

数値シミュレーションによる保水性舗装表面の蒸発量予測

東京電機大学 学生会員 ○江川和寿
 東京電機大学 正会員 藤波 潔
 東京電機大学 フェロー会員 松井邦人

1. はじめに

近年、都市域がその周辺地域よりも高温となるヒートアイランド現象が都市の熱環境の悪化、建物・道路などの人工物の増加やエネルギー消費の増加に伴い、年々進行する傾向にある。その対策として、保水性舗装や遮熱性舗装が開発されている。いずれの舗装も密粒や排水性舗装と比べて表面温度の上昇を抑制し、周辺環境への赤外放射量を低減する効果が期待できる。これらの舗装についてすでにあちこちで実験が行われその効果が確認されている。

本研究では、保水性舗装を対象として、解析的に保水性舗装表面からの蒸発量を推定し、表面温度の低減効果を予測することが目的である。

2. 舗装モデルと入力データ

保水性舗装の温度解析に用いた舗装断面を図-1に示す。図中の熱伝導係数、比熱、密度は原位置試験の結果から推定した値である。解析に使用する気象データは東京電機大学鳩山校舎の舗装試験サイトで観測している気温、相対湿度、短波放射量、長波放射量を用いる。また、舗装表面のアルベドを0.1、射出率を0.9としている。



図-1 解析モデル

3. 温度解析

構造物内部の温度分布を支配する基礎方程式として、式(1)の1次元熱伝導方程式を用いる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、 ρ ：密度、 c ：比重、 k ：熱伝導係数、である。

自然環境化に暴露されている構造物は、さまざまな気象因子の影響を受ける。そのため、温度解析を行う上で、舗装表面での境界条件を考慮しなければならない。舗装表面での境界条件は式(2)で与えられる。

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} = q_{con} + q_{sol} + q_{sky} + q_{evp} \quad (2)$$

ここで、 q_{con} ：対流熱伝達量、 q_{sol} ：正味全日射量、 q_{sky} ：正味天空放射量、 q_{evp} ：潜熱輸送量である。本研究では q_{con} を定数とし、 q_{sol} 、 q_{sky} には鳩山計測サイトで観測した実測データを用いた。 q_{evp} については数多くのモデル式が提案されており、本研究では式(3)のモデル式を用いて解析を行った。

$$q_{evp} = l \rho C_E U (q_s - q) \quad (3)$$

$$l = 2.50 \times 10^6 - 2400T \quad (4)$$

$$q = 0.622 \times \left(\frac{e}{p} \right) / \left(1 - 0.378 \times \left(\frac{e}{p} \right) \right) \quad (5)$$

$$q_s = 0.622 \times \left(\frac{e_s}{p} \right) / \left(1 - 0.378 \times \left(\frac{e_s}{p} \right) \right) \quad (6)$$

$$e_s = 6.1078 \times 10^{(7.5 \times T / (237.3 + T))} \quad (7)$$

ここで、 lE ：潜熱輸送量 [W/m^2]、 l ：水の気化潜熱 [J/kg]、 T ：外気温 $^{\circ}C$ 、 ρ ：空気密度 [kg/m^3]、 C_E ：潜熱のバルク輸送係数 [1.2×10^3]、 U ：風速 [m/s]、 q_s ：地表面に対する飽和比湿、 e_s ：地表面に対する気圧 [hPa]、 q ：気温に対する比湿、 e ：水蒸気圧、 p ：大気圧 [hPa]である。

キーワード：保水性舗装、潜熱、蒸発効率、蒸発量、舗装表面温度

連絡先：350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL：0492(96)5731 内線(2734), FAX：0492(96)6501

4. 解析結果

保水性舗装の表面から蒸発する水分の蒸発量は気象変動の影響を大きく受けられる。図-1の舗装モデルと東京電機大学鳩山キャンパスで計測した気象データを用いて1次元熱伝導解析を行った。蒸発効率を1.0と0.5の2ケースについて求めた結果を図-2～図-4に示す。

図-2は夏季(2005年8月5日)の快晴日の気象データを用いて解析した結果である。水分蒸発は主に日中に発生しており、夜間の蒸発量はほとんど無視できる。1日の累積蒸発量は、蒸発効率1.0で $4.23[\text{kg}/\text{m}^2]$ 、蒸発効率0.5のとき $3.48[\text{kg}/\text{m}^2]$ となっている。図-3には夏季において、蒸発効率1.0, 0.5, 0.0として、このときの舗装表面温度の変化を示している。表面温度のピーク値は蒸発する水分が無いとき 64°C に達しているが、蒸発効率0.5のとき 43°C 、蒸発効率1.0では 38°C とかなりの温度低減効果が期待できる。

