駐車場の舗装構造改善と緑化による夏季の温熱環境改善効果

The Effect of Improved Pavement and Vegetation to Improve the Thermal Environment of Car Parks in Summer

橋田 祥子* 青木新二郎** 藤崎健一郎*** 加治屋亮一* 酒井 孝司*

Shoko HASHIDA Sinjiro AOKI Kenichiro FUJISAKI Ryoichi KAJIYA Koji SAKAI

Abstract : The purpose of this study is to clarify the effects on reducing temperature by improving the pavements and planting turf or trees. The "water retention pavement" and the "reflective and permeable pavement" were settled on the car park. Turf with protecting material against the weight of cars was planted on another area. In addition to these three types of surfaces, gravel surface, regular asphalt and the area under shading trees were selected as other three types of surfaces. Surface temperature and underground temperature at 7cm depth were measured at those six types of the surface areas during summer in 2008. The lowest temperature was observed at the area under the shading tree. The next lower area was the turf. At the area of the "water retention pavement" and the "reflective and permeable pavement", the temperature were about 17°C higher than the area under the shading tree, but about 10°C lower than the area of the regular asphalt pavement at the hottest hours in mid summer. The globe temperatures were measured by using globe thermometers. The globe temperatures under the shading trees were almost as same as the air temperature. But the difference of globe temperature between the area under the shading tree and other area were more than 10°C during mid day hours in sunny summer days.

Keywords: Thermal environment, Car park, Tree shade, Lawn surface, Water retention pavement, Reflective and permeable pavement, Measurement

キーワード: 温熱環境, 駐車場, 緑陰, 芝生化, 保水性舗装, 遮熱排水性舗装, 実測

1. はじめに

ヒートアイランド現象が深刻化し、真夏日や熱帯夜の発生日数が急増して熱中症などの健康被害が続いている¹⁾。この原因の1つが地表面の舗装による蒸発冷却能力の低下である²⁾。このような現状において大都市では、ヒートアイランド対策として道路舗装の改良が活発に進められ、水分蒸発を用いて温度低減を図る保水性舗装や、日射反射率を向上させる高反射舗装などが用いられている³⁾。しかし駐車場については、まだほとんどが従来のアスファルト舗装であり、夏季の駐車場の劣悪な環境は耐え難い。都市域において、駐車場の占める面積は公園緑地より大きい⁴⁾、駐車場の緑化やクールペイブメント化は極めて重要といえる。また、高密度化した都市域に新たな公園用地を取得することは困難であるのに対して、駐車場は構造的な制限が殆ど無く緑化の推進もしやすい⁵⁾、駐車場を緑化し、都市の新たな冷却面とすることの意味は大きい。駐車場の地表面温度を何らかの方策により下げることが、ヒートアイランド現象の緩和に繋がる。本研究では、実際に供用されている駐車場を対象地として、温度の低減を目的とした保水性舗装、遮熱排水性舗装、芝生化を行い、効果を比較するフィールド実験を行った。

2. 実験方法

(1) 調査区の概要

実験は東京都多摩市の京王線聖蹟桜ヶ丘駅近くのポート聖蹟桜ヶ丘駐車場（以後、駐車場とする）で行った。2008年6月に駐車場の図-1、図-2に示す位置に、①芝生（シバ：*Zoysia japonica*）、②保水性舗装、③遮熱排水性舗装を既存アスファルトを撤去して碎石を補充した上に設置した。以上の3箇所に、④アスファルト舗装（既存アスファルト層の上部を削り下部を残して再舗装）と、⑤高木（既存）（イチョウ（*Ginkgo biloba*）樹高約10mと、ムクノキ（*Aphananthe aspera*）樹高約6m）の緑陰、⑥砂利（既存）を加えた6箇所を調査対象区とした。芝生面は土壌による保水および透水機能もあり、蒸散による気温の低

図-1 駐車場の平面図と各種土地被覆および温度測定点

図-2 駐車場の俯瞰写真

減に加えて二酸化炭素吸収などの環境負荷削減機能がある。保水性舗装は日射による熱を潜熱消費するため、舗装面温度の上昇を抑制する効果が期待できる。遮熱排水性舗装は通常の排水性アスファルト舗装の表面に、日射反射率の高い表面処理剤を塗布したものである。通常のアスファルト舗装の日射反射率は6%程度と小さく、日射を受けると表面が高温になるのに対し、遮熱排水性舗装（黒色～グレー）の日射反射率は25%～40%程度であり、表

