

都市ヒートアイランド緩和策導入による快適環境の創造—保水性舗装導入による効果—

Comfortable environment by mitigate urban heat island –effect of water retention pavement–

○古賀 佑太郎 (大阪大学) 加賀 昭和 (大阪大学)
近藤 明 (大阪大学) 井上 義雄 (大阪大学)
Yutaro KOGA*¹ Akikazu KAGA*¹ Akira KONDO*¹ Yoshio INOUE*¹
*¹ Osaka University

Water retaining pavement is expected to mitigate urban heat island in recent years, because the evaporation of water controls the rise of surface temperature on pavement. The effect of water retaining pavement was confirmed by solving surface energy budget equation. The effect of water retaining pavement was simulated. The simulated result shows that the temperature on the pavement decrease by 1°C and this effect continued for 3 hours.

1. はじめに

1.1 研究の背景

(1) ヒートアイランド現象

近年、都市の急速な発展により多くの高層ビルが建てられて土地の改変により植生が変化し、人工排熱が増加している。これにより、都市部の気温が郊外に比べて高くなるというヒートアイランド現象が発生していると考えられている。実際、大阪での平均気温は過去約 100 年間に 2.1°C 上昇したことが観測されている。これは、昨今の地球温暖化による気温上昇の全国平均の 1.0°C を上回る速さで進行している。この 1.1°C という差がヒートアイランド現象の影響であると考えられる¹⁾。

(2) ヒートアイランド現象緩和策

今日、都市快適のためのヒートアイランド現象緩和策の取り組みがさまざまに行われている。具体的には屋上緑化、壁面緑化、高光反射率素材、保水性舗装などがある。しかし、ヒートアイランド現象の原因は、都市表面が人工物に覆われることに起因するところが大きく、中でも、道路舗装は都市表面の大きな部分を占める。例えば大阪市では市域の約 20% を覆っており、道路舗装の改良が必要である。

道路舗装は、都市ヒートアイランド現象を形成した要因でもあるが、逆の発想をすれば、改良を施すことで大きな効果が期待できると言えるだろう。

(3) 保水性舗装

アスファルト舗装、コンクリート舗装に関係なく一般的な従来型舗装は、水を舗装内部へ浸透させない構造であり、雨水は舗装表面を流れて排水溝へと捨てられる。

内部に水を保持しない舗装材料では、表面が乾燥し、水分蒸発による冷却作用が起こらないので、湿潤した表面に比べて温度が高くなる。

一方、水を浸透する舗装は、このような水を浸透させない従来の舗装構造を見直して、自然の土壌のように水分が内部へと浸透し、これを保持するような機能を付与しようとしたものである。

水を浸透する舗装には、排水性舗装、透水性舗装及び保水性舗装の 3 種類がある。この中でも保水性舗装は、近年、都市ヒートアイランド現象の緩和対策として、路面に用いられるようになった。保水性舗装は、降雨や散水によりもたらされる水分を保水する。そして、晴天時に保水されていた水分が蒸発し、気化潜熱を奪うことで路面温度の上昇を抑制するという機能を有する舗装である(Fig1)。保水性舗装では、開粒度タイプアスファルト混合物の空隙に、吸水・保水性能を持つ保水材を充填する。保水材には、鉱物質や樹脂等のグラウト材や細粒材が用いられる。空隙を比較的小さくすることにより、毛細管現象による間隙保水が可能となる²⁾。

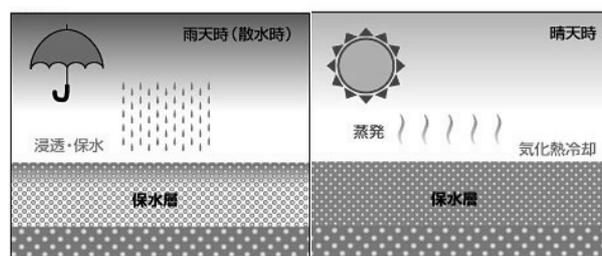


Fig1 feature of water retention pavement

1.2 本研究の目的

本研究は保水性舗装によるヒートアイランド緩和効果を評価するために、保水性舗装導入による熱収支モデルの精度を確認した。次に、この熱収支と同じ理論を3次元モデルに適用した。そして、保水性舗装を街区に敷設し、ある時間で散水した場合の気象を3次元モデルにおいてシミュレーションすることにより検証した。

