

風洞実験を用いた舗装面-大気間の熱交換過程の検討

法政大学大学院デザイン工学研究科 学生会員 ○木下 孝介
 東京都下水道局 佐々木 麻
 法政大学デザイン工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

ヒートアイランド対策を合理的に講ずるためには、流体解析などによってストリートキャニオン内の熱環境緩和効果を評価することが重要である。それには境界条件である地表面および建物壁面における熱交換過程を把握することが不可欠となる。これについてはこれまで多くの研究者により、現地観測や風洞実験によって検証されてきたが、一義的に決定する方法は確立されていない。

そこで、本研究では地表面-大気間の熱交換過程に対する知見を得ることを目的として、風洞実験装置を作製し、舗装改善に伴う熱収支特性の変化を把握することを試みた。

2. 風洞実験の概要

気象条件が不安定な現地において舗装改善に伴う熱収支特性の変化を把握することは容易ではないことから、本研究では気象条件を制御することが可能である風洞を利用する方法を選定した。

(1) 実験装置

風洞実験装置は、図-1に示すように送風機、風洞(拡散胴・整流胴・縮流胴・測定胴・排気胴)、加熱ランプ、観測タワー(測定高度 10, 30, 50, 100, 150, 300mm)、各種センサ(熱電対・湿度センサ)から構成される。送風機

は風洞内の風速を 2~3m/s 程度に保つことが可能であり、風洞は一様乱流に近い鉛直風速分布が得られる構造を有する。流入風の温度は実験室内の空調設備によって制御され、測定胴および排気胴の周囲は断熱材で覆われている。なお、測定胴の底面の舗装部にはアスファルト舗装または高反射性舗装が設置され、上部の加熱ランプから熱が供給される。

(2) 実験方法

実験の手順を表-1に示す。各実験ステップは使用機器の操作によって開始され、地中伝導熱が定常状態に達したとき終了もしくは次ステップに移行する。この間、放射量と諸温度をデータロガに 30s 間隔で記録し、また、任意の時間にサーモカメラにより舗装の表面温度を測定した。風速についてはポータブル風速計を用いて排気胴の流出口において初期およびステップ 1 の終期に 15Hz で 1 分間のビデオモニタリングを行った。

(3) 熱収支式によるバルク係数の算定方法¹⁾

次に基づいた熱収支式の残差として顕熱輸送量を算定する。次いで、強制対流条件下(ステップ 1 およびステップ 3)に対しては(2)式によってバルク係数を求める。このとき、潜熱輸送量はゼロと仮定する。

$$(1-ref)S^{\downarrow} + L^{\downarrow} - (\sigma T_s^4 + H + IE + G) = 0 \quad (1)$$

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad (2)$$

ここに、*ref* : アルベド(アスファルト舗装 0.12, 高反射性舗装 0.36), *S*[↓] : 日射量(入射), *L*[↓] : 大気放射量, σT_s^4 : 地表放射量, *H* : 顕熱輸送量, *IE* : 潜熱輸送量, *G* : 地中伝導熱, *c_p*ρ : 空気の体積熱容量, *C_H* : バルク係数, *U* : 代表風速, *T_s* : 表面温度, *T_a* : 空気の代表温度である。

表-1 風洞実験の手順

| 実験ステップ | 風速場 | 温度場 | 使用機器 | 計測時間(s) |
|--------|------|-----|-----------|---------|
| 初期 | 強制対流 | 等温 | 送風機 | 3600 |
| 1 | 強制対流 | 加熱 | 送風機+加熱ランプ | 7200 |
| 2 | 自然対流 | 加熱 | 加熱ランプ | 7200 |
| 3 | 強制対流 | 冷却 | 送風機+加熱ランプ | 7200 |
| 終期 | 強制対流 | 冷却 | 送風機 | 3600 |

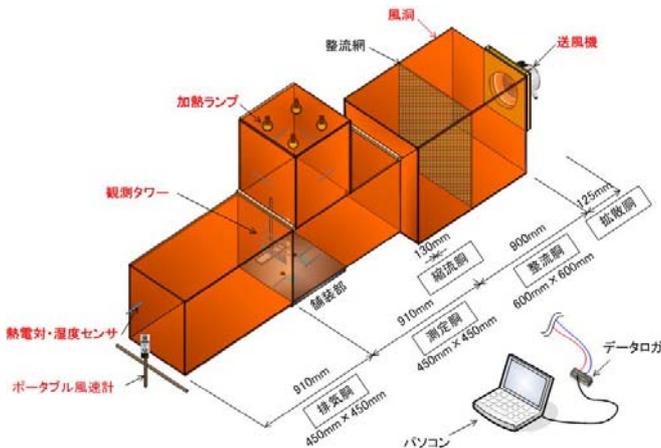


図-1 風洞実験装置

キーワード 風洞実験, 舗装改善, 熱交換過程, 地表面熱収支式, バルク係数, バルクリチャードソン数

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部 TEL 03-5228-1443 E-mail : oka@hosei.ac.jp