*明治大学 **パーク24(株)パーキング総合研究所 ***日本大学

面温度の上昇が小さく、夏季の熱帯夜軽減に寄与することが期待できる³⁾。また、耐久性にも優れ、カラー舗装が可能などの利点もある。これらの舗装工法が、現行のアスファルト舗装と比べてどの程度の温度低減効果があるか、また樹木の緑陰による効果はどのくらいであるかを知ることを目的として調査区を設定し、舗装の改修工事を行なった。①芝生、②保水性舗装、③遮熱排水性舗装、④アスファルト舗装、⑤高木（既存）の緑陰、⑥砂利（既存）の測定地点の断面図を図-3にそれぞれ示す。

図-3 各調査区の断面図と測定点（単位：mm）

（2）測定項目

測定項目、測定期間、測定ポイント、測定機器を表-1に示す。

表-1 測定概要

測定項目	測定期間	測定ポイント	測定センサー	データ記録機器
気温	8/1～8/31	A	江藤電気社製 T 型熱電対 0.32φ	マイクロ・データロガー・サーミック 2300A
地中温度(7cm)	8/1～8/31	B, C, D, E, F	江藤電気社製 T 型熱電対 0.32φ	マイクロ・データロガー・サーミック 2300A
地表面温度(小型ロガー)	8/8～8/15	b, c, d, e, f, g	サーミスタ	T&D ThermoRecorder TR52S
地表面温度(赤外線サーモグラフィ)	8/13～8/14	b, c, d, e, f	NEC San-ei THERMO TRACER TH9100PMV	NEC San-ei THERMO TRACER TH9100PMV
黒球温度	8/13～8/14	b, e3, f	安藤計器 黒球温度計	T&D ThermoRecorder TR52S

（i）気温

気温は、図-1に示す地点 A の地上 1.5m に設置したデータロガーの収納箱の下面に穴を開け、熱電対の先端部分を 3cm 外へ露出し、日射遮蔽された状態で 10 分間隔で測定した。

（ii）地中温度

地中温度は図-1に示す地点 B～F のそれぞれ地下 7cm に熱電対を埋設して 10 分間隔で測定した。

（iii）地表面温度

①自記式小型データロガーによる地表面温度測定

自記式温度データロガー（品番は表-1 参照）を地表面に固定し、日射を遮る板をその上部に設置して 10 分間隔で測定した。

②赤外線サーモグラフィによる地表面温度測定

2008 年 8 月 13 日 9 時から 8 月 14 日 12 時まで 1 時間ごとに、隣接する京王電鉄立体駐車場屋上に設置した赤外線サーモグラフィを用いた俯瞰撮影により地表面温度を測定した。

（iv）黒球温度

黒球温度は、図 1 の b, e3, f 地点の地上 1.2m に三脚を用いて設置した黒球温度計（直径 15cm）を用いて 10 分間隔で測定した。

3. 結果と考察

（1）気温および地中温度

数日ごとに抽出した期間の気温と降水量ならびに各試験区の深さ 7cm の地中温度を図-4～図-8に示す。これらのグラフから、地中温度の低減効果が最も大きいのは高木の緑陰であり、次に効果が大きいのは芝生化された面であることが明らかになった。図-4は 8 月 14 日～16 日である。8 月 15 日は 2008 年度の夏期の最高気温出現日（気象庁アメダスデータ（府中））であるが、最高

気温出現時刻において、保水性舗装と遮熱排水性舗装の地中温度は高木の緑陰の地中温度よりも約 17℃ 高く、芝生の地中温度よりも約 10℃ 高かった。しかし、アスファルト舗装の地中温度と比較すると、約 10℃ 低かった。図-5は 8 月 17 日～20 日である。17 日午後には大量の降雨があり、その後は晴天が続いた。図-6は 8 月 21 日～25 日である。23 日の午後から降雨が続いた。雨天の場合は各試験区の差異は小さかった。図-7は 8 月 26 日～28 日である。断続的に雨天が続いていた。27 日の保水性舗装は芝生とほぼ同じ程度に低温を保っていた。図-8は 8 月 29 日～31 日である。29 日早朝に豪雨があり、その後も連日夜から朝にかけて降雨があった。降雨後に時間が経つにつれて試験区間の地中温度の差が大きくなる傾向が見られた。図-4～図-8を通して、一般的な傾向として以下のことが言える。晴天の時には芝生は他の舗装区に比べて地中温度が低いことが明瞭であり、高木の緑陰は芝生よりもさらに地中温度が低かった。降雨の後には一時的に保水性舗装が芝生よりも地中温度が低くなる場合も見られた。また、気温の低い日の夜間には、芝生の方が遮熱排水性舗装や保水性舗装よりも地中温度が高い場合も見られた。