2. 地表面熱収支モデルと実測値との比較

2.1 はじめに

コンクリート、保水性舗装に対する、地表面へ入射する長波放射 ($L \downarrow$)、地表面から放出される短波放射 ($S \uparrow$)、地表面へ入射する短波放射 ($S \downarrow$)、上空の風速 (u)、大気湿度 (q_a)、外気温度 (T_a) の実験値を入力し、地表面熱収支モデルを解き、以下に示す2つの計算値と実測値の比較を実施した。

- ① T_s : 表面温度
- ② H : 顕熱フラックス

2.2 モデル概要

保水性舗装の表面の熱収支式は以下の式で表される³⁾。

$$Rn = L \uparrow + H + G + LE \quad \dots \dots (1)$$

Rn : 正味放射量 $Rn = S \downarrow - S \uparrow + L \downarrow$ (実測値)
 H : 顕熱輸送量 G : 地中伝導熱流束
 LE : 潜熱輸送量 S : 短波放射 L : 長波放射

また、顕熱輸送量及び潜熱輸送量は以下の式で表される。

$$L \uparrow = \sigma \cdot T_s^4 \quad \dots \dots (2)$$

$$H = \rho \cdot C_p \cdot c_h \cdot u \cdot (T_s - T_a) \quad \dots \dots (3)$$

$$E = \rho \cdot c_q \cdot u \cdot (q_{sat_g} - q_a) \cdot \beta \quad \dots \dots (4)$$

T_s : 表面温度 T_a : 外気温度 c_h, c_q : バルク係数

u : 風速 C_p : 熱容量 ρ : 大気密度

q_{sat_g} : 表面飽和比湿 q_a : 大気比湿 β : 蒸発効率

σ : ステファン・ボルツマン定数

バルク輸送係数 C_h はモニン・オブコフの相似則から定義される。

2.3 蒸発効率

本研究では蒸発効率の実験データを基に体積含水率との関係式を導き出した。蒸発効率と体積含水率の関係は、

ロジスティック曲線で近似した。ロジスティック曲線の式 (5) と図 (Fig. 2) を示す。実験値に多少のばらつきがあるので精度が問題になってくるが、保水性舗装において特徴的なことは、ある体積含水率が 0.040 で蒸発効率が急落することである。この急落が主に地表面温度変化に影響を与えていると考えられるので、体積含水率が 0.040 で蒸発効率が落ち始めるようにした。

$$\beta = \frac{1}{1 + 2500 \exp(-246\theta)} \quad \dots \dots (5)$$

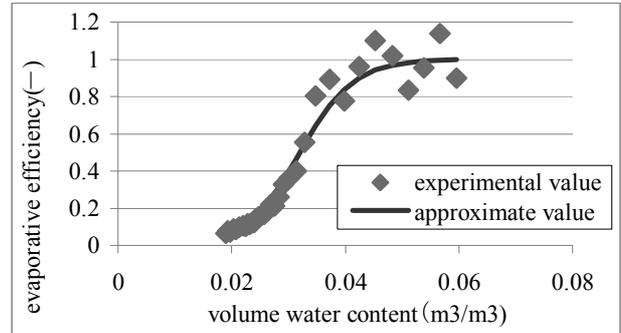


Fig2 logistic curve

2.4 実験設備と実験スケジュール

施工した試験体は、厚さ 10cm の密粒度舗装 (アスファルト舗装)、厚さ 10cm の保水性舗装、保水性と密粒度を厚さ 5cm ずつとした舗装の 3 種である。

実験期間は 2003 年 8 月 20 日から 9 月 5 日までの 16 日間である。保水性能を評価するに際して、5 日間は試験体に人工散水を行い、それ以外の日においては、降雨を対象とした自然状態での評価を行った⁴⁾。

