周辺環境および立地環境の違いが保水性舗装の夏季気候緩和効果に与える影響

Study on the influences of surrounding condition of location on the effectiveness of water retentive pavement during the summertime

中島 遥希* 村上 暁信**

Haruki NAKASHIMA Akinobu MURAKAMI

Abstract: The purpose of this study is to analyze how surrounding conditions of pavements affect thermal comfort by water retentive pavements during the summertime. Firstly, substantial urban areas were developed as 3D-CAD models by using thermal environment simulation tool. Then, the surface temperature distributions of the actual condition with ordinary asphalt pavements and of the condition in which asphalt pavements were replaced by water retentive pavements were calculated. Finally, relationships between the differences of surface temperature and the surrounding conditions of location were analyzed. The result indicated that the effect of water retentive pavements was small on the north side of buildings and trees compared with others. Not only that, the result revealed that the north part of east-west road had a large effect on thermal comfort while the effect of north-south road varied in place to place.

Keywords: *thermal environment, water retentive pavement, spatial form, material, urban planning*

キーワード: 熱環境, 保水性舗装, 空間形態, 材料, 都市計画

1. 研究の背景と目的

近年, 都市部では気温が上昇するヒートアイランド現象が問題となっている。ヒートアイランド現象が生じる主な原因として建物の高密度化, 地表面被覆の人工化, 人工排熱の増加が挙げられている。地表面被覆の人工化とは, 森林や農地などの自然的土地被覆が建物・道路などの人工的土地被覆に変化したことを指す。人工的土地被覆は自然的土地被覆と比べて地表面による蒸発散量が少なく, 日射による熱を蓄えやすい性質を持つことから地表面温度が上昇しやすく, その結果として気温を上昇させる。このような地表面被覆の人工化によって生じる地表面温度の上昇と顕熱フラックスの上昇への対策としては, 「保水性舗装」の整備による改善方法がある。

保水性舗装は一般のアスファルト舗装と異なり, 地表面の隙間で雨水を貯留・浸透させることができるため, 溜まった水の気化熱によって地表面温度の上昇を抑制することができる。植栽スペースを必要とし, また定期的な管理が必要となる緑化と異なり, 舗装改善によるヒートアイランド緩和は都市部の現況を大きく改変することなく, 緩和効果の発揮が期待できることが特徴である。さらに, 近年では 2020 年の夏季東京オリンピックの開催に向けて, 路面温度上昇抑制が喫緊の課題となっており, 保水性舗装の導入契機とも捉えられている。国土交通省は 2015 年に「アスリート・観客にやさしい道の検討会」を設置するといった保水性舗装を計画的に整備する動きも見られるなど, 保水性舗装への注目は高まっている。しかし, 保水性舗装は通常のアスファルト舗装と比べて費用がかかる等の課題があるため, 全てのアスファルト舗装を保水性舗装にしていくことは難しいといった問題も考えられる。

これまで行われたヒートアイランド緩和に着目した既往研究では, 緑や保水性舗装が熱環境緩和に与える影響についての実測調査が多くなされてきた。街路樹と歩道上の熱環境との関係に着目した高ら(1995)の研究では, 夏季気候における実測調査によって,

気温は歩道の表面温度と相関関係にあり, 街路樹は歩道の表面温度に大きな影響を及ぼしていることを明らかにしている¹⁾。また, 蛭田ら(2012)は気温を低減させるためには蓄熱を行わない緑地に代表されるような自然的土地被覆が効果的であることを示している²⁾。また, 保水性舗装に関する研究には梅干野ら(2011)が保水性舗装の構成材料を変えることで温度上昇抑制効果を持続できることを明らかにしている³⁾。