図-4 8/14～8/16の気温と地中7cmの温度

図-5 8/17～8/20の気温と地中7cmの温度

図-6 8/21～8/25の気温と地中7cmの温度

図-7 8/26～8/28の気温と地中7cmの温度

図-8 8/29～8/31の気温と地中7cmの温度

(2) 地表面温度

(i) 自記式小型データロガーによる地表面温度測定結果

図-9に小型データロガーによる8月13日～15日の地表面温度の測定結果を示す。簡易に駐車場を造成するために砂利を敷く場合があり、本駐車場試験区内にも砂利面が追加施工されたため、比較のため砂利面でも測定を行った。

図-9 地表面温度測定結果

日射が最も強くなる12時から1時間ほどの間にピークが見られた。3日間晴天が続いた8月13日～8月15日の最も暑い時間帯においては以下のことが言える。アスファルト表面は55°C～60°C近くまで上昇した。遮熱排水性舗装と保水性舗装も表面温度についてはアスファルトとあまり変わらない温度まで上昇した。芝生と砂利はアスファルトに比べて8°C程度低い温度となっていた。ただし、砂利面についてはセンサーの貼付位置を砂利粒の底面にしたため、低めの温度に観測された可能性もある。高木の緑陰の温度は27°C～28°Cで推移しており、日射の当たる地表面とは25°Cを超える顕著な違いがあった。

(ii) 赤外線サーモグラフィによる地表面温度測定結果

赤外線サーモグラフィで撮影した画像を図-10～図-15に示す。解析は図中の□で囲まれた範囲の360ピクセルについて行った。図中の点線枠(□)の上に記載した数値の上段は360ピクセル

中の最高温度で、下段は最低温度である。樹木については樹冠の表面温度が示されている。図-10から図-15の表面温度データを用いて図-16を作成した。図-16から、8月13日の12時には、芝生も保水性舗装も高温化していることが判る。8月13日は、9日間晴天が連続しており、前日は熱帯夜であった。このような状態では、保水性舗装と芝生の効果は小さかった。

図-12 2008年8月13日 21時の熱画像

図-13 2008年8月14日6時の熱画像

図-10 2008年8月13日12時の熱画像

図-14 2008年8月14日9時の熱画像

図-11 2008年8月13日15時の熱画像

図-15 2008年8月14日12時の熱画像

図-16 地表面被覆素材別の表面温度の比較

一方12時において、樹木の樹冠の表面温度はアスファルト舗装の表面温度より17.2℃低かった。表面温度の最低値については芝生、保水性舗装、遮熱排水性舗装の差はほとんど見られず、いずれもアスファルト舗装よりも9℃程度低かった。15時において、表面温度の最低値で最も低かったのは樹木の樹冠であり、次に低いのは芝生であった。21時には日射が無くなり、高木樹冠よりも芝生の表面温度の方が低くなった。最低温度は芝生が最も低く、アスファルト舗装より5.5℃低かった。夜明け直後の6時の表面温度の最高値はアスファルト舗装であり、最低値は芝生でアスファルト舗装より3.2℃低かった。日射が当たりはじめて4時間経過した午前9時には、表面温度の最高値は芝生となった。芝生は熱容量が小さく日射が当たり始めるとすぐに表面温度が上昇し、保水性舗装よりも温まりやすいことが判った。最低値は樹木でアスファルト舗装よりも14.3℃低く、芝生と保水性舗装の差は小さくアスファルト舗装よりも8.3℃低かった。14日12時の表面温度の最高値から芝生の表面温度が保水性舗装や遮熱排水性舗装よりも高温化する場合があることが判った。最低値では、芝生と保水性舗装の差は1℃程度と小さく、アスファルト舗装よりも13.5℃低く、樹木の樹冠よりも11.2℃高かった。

表-2、表-3に地表面被覆素材毎の360ピクセルの平均温度とそれらの気温との差および、気温を示す。ここで気温との差を求めた理由は、温度差が顕熱量の指標とみなせるためである。表-2と表-3の結果から、気温との差の平均値は芝生が5.7℃、保水性舗装が5.7℃、遮熱排水性舗装が7.1℃、アスファルト舗装が11.8℃、樹冠が-0.6℃となり、気温を冷却するポテンシャルが最も高いのは樹冠、次に芝生と保水性舗装であった。

(3) 黒球温度

真夏の晴天日であった8月13日～14日の黒球温度測定結果を図-17に示す。芝生舗装上、アスファルト舗装上、高木の緑陰で比較すると、8月13日の11時頃までは、芝生面の黒球温度が最も高く、次いでアスファルト面が高く、天空からの日射が遮蔽されている高木の緑陰の黒球温度は最も低く、ほぼ気温と同じであった。11時以降は、アスファルト面の黒球温度が芝生面の黒球温度よりも高まり、17時過ぎから明け方にかけては、芝生面の黒球温度は高木の緑陰よりも低下した。これは、芝生面の天空率(92.3%)が樹陰の天空率(17.2%)よりも高く、芝生面の方が実効放射が大きいためと思われる。天空率の算定はそれぞれの地点の地上1.5mで画角180°の魚眼レンズによる天空写真撮影を行い、地点別に天空の占める形態係数を算定した。算定法は文献⁶⁾に従った。