2.4 結果

(1) アスファルト ($\beta=0$) の結果

アスファルトのみでの計算を実施した。アスファルトでの計算においては、潜熱フラックスを考慮しない、式 (4) 中の β の値を 0 とした。アスファルトにおける計算値と、実験値とを比較した。21 日から 23 日まで、表面温度を Fig3、顕熱フラックスを Fig4 示す。

地表面温度、長波放射フラックスおよび顕熱の全てが実験値よりも計算値が大きくな値となった。特に顕熱の違いは顕著であり、実験値の 3 倍近い値になった。計算の顕熱フラックスが大きくなった理由として、アスファルト表面が水分を含んでおり水蒸気輸送が行われていると考えて、蒸発効率の値をいくつか変えて計算を実施した結果、 $\beta=0.1$ のときに顕熱フラックスの計算値と実験値が最も一致した。蒸発効率を一定とする方法はアドホックであり、実際はアスファルトからの潜熱蒸発はなく、何故このように考えるとデータが一致するのか検討する必要がある。

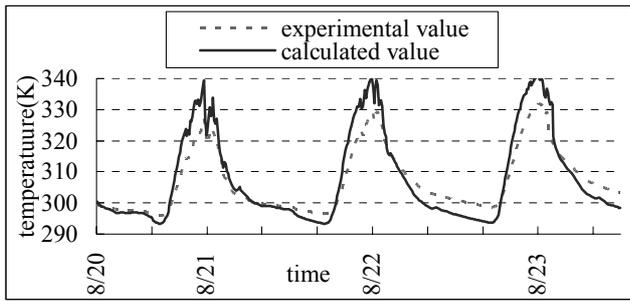


Fig3 ground temperature

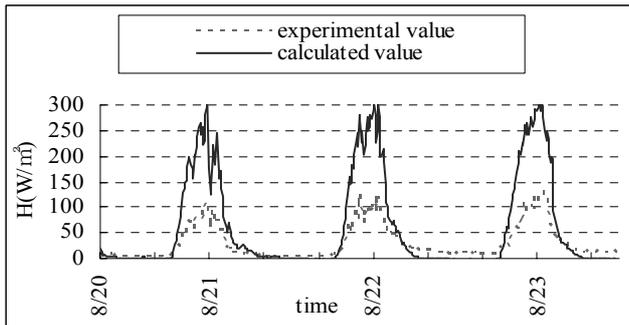


Fig4 sensible heat

(2) アスファルト ($\beta=0.1$) の結果

アスファルトでの計算で、式(4)中の $\beta=0.1$ として計算を行った。アスファルトにおける計算値と、実験値と比較した。21日から23日まで表面温度をFig5に、顕熱フラックスをFig6に示す。 $\beta=0.1$ とした場合、 $\beta=0$ の場合よりも実験値に近くなる。しかし、夜間の表面温度の計算値が実験値に比べて低くなる傾向が見られる。

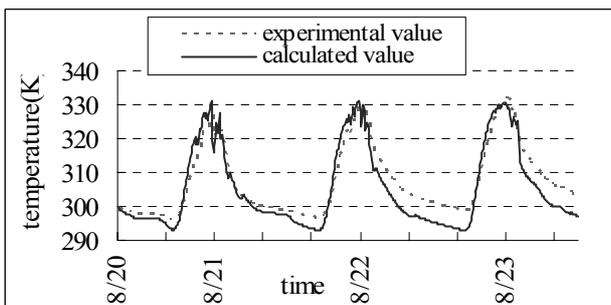


Fig5 temperature

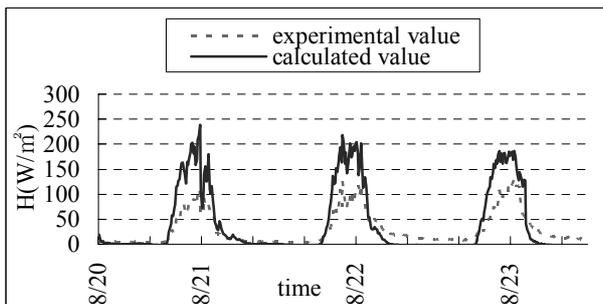


Fig6 sensible heat

(3) 保水性舗装 (10cm) の結果

保水性舗装 (10cm) で計算を行った。実験期間の2003年8月20日から9月5日までの16日間のうち、8月21日、22日、25日、26日、9月1日に散水を実施し、それ以外の日には散水を実施しなかった。散水時において、保水性舗装内の水分含水率は、飽和含水率とし、余分な水分は流出したと仮定した。散水終了以降は、保水性舗装内の水分含水率は蒸発分だけ減少するとした。