実測調査のほかに熱環境の効果を分析する手法として, 建物の空間形態や構成材料を再現し, 緑化や舗装面の改善が熱環境へどのような影響を及ぼすかを予測・評価することのできる 3D-CAD 対応熱環境シミュレーションツールが開発されている⁴⁾。このシミュレーションツールを用いた既往研究として, 鈴木ら(2008)は東京都に実在する街区をモデルとして夏季気候において樹木緑化と壁面緑化による熱環境改善効果を検証した結果, 樹木がある場合は表面温度を 20℃近く低下させることや, 平均放射温度が建物の日陰と合わせると気温程度となることが示している⁵⁾。また, 円井ら(2010)は保水性舗装の蒸発冷却効果を予測する熱・水収支モデルを解析し, 3D-CAD 熱環境シミュレーションツールで適用できる屋外熱収支シミュレーション手法を開発している⁶⁾。これらの既往研究では, 実在市街地の熱環境に影響を与える様々な空間形態や構成要素を考慮して快適な熱環境について議論したものとなっている。しかし, これまでの研究では緑の有無や配置の違い, 周辺建物による日射遮蔽の違いといった空間形態や構成要素の違いに着目した分析はされているものの, 実在の市街地を対象に立地の特性を検討し, 様々な周辺環境に焦点を当てて研究しているものは見られない。周辺環境に着目した研究として何ら(2007)は表面温度の数値シミュレーションを行い, 温度上昇抑制効果には周辺環境の違いが影響している街区が存在していることを明らかにしているが, 周辺環境に関する研究は限定的である⁷⁾。

そこで本研究では実在市街地を対象にして立地環境を検討した上で, 周辺環境が保水性舗装の夏季気候緩和効果に与える影響を

*筑波大学院システム情報工学研究科 **筑波大学システム情報系

3D-CAD モデルを用いたシミュレーション分析から明らかにすることを通じて、保水性舗装の緩和効果の違いや今後どのように導入していくべきであるかを考察することを目的とした。

研究対象地域には、都市化による温熱環境が悪化しヒートアイランド現象が顕著であると考えられる東京都心部に位置する港区とした。その中から舗装面の周辺環境の異なる4地区18街路(A・B・…・R)を対象に研究を行った。街路の総面積は 34,800 m²である。各街路の立地特性、周辺環境の特徴を図―1 に示す。

2. 研究手法

(1) 企業への調査

アスファルト舗装と比較した際の保水性舗装の特徴を調査するために、企業へ調査を行った。2017 年 11 月に保水性舗装を取り扱う民間企業にメールで質問を送り、回答を得た 5 社を対象に調査を実施した。調査項目は保水性舗装とアスファルト舗装の整備費用、メンテナンス頻度、舗装施工工事の発注先、1 事業当たりの施工規模についてである。

(2) シミュレーション分析

保水性舗装による緩和効果を把握するために、本研究では 3D-CAD(Vector Works A&A 社)を用いて対象地の建物や樹木といった空間形態を再現し、その後空間形態に対して 3D-CAD 対応型・熱環境シミュレーションツール(Thermo Render 3, A&A 社)を用いて構成材料のデータを追加した 3D-CAD モデルを作成した。解析用 3D-CAD モデルの作成方法や分析ツールは梅干野ら(2007)により示された方法を用いた⁸⁾。GIS 等の基礎データを収集した上で、対象地において、空間形態と構成材料に関する調査を行い、各建物の建築図面等のデータを収集し、伝達計算が可能な 3D-CAD モデルを作成した。建築図面等が入手できなかった際には、既往研究を参考にしつつ構成材料を類推してモデルを作成した。作成した 4 地区の 3D-CAD モデルを図―2 に示す。

保水性舗装の緩和効果を評価するためには、保水性舗装が整備されている場合とされていない(アスファルト舗装が整備されている)場合において、それぞれの地表面温度にどのような違いが生じるかを分析する必要がある。そこで、保水性舗装が整備されている場合とアスファルト舗装が整備されている場合の 2 つの 3D-CAD モデルの作成を行い、それぞれについて全表面温度分布を計算し、両者の差を求めることによって保水性舗装の緩和効果を評価することとした。

舗装面が保水性舗装の場合とアスファルト舗装の場合の 3D-CAD モデルを作成した後、3D-CAD 対応型・熱環境シミュレーションツールを用いて全表面温度分布を算出した。計算に用いた気

