蒸発冷却舗装システムにおける
保水量と表面濡れ率に着目した熱・水収支モデルの開発

日大生産工(PD)　○円井 基史　　東京工業大　梅干野 晃　　日大生産工　湯浅 昇

1. はじめに

ヒートアイランド対策における地表面被覆の改善策の一つとして、蒸発冷却による表面温度低減を期待する保水性舗装が注目され、多くの研究・開発が進行している。しかしながら、蒸発冷却効果の持続期間が短い、適用場所の検討が十分でない、などの課題が残る。

筆者らはこれまで、雨水貯留と舗装体の毛細管現象に着目した「蒸発冷却舗装システム」（図 1）を提案し、その性能を夏季屋外実験により確認してきた [1)]。本研究では、そこでの実測データを用いて、蒸発冷却性能を予測・評価するための熱・水収支モデルの開発を行う。

2. 保水量変化を考慮したモデル化の考え

夏季屋外実験において、蒸発冷却効果の持続が最も長期間確認されたブロック吸水アーチ型試験体（下層に中空部分を持ち、毛管吸水能力の優れたブロックを用いた舗装システム）を対象とした。図 2 に、舗装システムの断面構成と熱収支シミュレーションに組み込む際にモデル化すべき物性パラメータを示す。本モデルでは、図 3 に示すような舗装システム内の保水量変化と各物性パラメータの関係を考慮した。

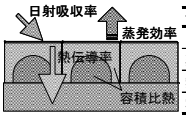
ここで、熱伝導率と容積比熱については、中空部分に保持された水分が蒸発する過程においてはその水位により、ブロック空隙内の水分が蒸発する過程においてはブロックの体積含水率により、それぞれ変化すると考えられる。日射吸収率と蒸発効率は、表面の濡れ率 [1)] に影響を受ける。以上より、物性パラメータを推定する上で、乾燥過程における保水量と表面濡れ率の関係を把握する必要がある。

3. 舗装システムの保水量と表面濡れ率の関係

乾燥過程における舗装システム内の保水量と表面濡れ率の関係を把握するため実測を行った。実測概要を図 4 に示す。表面濡れ率は近赤外水分計により測定した。

実測結果より得られた乾燥過程における保水量と表面濡れ率の関係を図 5 に示す。中空部分に自由水が存在するときは、予備実験にて、その乾燥過程においては常に舗装表面まで吸水が生じることを確認しており、表面濡れ率はほぼ一定であるとした。

図 1　蒸発冷却舗装システムの基本断面構成と適用空間のイメージ



モデル化のパラメータ	対応する部分	値の決定要因
日射吸収率 ［－］	舗装ブロック表面	舗装表面の水分量（表面濡れ率）
蒸発効率 ［－］		
熱伝導率 ［W/m･K］	舗装ブロック本体および空隙	舗装システムの水分量（空隙保水量･含水率）
容積比熱 ［kJ/m³･℃］		

図 2　ブロック吸水アーチ型試験体の断面構成とモデル化すべき物性パラメータ

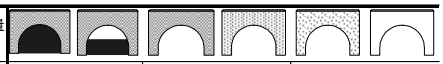
舗装システム保水量変化のイメージ				
保水量の状態		中空部分から蒸発	中空部分が全て蒸発	ブロック保水分が蒸発
各物性パラメータ値の変化	日射吸収率	一定値		ブロック表面の濡れ率により変化
	蒸発効率			
	熱伝導率	舗装システムの水位により変化		ブロックの体積含水率により変化
	容積比熱			

図 3　舗装システム内の保水量変化と各物性パラメータの関係

目的	ブロック乾燥過程における、ブロック表面濡れ率とブロック体積含水率の関係を把握する
測定期間	2006年10/26～11/3
測定場所	東工大すずかけ台キャンパス二階建物屋上
測定項目	体積含水率／表面の濡れ状態
測定方法	ブロックを飽和含水状態とした上で屋外暴露し、表面の乾燥過程において集中的に測定

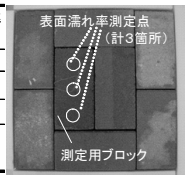


図 4　乾燥過程における保水量と表面濡れ率の実測概要

Development of a Heat and Water Balance Model of Evaporative Cooling Paving System with a Focus on Water Content and Surface Wet Ratio

Motofumi MARUI, Akira HOYANO and Noboru YUASA

実測結果より、保水量の値が 12 ㎜/㎡以下となると急激に表面濡れ率が減少することから、有効保水量（全保水量のうち、蒸発の第一段階（表面濡れ率が高い状態）において蒸発に用いられる水分量）は約 65 ㎜/㎡であることが分かる。

4. 各種物性パラメータのモデル化

表面濡れ率のモデル式を図 6 に示す。夜間におけるブロック表面の濡れ戻り現象（ブロック内部の鉛直含水率分布の均一化と表面での吸湿による表面濡れ率の上昇分）については、体積含水率と相対湿度に影響されることを踏まえた上で、定式化を行った。

