

屋上緑化資材としての芝付きシラス固化ブロックの暑熱緩和効果と保水性

Thermal Environment-Improving Effect and Water Retentivity of Base Block Produced with Lawned SHIRASU as Roof-top Greening Material

鈴木 弘孝*・加藤 真司**・藤田 茂***
Hiroataka SUZUKI and Masashi KATO, Shigeru FUJITA

要旨：シラスを固化した緑化基盤を用いた緑化資材を屋上部に約 160 m²試験施工し、緑化資材の有無による建物屋上面と直下スラブ下の天井面での表面温度の比較により、屋上緑化資材による暑熱緩和効果について評価を試みた。また緑化基盤の保水性について人工軽量土壌と比較を行った。表面温度については、緑化資材施工区では非施工区と比較して夏期のピーク時に約 10℃低くなり、緑化基盤下では 13～16℃低くなった。緑化の基盤の保水性について、3 日後の容積当たりの含水率と保持力は人工軽量土壌をわずかに上回る結果が得られ、緑化基盤の保水力の持続性が確認できた。

キーワード：緑化基盤、屋上緑化、暑熱緩和、保水性

Abstract : We used a greening base hardened by shirasu to perform a trial execution of about 160 m² of rooftop greening materials on the rooftop of a building, and then evaluated the effect of this greening base in reducing the thermal environment by comparing the surface temperature on the roof surface with the ceiling under the slab. We also compared the water retentivity of the greening base with that of artificial lightweight soil. At the hottest time on a summer day, the surface temperature on the rooftop with greening materials fell to about 10 °C lower than the non-greening area, and also fell to 13-16 °C lower on the ceiling surface below the greening base. As for the water retentivity of the greening base, the volumetric water content and water retentivity slightly exceeded those of artificial light weight soil three days after adding water, confirming the water-retention ability of the greening base.

KeyWords : greening basis, rooftop greening, thermal improvement, water retentivity

はじめに

近年、都市の周辺部に比して都市中心部の気温が上昇する「ヒートアイランド現象」が顕在化しており、地球温暖化防止対策とともに都市のヒートアイランド対策の推進が必要かつ急務となっている。ヒートアイランド対策を推進するための地表面被覆の改善策として、国の施策等^{1),2)}において「屋上・壁面緑化の推進」が位置づけられている。東京都では 2001 年 4 月に条例を改正し、一定規模以上の敷地面積を有する建築物の新築又は改築を行う場合、緑化可能な屋上部の面積の 20 %以上の緑化を行うことを義務づけた³⁾。これらの施策により、屋上部の緑化面積は着実に増大が図られている⁴⁾。

屋上緑化の表面温度低減効果を検証した既往研究例として、梅干野ら(1983)は、屋上芝生植栽を想定した模型による屋外暴露実験の結果から、表面温度について、芝生の場合は夏季に温度上昇が気温より若干高い程度であるのに対して、コンクリートスラブ面では、日平均値が 10 °C前後高くなることを報告している。山田ら(2008)

は、保水板、屋上緑化、高反射性塗料の実験材料について、実物建物を用いた温熱環境改善効果の実験と解析から、夏季に緑化面と高反射塗料スラブ面の間では最高温度で前者が 15 °C以上低くなったことを報告している。唐沢ら(2001)は、人工軽量骨材を使用したポーラスコンクリートを基盤とする屋上緑化資材を開発し、コウライシバによる緑化区と非緑化区を比較した結果から、非緑化区の屋上スラブ面では、夏季晴天時に最高温度が外気温よりも 21.7 °Cも高くなっていたのに対して、緑化区屋上スラブ上面の温度は外気温よりも低い 24 °C前後で一定してほとんど変化が見られなかったとしている。

一方、今後、屋上緑化の開発普及を進めていく上では、緑化資材の再生利用等資源循環にも配慮し、環境への負荷低減を総合的に進めていくことが重要と考えられる。再生材を緑化基盤材としての適用可能性について評価した例としては、安福ら(2007)は廃棄発泡スチロールの粒状リサイクル材と現場から発生した黒ボク土を用いて保水性等を評価した例、乾ら(2004)が廃ガラス発砲資材について、真珠岩パーライトとの比較から軽量土、土壌改良剤としての可能性を検証した例、村上ら(2014)が廃ガラ