図-4と図-5には、参考までに冬季(2004年12月30日)の気象データを用いて同様に熱伝導解析を行い、水分蒸発量と舗装表面温度を図示した。累積蒸発量は蒸発効率1.0のとき $1.17[\text{kg}/\text{m}^2]$ 、0.5のとき $0.78[\text{kg}/\text{m}^2]$ である。また舗装表面温度は水分蒸発が無いとき 20°C 、蒸発効率0.5と1.0ではそれぞれ 13°C 、 15°C となっている。冬季に水分補給を行わないとすると熱効率0.0と考えることが出来る。

蒸発効率は保水材の種類や保水量の影響を受けられると思われるが、その値は明らかではない。保水性効果について各地で実験が行われており、それらの結果より蒸発効率を推定することが必要である。

5. おわりに

本研究は、保水性舗装の温度低減効果を理論的に評価することを試みた。

本研究から得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) ほとんどの水分蒸発は日の出から日の入りまでの間に起こる。
- (2) 蒸発効率1.0, 0.5, 0.0で夏季の舗装表面温度が 38°C 、 43°C 、 64°C となり、水分蒸発が舗装表面温度に大きく影響することが明らかになった。
- (3) 1日の蒸発量は夏季で約 $4[\text{kg}/\text{m}^2]$ 、冬季で約 $1[\text{kg}/\text{m}^2]$ の蒸発量が予測できる。

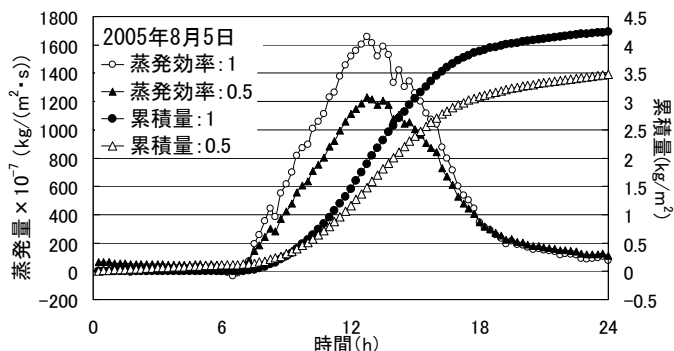


図-2 蒸発効率と蒸発量との関係 (夏季)

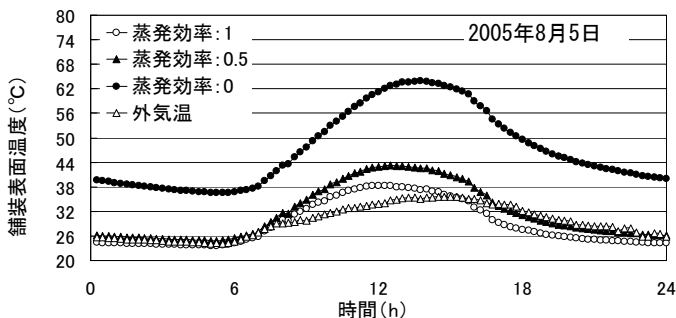


図-3 蒸発効率と舗装表面温度との関係 (夏季)

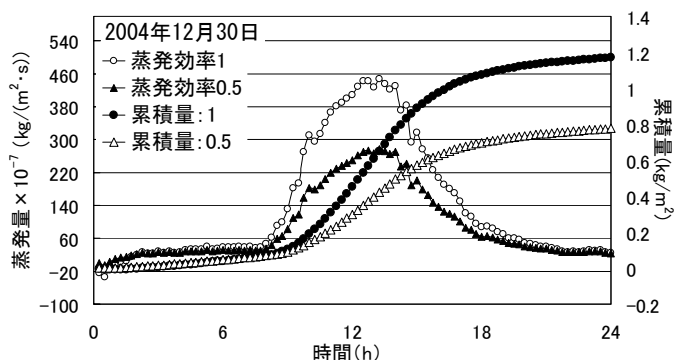


図-4 蒸発効率と蒸発量との関係 (冬季)

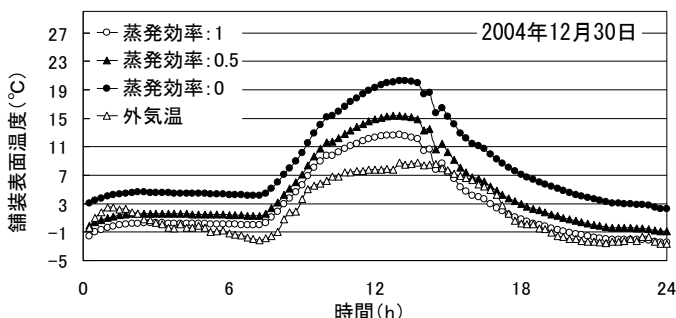


図-5 蒸発効率と舗装表面温度との関係 (冬季)

[参考文献]

- 1) 近藤純正：地表面に近い大気の科学—理解と応用—東京大学出版会，2000，9。
- 2) 小沼幸訓，吉中保，藤波潔，松井邦人：鳩山試験サイトで観測した気象データを用いた大気放射モデルの検証，土木学会舗装工学論文集，第11巻，2006，12。