象条件は、標準気象データ(空気調和・衛生工学会、空調設備基準委員会作成)^{注2)}の中から東京の 8 月 1 日のものを使用した。

本研究で用いる 3D-CAD 対応熱環境シミュレーションツールは、3 次元モデルで再現した建物・地表面・緑等のすべての表面をメッシュ分割する。このようにメッシュ化することで表面温度の予測が可能となる質点メッシュ街区モデルを作成し、全表面の質点メッシュにおいて熱収支の計算式に従って表面の熱収支計算(直達日射、天空日射、周辺地物からの反射日射、大気放射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達)と各面断面方向の一次元非定常熱伝導計算を行い、表面温度を算出する。また、保水性舗装の蒸発冷却効果の予測については、舗装表面での蒸発比と日射吸収率を保水層全体の平均含水率で関数化することで算出される潜熱輸送量を計算項に加えた熱収支式としている。本研究では計算するメッシュの大きさを 1000mm とし、保水性舗装は 0―1 時に保水し、時間経過とともに乾燥する条件とした。計算モデルは梅干野らの開発した熱環境シミュレーションソフト⁴⁾に組み込まれている保水性舗装の蒸発冷却効果の予測モデルを使用した。このモデルは円井らの長期間の屋外暴露実験の結果⁹⁾¹⁰⁾を基に作成したものである^{注1)}。計算モデルを図―3 に示す。全ての計算は夏季晴天日である 8 月 1 日 0 時から行い、12 時時点での地表面温度で分析を行っている。午前から 12 時にかけては太陽高度が上昇することで気温と蓄熱が増加し地表面温度が上がるが 12 時以降は下がっていくため、本研究では熱負荷の最も大きい 12 時における計算を行った。シミュレーションの流れと浜松町地区の表面温度の算出結果の一部を図―4 に示す。

(3) 道路方位・種類別による緩和効果の把握

(2) にて表面温度分布差(保水性舗装の緩和効果)を算出した結果に対し、さらに道路の方位や種類による緩和効果の違いを明らかにするために分析を行った。(2)の分析結果を求めた各範囲から、各街路に該当する結果部分を抽出した後、各街路において街路の中心線で 2 分割し、さらに歩道と車道を分離させることで合計 4 分割したものを作成した。また、分析対象街路はいずれも直線街路であったため、各街路の分析対象範囲内の両端部を線で結び、その角度から南北道路と東西道路に分類した。このように舗装の種類と方向で分類した各街路において、緩和効果の平均値を算出した。ただし、街路の中心線がなく、また歩道と車道で明確に分けられていない街路 F、G、M、O については、道路方位や種類別とした分析の対象外とした。

地区	街路	各街路の特徴	用途地域	街路面積 (m ²)	街路幅員 (m)	街路に面する 建物の平均階数	道路方向
浜松町	A	南側に高層の建物が存在し、南・北側の街路付近が一部緑化された街路	商業地域	740	9.1	6.5	東西
	B	東・西側に高層の建物が存在し、街路上に街路樹が植えられた街路	商業地域	880	10.2	5.7	南北
	C	北側に高層の建物、南側は空地や低層の建物がある街路	商業地域	1350	10.6	4.4	東西
芝大門	D	東・西側に高層の建物があり、北側が一部緑化された道路幅員の広い街路	商業地域	4130	37.3	6.8	南北
	E	南・北側に高層の建物があり、南側が緑化された道路幅員の広い街路	商業地域	3060	26.9	7.3	東西
	F	中層の建物が密集した道路幅員の狭い街路	商業地域	570	5.8	4.5	南北
	G	中層の建物が密集した道路幅員の狭い街路	商業地域	560	6.2	4.7	南北
港南	H	東南側に超高層の建物、西南側に高層の建物がある街路。緑化は東側に集中しており、道路幅員は広い。	商業地域	5730	25.5	6.9	東西
	I	北西側に中層の建物、他の方位で高層の建物が密集した街路	商業地域	1940	8.0	6.4	東西
	J	高層の建物が密集した道路幅員の狭い街路	商業地域	350	7.8	7.5	南北
	K	東側に高層の建物、西側に中層の建物が密集した道路幅員の狭い街路	商業地域	730	7.5	5.5	南北
芝浦	L	南側に高層の建物が密集した道路幅員の広い街路	商業地域	3670	21.5	6.8	北西-南東
	M	高層の建物が密集した道路幅員の狭い街路	準工業地域	480	5.2	5.1	北西-南東
	N	高層の建物が密集した道路幅員の広い街路。舗装上の街路樹が多い。	商業地域	1570	17.6	5.4	北西-南東
	O	高層の建物に囲まれた道路幅員の狭い街路	準工業地域	630	7.5	9.8	北西-南東
	P	高層の建物が密集した道路幅員の広い街路	準工業地域	940	10.3	11.8	南北
	Q	建物や樹木が密集した、道路幅員が狭く道路延長が長い街路	準工業地域	2180	7.0	6.4	北東-南西
	R	南側は高層の建物と空地で構成された、道路幅員の広い街路	商業地域	5290	26.7	7.1	北東-南西

図―1 各地区の概要(港区都市計画マップより作成)