* 城西国際大学環境社会学部環境社会学科

** 株式会社環境研究所

*** (有)緑化技研

ス発砲資材を用いたポーラスコンクリートの保水性等の基本物性を検証した例などがあるが、現場からの発生土(シラス材)をそのまま緑化基盤材として再生利用し、暑熱緩和効果と保水性を総合的に評価・検討した例は見られない。

そこで本稿では、シラス固化材を用いた基盤の上にコウライシバを被覆した屋上緑化資材を用いて、緑化資材の有無による建物屋上面等での表面温度の比較とシラス固化材を使用した基盤材の保水力について、実証実験を行った。これらの実験計測の結果から、シラス固化材を基盤に用いた屋上緑化資材の温熱環境改善効果と保水性を検証することを本研究の目的としている。

1. 研究の方法

1.1 緑化基盤の仕様

緑化基盤に使用したシラス固化ブロックは、鹿児島に広く分布するシラス(火山灰起源の多孔質素材)を固化したものを使用した(写真2参照)。緑化基盤に使用したシラスブロックは粒度7~9mmのシラス材とセメント少量を混合したものを加圧器で圧縮することにより、シラス自体に含まれる水分でシラスとセメントを密着させたものである(特許番号第3858079号)。試験体1ブロック当たり、風乾土状態での比重は0.98であった。今回実験に使用した緑化基盤材は、千葉県柏市役所の建物外構等での使用実績はあるが、屋上部での実績はない。一方、比較対象として使用した人工軽量土壌には、屋上緑化の基盤材として普及している東邦レオ(株)製のピバソイルを使用した。ピバソイルは、湿性多孔質鉱物に有機質成分をブレックスした保水性に優れた人工軽量土壌であり、物理的特性として粒径は、20mm以下が80%、飽和透水係数は 1.0×10^{-4} 以上である⁵⁾。

1.2 実験・計測の方法

1) 表面温度の計測

城西国際大学(千葉県東金市)の研究棟3階屋上の露出防水層の上に防根シート約160m²を敷設し、その上に衝撃防止と土壌流出防止及び水分拡散のため厚手の不織布を敷設した。不織布の上にシラスブロック(300mm×300mm×60mm)を隙間なく敷設し、ブロックの上面に黒土を20mm敷き込みコウライシバを施工した(図1、写真1参照)。温度の計測は熱電対を使用した。屋上部においては図2に示すとおり、①芝生ソッド下の土表面(芝生下面)、②緑化基盤下の屋上スラブ面(緑化区スラブ面)、③露出スラブ面(非緑化区スラブ面)の3か所に熱電対を設置した。また、建物内側においては、屋上での「緑化区」と「非緑化区」の各測定地点の直下のスラブ下側の断熱材表面2か所(④緑化区スラブ下、⑤非緑化区スラブ下)

にそれぞれ熱電対を設置した。計測データは、データロガーに1分間隔で記録した。非緑化区スラブ面での熱電対部は、直射日射の影響を避けるため、白色のビニールテープでセンサー一部を被覆し、屋上面に固定した。計測は2015年8月18日に開始し、同年9月9日に終了した。芝生面への灌水については、計測期間中は降雨日もあったが、6時と18時に30分間自動灌水用のミストホース(タカギ社製、型番 Ph05015B K020SB)にて十分に灌水を行った。緑化資材の施工箇所(緑化区)と屋上の露出面(非緑化区)に設置した熱電対の間隔は約3m離れた。スラブ下側と研究室の天井面との間は、空調用配管などのための空間が約60cmあった。