散水日21日、22日を含む、21日から23日までの表面温度をFig7に、顕熱フラックスをFig8に示す。

散水が実施された21日から22日にかけて、表面温度、放射フラックス、顕熱フラックスの計算値と実験値は良い一致を示している。保水性舗装が10cmであるので、保水性舗装内に多くの水分が保持され、高い蒸発効率が長時間保持されたためである。

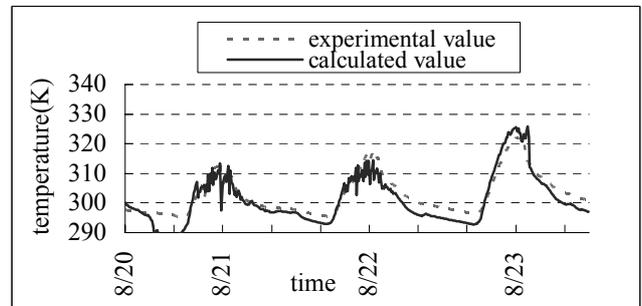


Fig7 temperature

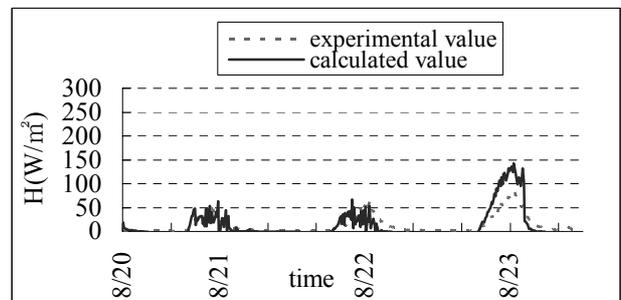


Fig8 sensible heat

3. 3次元モデルでの散水実施における気象変化の評価

乱流モデルとして標準 $k-\epsilon$ モデルを、解法として SIMPLE 法を用い、また移流項の差分法としてべき乗法を用いて、都市の熱・気流解析を行った。

計算領域は大阪府庁近くの街区をモデルにデフォルメした。計算は以下に示す4つの場合で、計算期間を1日として計算を行った。Fig9 に計算領域を示す。左図の矢印で示す領域が散水を実施した領域である。右は計算領域の透視図を示す。

Case1 散水の実施を想定しない場合

Case2 8時から9時まで散水の実施を想定した場合

Case3 12時から13時まで散水の実施を想定した場合

Case4 17時から18時まで散水の実施を想定した場合

これらの結果より、Case2, 3, 4 の場合と①との地表面温度差 (Case2, 3, 4, の計算値から Case1 の場合の計算値を引く) をそれぞれ3つの場合で算出し、比較した。Fig10 に Case2, 3, 4 の散水終了直後の Case1 との地表面温度差を示す。

Fig11 に散水を実施した3つの場合の各々と散水を実施しない場合との地表面比湿の比較のグラフを示す。期間は、散水開始時から4時間とした。散水を実施しなかった場合と最も大きく差が出たのは12時から13時散水した場合の散水直後(12時)で、30%の差であった。8時から9時に散水を実施した場合では、比較的長時間にわたり保水されているのが分かる。