3. 実験結果

(1) 舗装別の表面温度の差異

500W/m² 程度の日射量を供給した場合の表面温度の測定結果を図-2に例示する。ステップ1では約4℃、ステップ2では約12℃の表面温度の低下が見られた。また、熱電対による表面温度とサーモカメラによる放射温度は、両舗装においてステップ1では近似した値を示しているが、ステップ2では、加熱ランプ近傍の壁面の温度が70℃以上まで上昇しており、反射作用によって放射温度が過大に評価される結果となった。

(2) 熱収支の変化

図-3は舗装別の熱収支特性を表したものである。高反射性舗装ではアスファルト舗装に比べてアルベドが大きいので、反射日射量が増加しているが、他の放射量は表面温度に比例した値をとる。ただ、同図では表面温度の小さい高反射性舗装の地中伝導熱が大きくなっている。それゆえに、(1)式による顕熱輸送量およびバルク係数の評価に関して地中伝導熱は支配的なパラメータであるため、データを蓄積することにより熱分配過程を照査する必要がある。

4. 熱交換過程の定式化に関する考察

アスファルトのバルク係数と大気不安定度(バルクリチャードソン数)の関係を図-4に示す。バルクリチャードソン数(Rb)は(3)式で表され、一般的に大気不安定度が中立に近いほどバルク係数は低下するといわれている。

$$Rb = \frac{gz}{T_a} \frac{T_a - T_s}{U^2} \quad (3)$$

ここに、g：重力加速度、z：代表高度である。

舗装面近傍では摩擦の影響を受けて風速が弱まっているため、代表高度が大きくなるにつれて大気は不安定となり、(2)式から算定されるバルク係数が小さくなっている。しかし、これらのバルク係数は、アスファ

ルト舗装での文献値²⁾と比べると1オーダー近く大きい。また、本実験では、中心高度付近の風速の変動に長周期化傾向が見受けられ、風洞内では表面-代表高度間の熱交換が瞬時に行われている。したがって、上述の差異は境界層が未発達であったことに起因していると推察される。

5. まとめ

舗装を高反射性舗装へ改善することは、熱分配過程の変化により表面温度が低下し、熱環境緩和に効果的であることが示された。ただ、風洞実験では風熱環境は制御できるが、現地とは異なり境界層の未発達な部分を含んだ結果となる。したがって、実験より得られたバルク係数を現地に適用する場合には、乱れの強さを勘案した補正が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 萩島理・谷本潤・成田健一(2004)：都市表面の対流熱伝達率に関する既往研究のレビュー，水文・水資源学会誌，Vol.17，No.5，pp.536-554.
- 2) 福田萬大・深沢邦彦・荒木美民・藤野毅・浅枝隆(1997)：夏季自然状態での各種舗装の熱環境緩和特性に関する実験的研究，土木学会論文集，No.571，V-36，pp.149-158.

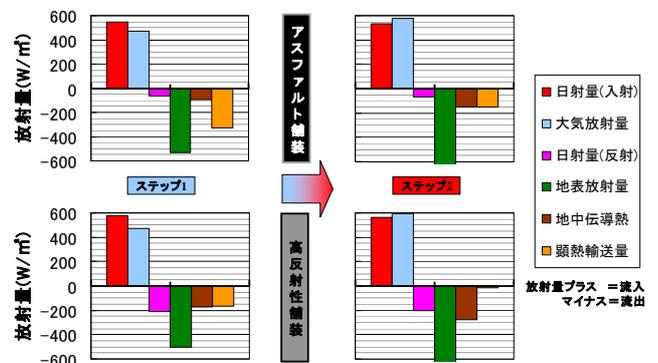


図-3 舗装種別の地表面熱収支の変化

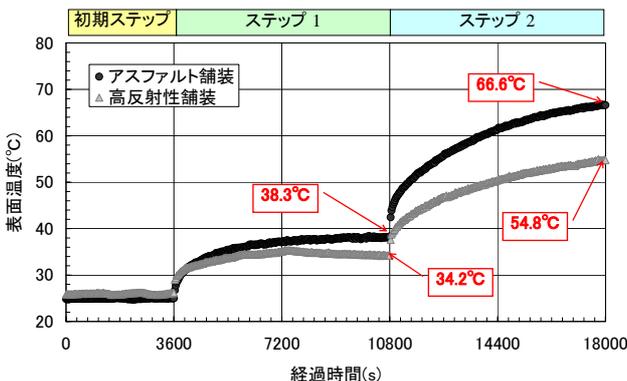


図-2 表面温度の計時変化

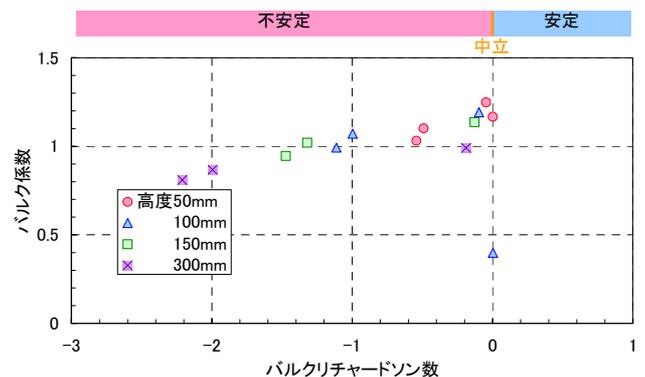


図-4 リチャードソン数とバルク係数の関係