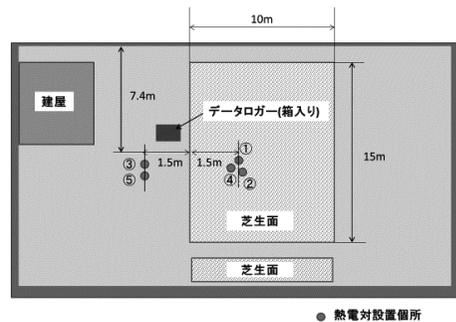


図1 熱電対の設置計測地点位置図



写真1 屋上緑化基盤の敷設状況

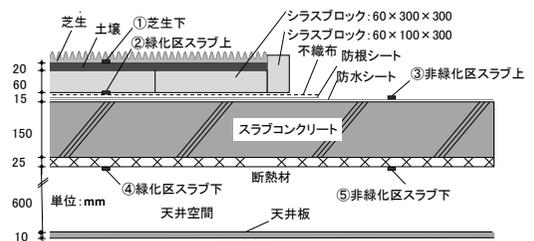


図2 芝ブロックの断面と計測地点

表 1 使用計測機器一覧

計測項目	使用計測機器	メーカー名	型番	分解能	階級	数量
気温・湿度	温湿度計	Vaisala 社製	HMP-60HT-03C	精度: ±0.5°C (+10~+30°C) ±3%~90%RH ±5% 90~100%RH	温度: Pt1000 (class B)	1機
	おんどとり	T&D 社製	RTR-72	精度: ±0.3°C (-20~+80°C) ±5% (25°C 50%RH)	—	2台
風向・風速	風向・風速計	R. M. YOUNG	CYG-3002	精度: 0.5m/s ±5deg	—	1機
表面温度	T型熱電対	二宮電線工業製	T型 φ0.2mm	精度: 0.5°C又は測定温度の0.4%	測定温度 -200°C~350°C (クラス1)	1式
	データロガー	グラフテック社製	Midi LOGGER GL 220	16Bit(有効分解能: ±レンジの約 1/40, 000) 精度: ±(0.1% of rdg+0.5°C)	測定温度 -100°C~400°C 基準接点保証精度 ±0.5°C	1台
含水量	電子天秤	新光電子(株)	HJR17K	秤量/目量: 17kg/0.1g 精度: ±0.3g 温度特性: 5ppm/1°C 温度条件: 5°C~35°C	—	2台
	SD ロガー-3	(株)データテクノ	DT-MCK3	内蔵時計 月差: ±60秒以内	—	2台



写真2 シラス固化材を基盤に用いた芝ブロック

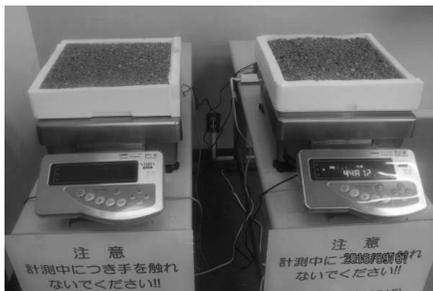


写真3 緑化基盤(左)と人工軽量土壌(右)の計測状況

2) 含水量の変化

緑化基盤の保水性を検証するため、シラス固化材を基盤に用いた芝ブロック1片(タテ30cm×ヨコ30cm×高さ6cm: 写真2 参照)の上面以外の4側面と底面を厚さ1cmの発泡スチロールで覆い、底面は水が通水できるように径3mmの穴を約30均等に開けた。また、同じ容積と形状の発泡スチロールの容器を別に制作し、人工軽量土壌(ビ

バソイル)を手詰めで芝ブロックと同容積となるように充填した。充填密度(σ)については、0.71 g/cm³(乾燥時)、0.80 g/cm³(湿潤時)であった。

2016年9月7日の18時に両方の試験体を水中に10分間浸潤させた後に引き上げ、そのまま24時間底面から通水させた後に、室内の電子天秤((株)新光電社製:HJR17K)に乗せて、重量変化を記録した。重量変化の様子は、SD ロガー-3((株)データテクノ社製: DT-MCK3)に1時間ごとに記録した(写真3 参照)。

容積当たりの含水率(%)は、(1)式により算出した。

$$\text{容積当たりの含水率}(\%) = \frac{\text{含水量}(\text{cm}^3)}{\text{基盤容積}(\text{cm}^3)} \times 100 \quad (1)$$
 計測に使用した計測機器は表1に示すとおりである。