4. まとめ

駐車場のヒートアイランド抑制対策として効果が期待されている保水性舗装、遮熱排水性舗装、芝生、高木の効果を比較するため、地中7cmの温度と地表面温度および黒球温度の測定を行っ

表-2 表面温度の平均値の比較 8/13日 (括弧内は気温との差)

	13日12時	13日15時	13日21時
① 芝生	48.0(13.0)	34.9(3.5)	27.0(-2.2)
② 保水性舗装	46.0(11.0)	37.3(5.9)	30.6(1.4)
③ 遮熱排水性舗装	47.4(12.4)	38.4(7.0)	30.7(1.5)
④ アスファルト舗装	54.4(19.4)	42.8(11.4)	32.9(3.7)
⑤ 樹冠	36.7(1.7)	31.4(0.0)	28.6(-0.6)
気温	35.0	31.4	29.2

表-3 表面温度の平均値の比較 8/14日 (括弧内は気温との差)

	14日6時	14日9時	14日12時
① 芝生	25.6(-1.4)	38.9(5.4)	53.4(15.7)
② 保水性舗装	27.3(0.3)	37.4(3.9)	49.4(11.7)
③ 遮熱排水性舗装	27.9(0.9)	39.6(6.1)	52.2(14.5)
④ アスファルト舗装	29.5(2.5)	44.5(11.0)	60.7(23.0)
⑤ 樹冠	26.2(-0.8)	30.1(-3.4)	37.3(-0.4)
気温	27.0	33.5	37.7

図-17 2008年8月13日～14日の黒球温度の比較

た。2008年8月14日～31日の測定結果から、地中7cmの温度では、舗装の改善と緑化の中で最も効果の大きかったのは樹木の植栽であり、次いで芝生面であるという知見を得た。晴天日が連続した2008年8月13日12時～14日12時までの地表面温度では日射が当たると熱容量の小さい芝生面の温度の急上昇が見られたが、夕方から夜間には芝生面が高木の樹冠よりも低温化した。芝生は出入が頻繁な車路(図-2の「①芝生」の右側の黒い部分)では車の走行による葉の擦り切れが起こり、土が露出する部分があったが、駐車区画(図-2の「①芝生」の左側の緑の部分)では十分に芝が生育した^{注1)}。自動車の走行による磨耗を軽減できるような芝生の造成と管理方法の開発が今後の課題である。保水性舗装と遮熱排水性舗装の効果は、緑化には及ばないがアスファルト舗装に比べると明瞭に温度を低減させていた。芝生に比べて通行による擦り切れやエンジンの廃熱の影響を受けにくいなどの利点があるため、各駐車場の形状や利用頻度に応じてこれらの手法を有効に組み合わせることで、ヒートアイランド現象の緩和にも効果を発揮できると考えられる。

謝辞:京王電鉄(株)中川太郎氏には夏季測定に、タイムズ(株)池野勝宏氏、杉岡重彦氏、絹川いずみ氏には夏季測定及び芝生管理に、サカタのタネの石川智大氏には芝生管理にご協力戴きました。ここに記して謝意を表します。

注記1) 本研究においては、芝生の管理コストの算出や芝生の育成方法についての研究にも取り組んでおり、芝生化を実際に行った車路は常に養生しなくては維持できないという結果を得ている。

引用文献

- 梅干野晃(2006):ヒートアイランド対策と3D-CAD対応型熱収支シミュレーションによるその効果の予測・評価:日本ヒートアイランド学会設立記念特集号, 4-11
- 森山正和・竹林英樹:グラスパーキングの推進によるヒートアイランド緩和効果に関する研究:URBAN GREEN TECH No.66, 32-35
- 西岡真穂・鍋嶋美奈子・若間賢志・上田淳也(2006):高反射型アスファルト舗装の表面温度低減効果と路上の熱環境特性:日本ヒートアイランド学会設立記念特集号, 76-82
- 藤崎健一郎・勝野武彦・高橋理喜男・葉山嘉一・千村俊介(1994):駐車場の緑化推進手法:環境情報科学論文集, 64-68
- 山田宏之:ヒートアイランド対策と都市緑化技術:URBAN GREEN TECH No.66, 10-13
- 日本建築学会設計計画パンフレット24:日照の測定と検討:彰国社, 3-34