図-2 4地区の3Dモデルと現地写真

伝導熱量

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = a_{su} (\cos \theta \cdot I_{DR} + F_{sky} I_{SR} + I_{RR}) + \varepsilon_s F_{sky} \sigma T_a^4 (a + b\sqrt{e}) + \varepsilon_s \sum_{i=1}^n \varepsilon_i F_i \sigma T_{si}^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4 + \alpha_c (T_a - T_s) + l \cdot re \cdot k_x (X_{sat}(T_s) - X_a)$$

受熱日射量
大気放射量
周辺地物との長波長放射の授受量
対流熱伝達量
潜熱輸送量

λ: 熱伝導率(W/mK)
T: 温度(K)
X: 一次元断面方向の距離(m)
a_{su}: 日射吸収率
I_{DR}: 直達日射量(W/m²)
θ: 質点の面に対する直達日射入射角(rad)
F: 形態係数(sky: 天空率)
I_{SR}: 天空日射量(W/m²)
I_{RR}: 周辺地物からの反射日射量(W/m²)
ε: 長波長放射率
σ: ステファンボルツマン定数(W/m²K⁴)

a, b: Brunt式における係数
e: 地表付近の水上気圧(Pa)
α_c: 対流熱伝達率(W/m²K)
s, a (下付文字): 表面, 空気
n, i (下付文字): 長波長放射の授受を計算する
周辺地物の質点の数, 番号
l: 蒸発潜熱(J/g)
re: 蒸発比
Ks: 物質伝達率(g/m²[kg/kg])
X_{sat}(T_s): 表面温度に対する飽和絶対湿度(kg/kg)
X_a: 空気の絶対湿度(kg/kg)

図-3 シミュレーションの計算モデル

図-4 シミュレーションのフロー

表-1 保水性舗装の整備費用

	企業M	企業T1	企業F	企業T2	企業N
整備費用 (円/㎡) 保水性舗装 (アスファルト舗装)	車道: 5700 (1500) 歩道: 4750 (1250)	5500 (1500)	車道: 5000 歩道: 3700	車道: 9920 歩道: 5350	3750

3. 調査結果・考察

(1) 企業への調査結果

調査結果を表-1に示す。具体的な整備費用は企業によって異なっているが、保水性舗装の方が高価であり、アスファルト舗装に比べて2~3倍高くなっていることが分かった。この価格は舗装面の種類によっても異なり、車道の方が歩道よりも高い傾向があった。メンテナンスに関しては、保水性舗装はアスファルト舗装同様に日々のメンテナンスは不要であり、5~10年で更新する必要があることが明らかとなった。また、企業MとT1については舗装工事の整備依頼主と1事業あたりの施工規模についても調査した。企業Mでは整備の発注元の主体は国、都道府県、市町村など官庁機関が主体であるが、一部民間からの発注もあるということであった。また、施工規模は事例によって異なり、最近では数千㎡の発注を受けたが数十㎡規模の発注を受けることもあるということであった。企業T1では発注元が自治体であることが多く、施工規模は主には1,000㎡程度であるが、20,000㎡以上の物件もあるということであった。以上から、施工主体の多くは自治体からであり、施工規模は数千㎡が多いものの、それ以外の施工事例も多く存在することが示された。

(2) シミュレーション分析結果

各範囲を対象に分析を行った18街路の結果を図-5に示す。また、各街路における算出結果を集計したものを図-6に示す。以下では各街路におけるアスファルト舗装の場合の地表面温度と保水性舗装の場合の地表面温度の差を保水性舗装の緩和効果として用いた。各街路において樹木や建物といった異なる周辺環境や立地環境の見られる場所と保水性舗装の緩和効果の関係について考察を行った。

1) 浜松町(街路A~C)における緩和効果分布算出結果

対象地の東西方向に位置する街路Aでは、他の街路と比べると全体的に緩和効果が小さく、特に10階建ての建物の北側となる街路Aの南側では最小値が4.4℃であった。対して街路の北側は最大値が22.4℃であったため、北側と南側を比べて最大15℃以上の差が見られた。

対象地の南北方向に位置する街路Bでは、5m程の樹木付近で緩和効果が小さく、最小値が6.4℃であった。全体では街路の東側で平均15.4℃、西側で平均17.8℃であった。