2. 結果

2.1 気象条件

計測時の気象条件として、2015年8月21日から8月27日までの7日間の気温と相対湿度の経時変化の様子を図3に、同じく風向と風速の経時変化の様子を図4に示す。図3より、気温について、最高気温は8月22日の11時に32.5°Cを記録したが、その他の日は降雨や曇天の影響もあり、いずれも日最高気温も30°Cを下回った。最低気温は8月26日の5時に19.5°Cであった。7日間の平均気温は25.0°Cであった。湿度について、最大値は8月26日の5時に95.2%、最低値は8月21日の11時に61.0%を記録し、7日間の平均湿度は82.3%であった。図4より、風速については、最大は8月25日の

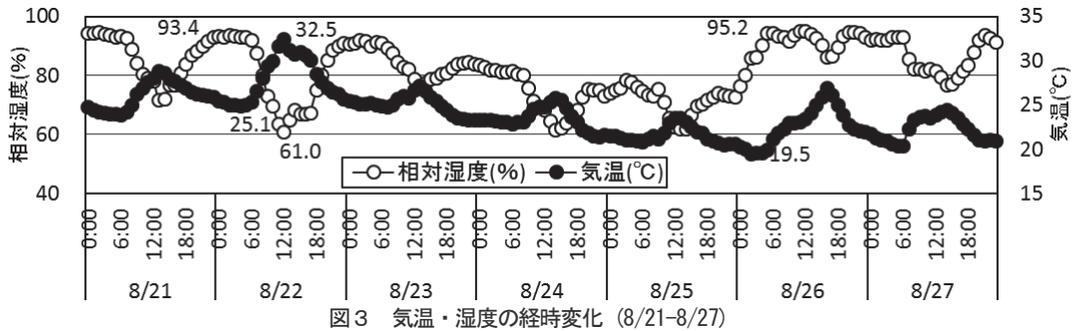


図3 気温・湿度の経時変化 (8/21-8/27)

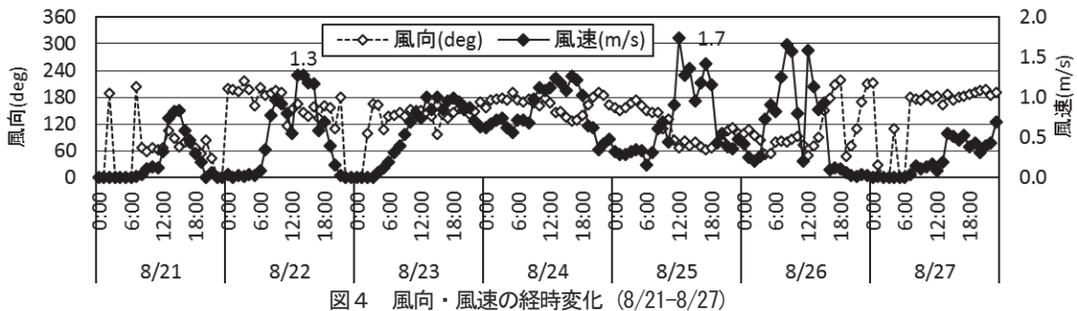


図4 風向・風速の経時変化 (8/21-8/27)

13時に1.7 m/sを記録した。7日間の平均風速は0.3 m/secであった。風向については、8月22日から25日の未明にかけて、また8月27日の日中から夜間にかけて180deg(南の風)が優勢していた。8月21日と26日は終日変動が大きく風向は安定しなかった。以下に、終日、降雨がなく、天候が晴天で、最高気温が30℃を超える真夏日となった2015年8月22日を取り上げて、表面温度の解析を行う。

2.2 表面温度の比較

8月22日の屋上面での計測点別の表面温度の経時変化を、図5に示す。芝生下(図2の①地点)では、日の出と共に温度が上昇し、11時頃に最高温度39.4℃となった。これに対して、非緑化区スラブ上(図2の③地点)ではピーク時の表面温度が50.0℃を記録し、芝生下面との温度差は10.6℃となった。緑化区スラブ面(図2の②地点)では最高温度は32.6℃となり、非緑化区スラブ上と比較すると17.4℃低くなっていた。また、この時の気温31.0℃と比較しても1.6℃の上昇にとどまり、最高と最低の温度差も5.0℃であった。非緑化区スラブ上での最高-最低温度の差が24.9℃であることに比較して、温度変化の小さい状態で推移した。