図 7 に、導出した各物性パラメータのモデル式を示す。日射吸収率は、分光放射計を用いた実測により表面濡れ率との関係を把握した上で推定式を導出した。蒸発効率については、実測データを用いてバルク式より蒸発効率を求め、表面濡れ率との関係より定式化を行った。熱伝導率と容積比熱に関しては、保水量の変化を考慮して関数化を行った。

5. シミュレーション結果の妥当性の検討

図 8 に夏季屋外実験時における表面温度実測値とシミュレーションによる計算結果の比較を示す。

日中の最高表面温度における両者の差は 1℃以内であった。長期的な表面温度変化の推移を確認すると、舗装システムが十分保水しているときで最大 2～3℃の差が認められるものの、それ以降は概ね計算値と実測値の差は 1℃以内である。特に、モデル化において夜間の濡れ戻り現象を考慮したことにより、考慮しないモデルに比べ、夜間の計算値がより実測値に近づくことが確認された。

6. まとめ

下層に中空部分を持ち、毛管吸水能力の優れたブロックを用いた蒸発冷却舗装システムを対象に、乾燥過程における保水量変化を考慮した熱・水収支モデル（熱収支シミュレーション用の伝熱モデル）の開発を行った。また、計算値を実測結果と比較し、その妥当性を確認した。

謝辞

本研究は、東京工業大学大学院生の松本明広氏の修士論文として行われたものである。ここに記し、深謝の意を表す。

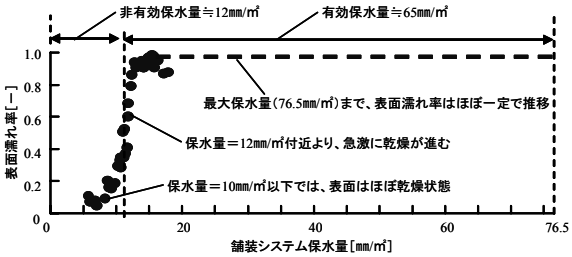
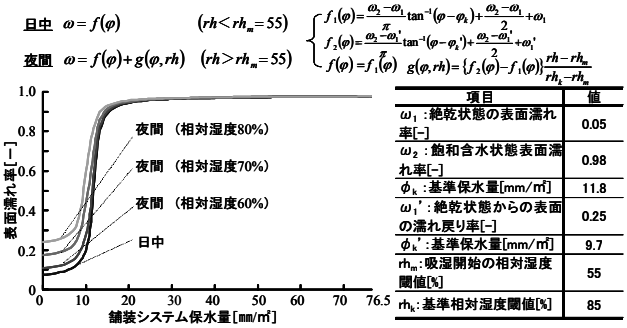
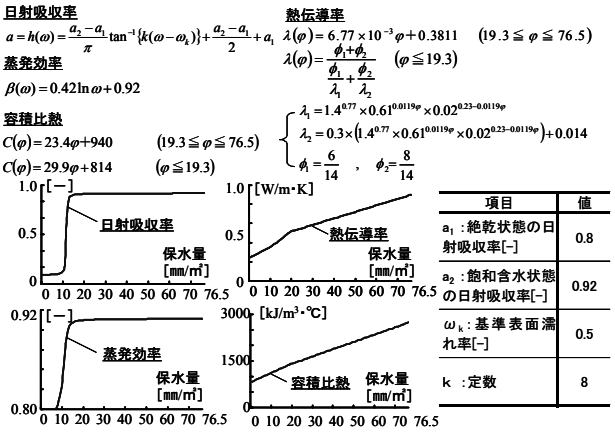


図 5　乾燥過程における保水量と表面濡れ率の関係（実測結果）



項目	値
ω_1：絶乾状態の表面濡れ率[－]	0.05
ω_2：飽和含水状態表面濡れ率[－]	0.98
ϕ_k：基準保水量[mm/㎡]	11.8
ω_1'：絶乾状態からの表面の濡れ戻り率[－]	0.25
ϕ_k'：基準保水量[mm/㎡]	9.7
rh_m：吸湿開始の相対湿度閾値[%]	55
rh_k：基準相対湿度閾値[%]	85

図 6　表面濡れ率のモデル化



項目	値
a_1：絶乾状態の日射吸収率[－]	0.8
a_2：飽和含水状態の日射吸収率[－]	0.92
ω_k：基準表面濡れ率[－]	0.5
k：定数	8

図 7　各物性パラメータの定式化

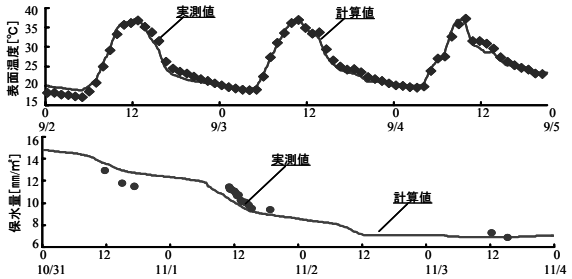


図 8　熱収支シミュレーションにおける計算値と実測値の比較

参考文献

1)　松本明広、梅干野晃、浅輪貴史、円井基史：蒸発冷却舗装システムにおける舗装体の材質と形状に関する検討　毛管吸水に着目した雨水利用型の蒸発冷却舗装システムの開発 その 1、日本建築学会大会学術講演梗概集　環境工学Ⅱ、pp. 665-666、2006. 9