対象地の東西方向に位置する街路Cでは全体的に緩和効果が大きく、全体の70%以上が22.5℃以上であった。街路上の5m程の樹木周辺では5.0~15.0℃であった。

2) 芝大門(街路D~G)における緩和効果分布算出結果

対象地の南北方向に位置する街路Dでは全体的に緩和効果が大きく、全体の80%以上が20.0℃以上であった。また、街路の東側では他の部分と比べて緩和効果が小さく、15.0~18.0℃であった。また、10m程の街路樹の周辺では5.0~15.0℃と緩和効果が小さいが、街路全体を通して緩和効果の差が大きい傾向が見られた。

対象地の東西方向に位置する街路Eでは、街路から見て南側に8-10階建ての建物がある場所を中心に緩和効果が小さく、10.0℃以下である場所が多く見られた。中央部や北側では緩和効果が大きく、全体の81%が20.0℃以上であった。

対象地の南北方向に位置する街路Fでは緩和効果の最大値は他の街路ほどであったが最小値が13.3℃と高く、緩和効果の差は相

対的に小さい傾向がみられた。

対象地の南北方向に位置する街路 G では全体の 70%が 15.0～22.5℃であり、緩和効果の差は相対的に小さい傾向がみられた。

3) 港南（街路 H～K）における緩和効果分布算出結果

対象地の東西方向に位置する街路 H では、街路の東側と西側で緩和効果が大きく異なるため、以下街路 H（東）と街路 H（西）に分けて述べる。街路の南側に 19 階建ての建物がある街路 H（東）では全体的に緩和効果が小さく、全体の 42%で 7.5℃以下、全体の 85%が 15.0℃以下であった。街路の北側では 10m 程の樹木の周辺では 10℃前後、その他の場所では 20.0℃を超える場所も存在した。街路 H（西）では南側の一部を除く大部分で緩和効果が大きく、最大値 23.1℃となる場所が多く存在した。

対象地の東西方向に位置する街路 I では、街路の中心から南側にかけては緩和効果が小さく 8.0～13.0℃であった。一方街路 J や街路 K と交わる交差点部分では緩和効果が大きく、20.0～23.0℃であった。

対象地の南北方向に位置する街路 J・K では、街路の東側で 15.0～18.0℃、西側で 18.0～20.0℃と大きな差はみられなかった。

4) 芝浦（街路 L～R）における緩和効果分布算出結果

対象地の北西—南東方向に位置する街路 L では、10 階建ての建物と隣接する街路の南側を中心に緩和効果が小さく、全体の 10%が 10.0℃以下であった。その他の中央から北側にかけては緩和効果が大きく、全体の 80%が 20.0℃以上であった。

対象地の北西—南東方向に位置する街路 M では、街路から見て南西側に建物がある場所で 10.0℃以下なる場所も一部存在したが、全体の 48%が 20.0℃以上であった。

対象地の北西—南東方向に位置する街路 N では、10m 程の樹木の周辺が 5.0～10.0℃であった。全体的に緩和効果が小さく、全体の 43%が 10.0℃以下であった。

対象地の北西—南東方向に位置する街路 O では、街路から見て南西側に建物がある場所では緩和効果が小さく、全体の 13%が 10.0℃以下であった。また、街路の南東部や建物に囲まれているものの街路と距離が離れている街路の北側など、全体の 70%が 17.5～22.5℃であった。

対象地の南北方向に位置する街路 P では、街路の東側が 17.5～20.0℃、西側で 20.0～22.5℃と大きな差はみられなかった。

対象地の北東—南西方向に位置する街路 Q では、街路から見て南東方向に建物がある場所の周辺を中心に緩和効果が小さく、全体の 20%が 7.5℃以下であった。

対象地の北東—南西方向に位置する街路 R では、街路から見て南東方向に建物がある場所の周辺では 10℃以下となる場所も見られたが全体的に緩和効果が大きく、全体の 70%が 20.0℃以上であった。

5) 道路方位別に見た緩和効果分布算出結果のまとめ

東西方向に位置する街路 A, C, D, E, H, I では街路の南側は北側に比べて緩和効果が小さい傾向が見られた。多くの場所では街路の南北で 15.0～20.0℃の差が生じていた。その中でも街路の南方向に 10 階建て以上の建物が存在する街路 A, H においては顕著となり、街路の南側だけではなく北側でも緩和効果の小さくなる場所が多いという傾向が見られた。対して、街路の南側に 2・3 階建ての建物や駐車場のよう空地が多く存在する特徴のある街路 C では、街路の南側と北側で緩和効果に大きな差は見られなかった。