一方、最低温度についてみると、非緑化区スラブ上では、25.1℃を示し、芝生下も25.2℃とほぼ同じ傾向を示したのに対して、緑化区スラブ上では、夜間9時以降から翌朝の5時頃までの時間帯では、芝生下、非緑化区

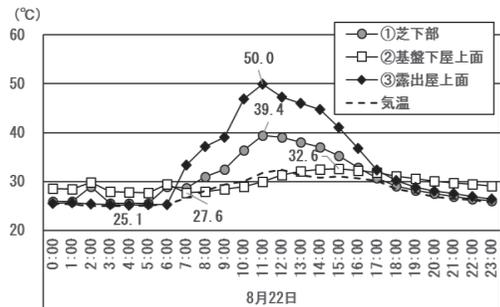


図5 屋上面における表面温度の経時変化

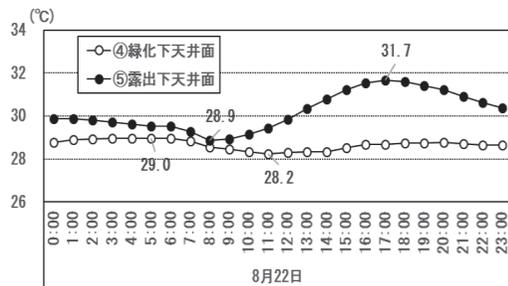


図6 スラブ天井面における表面温度の経時変化

スラブ上と比較して2~3℃上回る傾向が見られた。これは、非緑化区スラブ上、芝生下ともに夜間における放射冷却による表面部から放熱の影響により、緑化区スラブ上よりも表面温度が低減したためと考えられる。

図6にはスラブ下側の表面温度の経時変化を示す。屋上直下のスラブ面と熱電対を設置した計測点との間には、断熱材(押し出し法ポリスチレンフォーム:熱伝導)が約25 mm 敷設されていた。したがって、スラブ下面の表面温度は、断熱材での計測温度である。これより、ピーク時には非緑化区スラブ下(図2の⑤地点)では31.7℃を示し、緑化区スラブ下(図2の④地点)では、ピーク時には29.0℃を記録し、緑化区では非緑化区に対して2.7℃の低くなった。一方、最低時の表面温度についてみると、非緑化区では28.9℃を示したのに対して、緑化区では28.2℃を示し、その差は0.7℃にとどまった。

2. 3 保水性の比較

緑化基盤ユニットの自然乾燥時の重量は5,104.1 g、人工軽量土壌は3,843.6 gであった。2016年9月7日の19時に緑化基盤のユニットと同容積の人工軽量土壌とを水の中に約10分間浸潤させた後に、両方の基盤ユニットを水揚げしてそのまま屋外に放置して、基盤中の水を発泡スチレンの底面から通水させた。水揚げ後24時間が経過して底面からの通水がほとんどないことを確認し、9月8日の19時37分に両方の基盤ユニットを電子天秤の上に載せて重量を計測した。この時の緑化基盤の重量は5,622.6g、人工軽量土壌が4,309.6gとなり、浸水後に基盤ユニット中に付加された含水量は、緑化基盤が518.5gに対して、人工軽量土壌は459.4gであった。

図7は緑化基盤と人工軽量土壌のユニットの2016年9月8日の19時37分から9月11日の19時37分までの3日間の含水量の経時変化を示したものである。これより、緑化基盤では3日間で518.5gから371.6gまで変化し、含水量は148.9g減少した。一方、人工軽量土壌は459.4gから296.8gに変化し、162.6g減少した。この減少分は、基盤ユニット上面からの蒸発量に相当する。したがって、緑化基盤上面からの蒸発量は人工軽量土壌が緑化基盤よりも若干上回ったが、3日間の減衰傾向はほぼ同様の傾向を示した。

図8は、(1)式で算出した容積当たりの含水率の経時変化を示したものである。これより、緑化基盤では3日間で含水率が9.6%から6.9%まで変化し、2.7%減少した。一方、人工軽量土壌では8.5%から5.5%に変化し、3.0%減少した。

