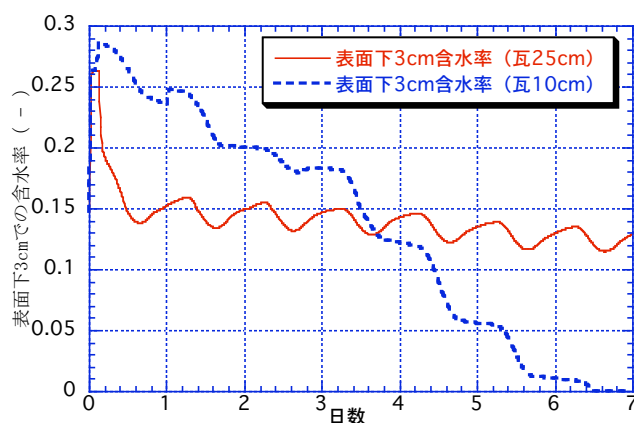


図4 地表面下3cmでの含水率のシミュレーション結果