南北方向に位置する街路 B, E, F, G, J, K, P では、街路の東側は西側に比べて緩和効果が小さい傾向が見られる場所が存在していた。しかし、東西の差の値は小さく、最大でも 5.0℃の場所がほとんどという結果であった。

北西—南東方向に位置する街路 L, M, N, O では、街路の南西側で、北東—南西方向に位置する街路 Q, R では、街路の南東側で緩和効果が小さくなる場所があることが確認できた。これらの方位における街路は、東西方向に位置する街路ほど顕著な緩和効果が見られなかったものの、街路の南側と北側では緩和効果の違いが見られる傾向が確認できた。

このように、道路方位の違いにより緩和効果の大きさに異なる傾向が見られることが明らかになった。これらの道路方位の違いに影響を与える周辺環境の要因として、建物と樹木による日射遮

図ー5 各地区の保水性舗装とアスファルト舗装の温度差(保水性舗装の緩和効果)分布算出結果

図-6 各街路における緩和効果の分布

図-7 道路方位別にみた緩和効果の分布図

図-8 道路方位・歩車道別にみた緩和効果の分布図

表-2 緩和効果の低い歩車道の整備費用削減効果

	街路Aの 南側の歩道	街路H(東)の 南側の歩道	街路H(東)の 南側の車道	街路Iの 南側の歩道	街路Nの 西側の歩道
削減 費用	3,500×179= 626,500円	3,500×378= 1,323,000円	4,250×713= 3,030,250円	3,500×416= 1,456,000円	3,500×406= 1,421,000円

蔽の影響が考えられる。

建物や樹木が緩和効果に与える影響として、建物や樹木の北側では緩和効果が10℃以下と小さくなるのに対し、それ以外の場所では20℃以上と大きくなる傾向が見られる。このことから、建物や樹木の影となり日射が遮られる場所で緩和効果が小さくなるのが分かる。また、建物や樹木の容積が大きいほどアスファルト舗装時に地表面温度の上昇が抑制される街路面積が大きくなるために、緩和効果が小さくなる街路の面積も大きくなる。このことから、建物や樹木による日射遮蔽が道路方位の異なる街路に対して影響を及ぼすことで、緩和効果に違いが見られたと考えられる。

さらに、この結果を道路方位別に単位面積あたりの低減温度を集計しグラフを作成したものが図-7である。得られる緩和効果の平均値は南北方向に位置する街路で17.7℃/㎡、東西方向に位置する街路で17.2℃/㎡と差がほとんどないが、南北方向に位置する街路では緩和効果が10.0℃以下と小さな場所が6%であるのに対し、

東西方向に位置する街路では23%あることが確認できた。また、南北方向に位置する街路では緩和効果が20.0℃以上と大きな場所が21%であるのに対し、東西方向に位置する街路では49%あることがわかる。この結果を踏まえ、緩和効果の大きさの観点からは東西方向の街路では南側を中心に緩和効果が小さな場所が4分の1と多く存在するため、整備を行う場所を考える必要があると言える。よって、このような緩和効果が相対的に得られない場所では整備を行うのではなく緩和効果の得られる場所を優先して整備を行うべきであると言える。一方南北方向の街路では緩和効果にばらつきがあり、整備を行うべき場所について一定の指針を考えることは難しいと言える。南北方向の街路では、場所による効果発揮の違いをその都度シミュレーションなどで検討することが求められると言える。

(3) 道路方位・種類の違いによる緩和効果の傾向

1) 道路方位・種類別による緩和効果の結果

2. (3)の方法に倣い、図-6の結果を道路方位別に集計した結果が図-8である。東西方向に位置する街路A, C, D, E, H, Iでは、概ね緩和効果の大きさが、街路の北方向に位置する歩道>北方向に位置する車道>南方向に位置する車道>南方向に位置する歩道、という傾向が見られた。特に、街路Aの南方向の歩道、街路Hの東側における南方向の歩道と車道、北方向の車道、街路Iの南方向の歩道においては緩和効果の大きさの平均値が10.0℃以下であった。北方向に位置する歩道や車道では緩和効果の平均値が大きい結果となった。街路Cの北方向の車道や歩道、街路Eの北方向の車道や歩道、街路H(西)の北方向に位置する歩道と両方向の車道では特に緩和効果が大きく、平均値で20.0℃を超える緩和効果が得られることが分かった。このように、街路の南側と北側の歩車道で緩和効果の違いが10.0℃程度異なる街路が存在していることが分かった。その中で大きな緩和効果の得られる場所のほとんどは街路の北方向に位置する車道や歩道であった。