3. 考察

シラス固化材を緑化基盤に用いた屋上緑化資材を用いて緑化区と非緑化区との間での表面温度の差異、基盤材としての保水性について計測による検証を行った。計測

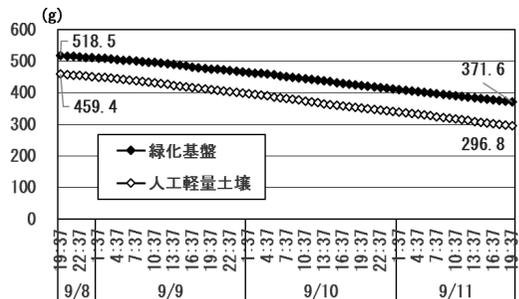


図7 含水量の経時変化

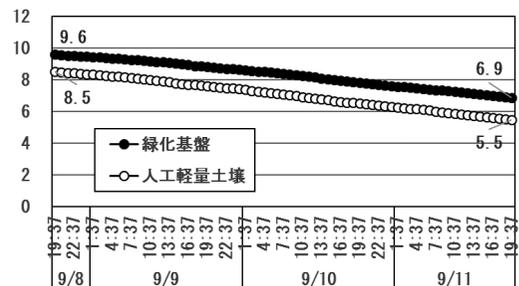


図8 容積当たりの含水率の変化

の結果、緑化区の芝生下の表面温度は、非緑化区スラブ上に比して、約10℃低くなっていた。また、緑化区スラブ上では、非緑化区スラブ上に比して、約17℃の温度差が認められた。山田ら(2008)によれば、建築用の保水板と人工軽量土壌を基盤とした屋上緑化区について、夏季晴天日の表面温度を比較した結果、低減効果は保水板が最も高くなったことが報告されている。また唐沢ら(2001)が、軽量ポーラスコンクリートを緑化基盤(60mm)として保水マット(30mm)と組み合わせた芝生緑化基盤を敷設し、基盤下スラブ面と非緑化スラブ面の温度を比較した結果では、ピーク時に非緑化のスラブ面温度が約55%低い値を示したことを報告している。ピーク時での表面温度の差は、今回の計測に使用したシラスブロックよりも大きくなっているが、保水マットとの組み合わせによる暑熱緩和効果であるため、今回の計測結果との単純な比較はできない。今後、シラスブロックとポーラスコンクリート等の保水性を有する他の基盤材との比較・検証していくことが課題である。

スラブ下側の表面温度については、緑化区では非緑化区に比較して最高温度は2.7℃低くなり、最高と最低の温度差も非緑化区が2.8℃であったのに対して、緑化区では0.8℃であり、温度の変化も非緑化区に比して小さくなっていた。コンクリートスラブの熱伝導率は、1.637に対して、断熱材(ポリスチレンフォーム)は0.037であ

り(田中ら, 2002), 山田ら(2008)の先行研究に対して、スラブ下側での表面温度の差が屋上スラブ上での緑化区と非緑化区との温度差に比べ小さい値となったのは、スラブ内の熱伝導に加えスラブ下面の断熱材がより大きく作用したものと考えられる。

次に基盤材の保水性について、含水量と体積区当たりの含水率の推移を人工軽量土壌と比較した結果、シラス固化材を使用した緑化基盤ユニットでは、人工軽量土壌のユニットよりも若干ではあるが時間経過に伴う容積当たりの含水率の低減割合が低い傾向が見られた。このことは、シラス固化材を使用した緑化基盤の保水性とその持続性が人工軽量土壌と同等以上の性能を有していることを示しており、緑化基盤として保水力が高いことは、灌水の負荷を軽減しつつ、暑熱緩和効果をより長く持続させることが可能となるため、シラス固化ブロックを緑化基盤として使用することにより、暑熱緩和効果を持続的に発現させることが期待できる。