朝方に散水する場合が最も温度が下がり、また保水時間も長くなるのが分かった。

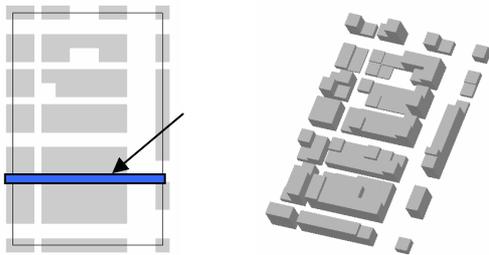
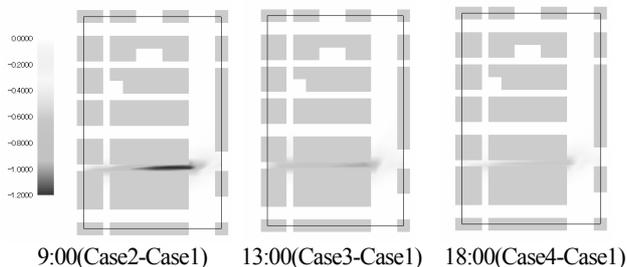


Fig9 calculating area



9:00(Case2-Case1) 13:00(Case3-Case1) 18:00(Case4-Case1)
Fig10 temperature difference

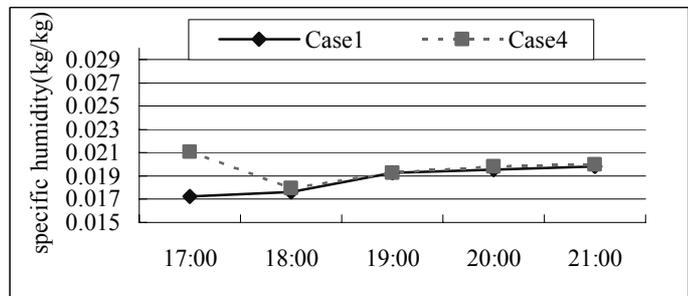
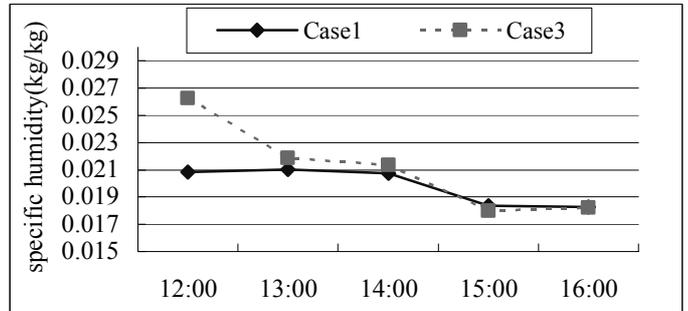
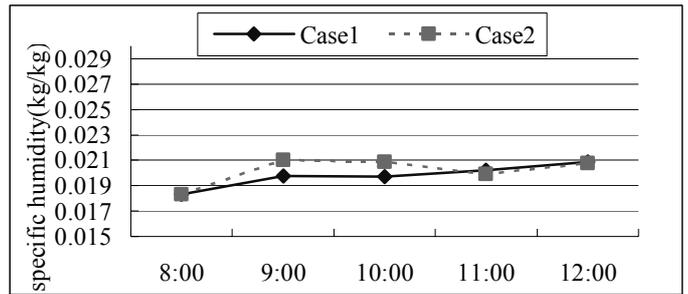


Fig11 comparison of specific humidity

4. おわりに

地表面熱収支モデルでは、計算値と実測値とは良い一致を示した。特に保水性舗装(10cm)では実測値とほぼ一致したことから非常に高い精度であったと考えられる。散水の実施期間は長時間の保水が期待できる朝方などの涼しい時間で行うと、温度低下が最も大きくなった。また、散水の実施による水分の蒸発で、湿度が上がってしまい、快適性が下がってしまうと考えられるが、朝方などの涼しい時間で散水を行うと湿度の上昇は、他の時間帯に比べると小さい。

参考文献

- 1) 大阪市 URL : <http://www.city.osaka.jp/>
- 2) 保水性舗装技術研究会 URL : <http://www.hosuigiken.jp/>
- 3) 近藤明 塩谷健司著 「水利用によるヒートアイランド緩和効果」 空気調和衛生工学, 80,749-753,2006
- 4) 小作好明 春日井哲夫 橋本一郎 古賀睦 高根澤浩二著 「保水性舗装に散水した場合の熱輸送量への効果」