南北方向に位置する街路D, J, K, Pでは、東方向に位置する歩道や車道において西方向に位置する歩道や車道よりも緩和効果が小さくなる傾向があった。しかし、その差は大きな場所でも5.0℃程度と相対的に小さいことが分かった。このことから、舗装の場所による差はあるものの街路全体でみると保水性舗装の緩和効果に大きな違いや傾向は見られなかったと言える。また、南北方向の街路における差の要因の一つには、12時の一時点のみで考察していることがあげられる。午前中は街路の西側、午後は街路の東側で日射を受けるため、12時における考察は立地環境の影響を十分に考慮できていない。本研究は熱負荷が最も大きい12時に焦点を当てた研究であったため、立地環境の影響を考慮するための時間設定が不十分であったことは本研究の課題として残された。

以上の結果から道路方位と舗装の種類別に街路を見た時、大きな緩和効果の得られる場所は東西方向に位置する街路の北側の車道や歩道に多く見られる傾向があるといえる。反対に、小さな緩和効果しか得られない場所は東西方向に位置する街路の南側の車道や歩道に多く見られる傾向があるといえる。

2) 整備費用削減効果に関する結果

1)により、今回の分析対象の街路では緩和効果が10.0℃以下と相対的に小さい歩車道が街路Aの南側の歩道、街路Hの南側の歩道と車道、街路Iの南側の歩道、街路Nの西側の歩道と5本の歩車道があることが分かった。このような歩車道では緩和効果の大きさの観点からは整備を行う利点が小さいため、計画段階において保水性舗装の整備を行わず、アスファルト舗装を整備することによって削減できる可能性のある費用を試算することとした。今回の分析では(1)に記した企業Mにおける保水性舗装とアスファルト舗装、さらに歩道・車道における整備費用を用いた。車道における削減費用4,250円/㎡、歩道における削減費用3,500円/㎡

の値を用いて、舗装の面積との積を求めることで削減できる可能性のある費用を算出する。

この調査結果を用いて 5 本の歩車道における削減費用を算出した結果が表—2 である。今回の分析対象範囲である舗装面積の 7% を占める緩和効果の小さな 5 本の歩車道における削減費用は 780 万円となった。また、これらの歩車道を含む 4 本の街路では保水性舗装の整備費用が 3,300 万円となる。このため、緩和効果の低い歩車道を含む街路では保水性舗装の整備を行わないことにより、街路の舗装整備費用を 4 分の 1 削減できる可能性があると言える。

4. 結論

本研究では実在市街地を対象にし立地環境を検討した上で、周辺環境が保水性舗装の夏季気候緩和効果に与える影響を 3D-CAD モデルを用いたシミュレーション分析を中心に明らかにすることを通じて考察を行った。明らかとなった知見は以下の通りである。

1) 3D-CAD モデルを用いたシミュレーションにより、アスファルト舗装と保水性舗装の表面温度算出結果の差から保水性舗装の緩和効果を求めた。対象地の各街路の場所によって緩和効果の大きさは異なり、最大で 18.0°C 異なる結果となった。建物の北側で緩和効果が 5.0~10.0°C、樹木周辺で 5.0~10.0°C と小さいが、それ以外の場所では 20.0~23.0°C と大きな値を示した。緩和効果の違いには建物や樹木による日射遮蔽の効果が影響しており、建物や樹木の大きさが大きいほど日射遮蔽をもたらす面積も大きいため、緩和効果が小さくなる場所の面積も大きくなる。

2) 道路方位・歩車道別に保水性舗装の緩和効果の分布図を作成した。緩和効果が 20.0°C 以上と相対的に大きく、保水性舗装の効果が十分に得られる場所が南北方向の街路では 21%、東西方向の街路では 49% を占めていた。緩和効果が 10°C 以下と相対的に小さい場所が南北方向の街路では 6%、東西方向の街路では南側の歩道を中心に 23% 占めていた。東西方向の街路では北側と南側の歩車道で緩和効果が大きく異なるため、緩和効果の大きさの観点から保水性舗装の整備を行う場所を考える重要度が高いと言える。