今回の実験では、人工軽量土壌そのものが水中へ浸潤する前に保持している水分量については評価できておらず、あくまでそれぞれの基盤ユニットを水中に浸潤させた後の含水量の変化についての比較検討に限られるものである。乾土状態での比較などにより、緑化基盤材として保水性については引き続き検証を重ねる必要がある。また、緑化基盤による屋上での芝生の生育状態の良否についても、検証が必要である。

おわりに

1) 屋上スラブ上の表面温度

夏季のピーク時に非緑化区スラブ上の表面温度と比較して、緑化区の芝生下では約10℃低減し、緑化基盤下のスラブ上では15℃以上の低くなり、屋外気温に対しても2℃未満の上昇にとどまった。

2) スラブ下の表面温度

夏季のピーク時に緑化区では非緑化区に比して表面温度が約3℃低くなり、最高と最低の温度差も1℃未満で推移した。

3) 基盤の保水性

3日間の容積当たりの含水率の低減率では、シラスブロックが2.7%に対して人工軽量土壌は3.0%となり、緑化基盤の保水力の持続性が人工軽量土壌を上回り、保水性に優れていることが確認できた。

以上の結果から、シラス固化材を基盤材に使用した屋上緑化資材の暑熱緩和効果と保水性を定量的に評価することができた。

今後は、ポーラスコンクリートなど多孔質性を有する

他の基盤材との保水性能の比較・検証を行うとともに、シラス固化材の異なる粒径組成による保水性能の改善、シラス固化材を基盤に用いた屋上での芝生の生育状況のモニタリング等により、自然降水を基本とした屋上緑化基盤材の開発のための実証的なデータの蓄積を進めていくことが課題である。

補注

- ¹⁾ ヒートアイランド対策推進会議 (2013. 7. 1 更新) ヒートアイランド対策大綱, 国土交通省ホームページ <<http://www.env.go.jp/press/press.>>, 2017. 4. 3 参照
- ²⁾ 東京都環境局 (2005. 7. 1 更新) ヒートアイランド対策ガイドライン, 東京都ホームページ<<https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/limat/other/countlimat/other/countermeasure/guideline.html>>, 2017. 4. 3 参照
- ³⁾ 東京都 (2009. 3. 31 更新) 東京における自然の保護と回復に関する条例第14条施行規則別表第四「建築物上の緑化基準」. 東京都ホームページ<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/nature/green/plan_system/report.html>, 2017. 9. 1 参照
- ⁴⁾ 国土交通省 (2015. 8. 24 更新) 平成26年度全国屋上・壁面緑化施工実績調査. 国土交通省ホームページ<<http://www.mlit.go.jp/common/001053622.pdf>>, 2017. 5. 1 参照
- ⁵⁾ 東邦レオ株式会社, 庭園型緑化工法「ビバソイルシステム」, 東邦レオホームページ<<http://www.r-green.jp/system/viva.html>>, 2017. 2. 1 参照

引用文献

- 安規規之・落合英俊・大嶺 聖・小林泰三・石川裕司 (2007) 廃棄発泡スチロールと火山灰質土を活かした屋上緑化植栽基盤の開発. 日本緑化工学会誌, 33(1), 140~145.
- 乾 泰祐・水庭千鶴子・近藤三雄 (2004) 廃ガラス発泡資材の屋上緑化用軽量培土としての利用の可能性. ランドスケープ研究, 67(5), 479~482.
- 唐沢明彦・土田 保 (2001) 建築物の熱環境に及ぼす軽量ポーラスコンクリート屋上緑化システムの効果. 日本緑化工学会誌, 27(1), 205~208.
- 田中俊六・武田仁・足立哲夫・土屋喬雄 (2002) 最新建築環境工学(改訂2版), 井上書院, 東京, 317pp.
- 梅干野晃・萩原賢二 (1983) 屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果. 日本建築学会建築環境工学論文集, 133~140.
- 村上聖・武田浩二・山口信・佐藤あゆみ (2014) 高保水性を付与した廃ガラス発泡骨材ポーラスコンクリートの緑化基盤材への適用. セメント・コンクリート論文集, 68(1), 516~522.
- 山田宏之・田中明則・奥田芳雄・一柳隆治 (2008) 保水性外装資材による省エネルギー効果の実物大建物実験と解析. 環境システム研究論文集, 36, 419~425.