3) 緩和効果が 10.0°C 以下と相対的に小さかった舗装面を対象に、保水性舗装ではなくアスファルト舗装を整備することで削減できる可能性のある費用を算出した。今回の対象地において、緩和効果が 10.0°C 以下と相対的に小さい舗装は 5 本の歩車道であり、全舗装面積の 7% を占めていた。削減できる費用の計算結果が 780 万円であり、保水性舗装の整備費用の 3,300 万円であるため、緩和効果の小さな場所で整備を行わないことにより、街路の舗装整備費用を 4 分の 1 削減できる可能性があると言える。

以上のことから、対象地のような都市化が進んだ市街地において、街路の建物や樹木、道路方位といった周辺環境の違いによって保水性舗装の緩和効果が異なること、東西方向の街路では南側を中心に緩和効果が小さな場所が多いため、整備を行う場所を考える必要があること、保水性舗装の導入を考える上で課題となる整備費用は緩和効果の小さな歩車道で整備を行わないことで削減が可能であることが示唆された。

注

注1) 既往研究⁹⁾¹⁰⁾によると、3D-CAD 対応型熱環境シミュレーションの計算モデルを構築するために行われた屋外実測調査では、保水時における正午の保水性舗装の地表面温度が気温相当であるのに対し、乾燥時の地表面温度は気温よりも 20°C 高くなることが示されている。路面温度上昇抑制舗装研究会では保水性舗装の定義を「標準舗装の路面温度が 60°C に達したとき 10°C 以上の路面温度低減値を有する」(http://www.coolhosouken.com/images_h2/data02.pdf 最終閲覧 2018 年 1 月 11 日)としているため、モデルの性能は現在用いられている保水性舗装の性能を満たしていると判断した。

注2) 標準気象データは熱負荷シミュレーションのために作成されており、気温・絶対湿度・直達日射量・天空日射量・雲量・風向・風速の 7 項目に関する 1 時間毎、1 年間分のデータ群を収録している。本研究では熱環境シミュレーションを行っている研究で一般的に用いられているデータを活用した。

参考文献

- ¹⁾ 高俣俊, 杉山寛克, 尾島俊雄 (1995): FIELD STUDY OF EFFECT OF STREET AND ITS TREES ON THERMAL ENVIRONMENT OF SIDEWALKS 街路形態及び街路樹が歩道に及ぼす熱的影響に関する実測研究: 日本建築学会計画系論文集 469, 53-64
- ²⁾ 蛭田有希, 石川幹子 (2012): 緑地が持つ気温低減効果の評価に向けた緑地指標に関する研究: 日本都市計画学会都市計画論文集 47 (3), 259-264
- ³⁾ 梅干野晃, 円井基史, 松本明広, 浅輪貴史 (2011): 雨水貯留と毛管吸水に着目した蒸発冷却舗装システムにおける夏季屋外実験による舗装体の形状と断面構成の検討: 日本ヒートアイランド学会論文集 6, 30-38
- ⁴⁾ 梅干野晃, 浅輪貴史, 中大窪千晶 (2004): 3D-CAD と屋外熱収支シミュレーションを一体化した環境設計ツール: 日本建築学会技術報告集 20, 195-198
- ⁵⁾ 鈴木弘孝 (2008): 実在街区内での樹木配置・壁面緑化の違いによる温熱環境シミュレーション: 日本緑化工学会誌 34(2), 399-408.
- ⁶⁾ 円井基史, 梅干野晃, 浅輪貴史, 板津佳恵 (2010): 都市熱環境に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発: 日本建築学会環境系論文集 600, 51-58
- ⁷⁾ 何江, 梅干野晃 (2007): 蒸発冷却手法による都市街区単位のヒートアイランドポテンシャルの低減効果に関する数値解析: 日本ヒートアイランド学会論文集 2, 6-13
- ⁸⁾ 梅干野晃, 浅輪貴史, 村上暁信, 佐藤理人, 中大窪千晶 (2007): 実在市街地の 3D-CAD モデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル 数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析その 1: 日本建築学会環境系論文集 612, 97-104
- ⁹⁾ 円井基史, 梅干野晃, 浅輪貴史, 板津佳恵 (2006): 蒸発冷却効果を有する舗装体の表面濡れ状態に着目した熱・水収支特性の把握 都市熱環境改善に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発 その 2: 日本建築学会環境系論文集 610, 75-82
- ¹⁰⁾ 円井基史, 梅干野晃, 浅輪貴史, 板津佳恵 (2006): 蒸発冷却舗装システムの基本性能に関する夏季屋外実験 都市熱環境改善に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発 その 1: 日本建築学会環境系論文集 600, 51-58