

コケを用いた屋上緑化のヒートアイランド緩和効果に関する屋外実験
 -熱収支と蒸発効率による比較検討-

1083140 上野 卓哉 1083451 吉岡 恒太
 指導教員 成田 健一

1. 研究目的

近年、都市部におけるヒートアイランド緩和を目的として屋上緑化が実用化されている。これまでの多くは芝や低木を用いたもので、蒸発散による表面温度低下や顕熱低減といったヒートアイランドの緩和効果があるが、メンテナンスなど問題が指摘されていた。そこで、施工が容易でメンテナンスも比較的簡単であるコケを利用した屋上緑化が開発された。しかし、コケ緑化がヒートアイランドに対して緩和効果を持つのか疑問があり、また実際に測定した例はほとんどない。そこで今回、建築物屋上にコケと複数の緑化試験体を設置し、熱収支の実測を行うことで、コケ緑化の効果を比較し、その評価を行った。

2. 実験概要

東京都江東区にある東京都環境科学研究所の屋上にコケ緑化の試験体を施工し、熱収支を実測した。コケを含めた植物3種類、および土壌のみと無処理の5種類の試験体を設置し、熱収支を比較した(表1)。また、コケ緑化の製品であるコケ直張り3種類の試験区も作成し、そのうちの1つのMG区については同様の熱収支測定を行った。さらに、種類ごとに灌水を行う区画と灌水を行わない区画の2つを設け、無灌水区は測定が始まったら灌水を行わないようにした(図1)。灌水は指定日の測定終了後、各試験体に1㎡辺り50、計200の灌水を行った(表2)。なお、測定までは灌水区、無灌水区とも定期的に灌水を行った。ヒートアイランドの緩和効果の評価として、蒸発散量を測定した。各試験区の一部を区切り小試験体を作製、重量変化から蒸発散量を算出した。重量測定は、9時から17時にかけて1時間ごとに行った(表2)。なお、風による秤量誤差が生じるため、5回測定の平均を測定値とした。試験体内部温度、伝導熱、正味放射量の測定には、熱電対、熱流板、放射収支計を使用した(図2、表3)。周辺環境の測定には、気象塔を用いた(写真2、表3)。

3. 結果と考察

3-1 熱収支による評価

熱収支式(表4)から測定データを用いて各試験体の熱収支項を算出、屋上緑化の効果を評価した。式②からLを算出、 R_n 、 G 、 E は測定値を用い、式①よりHを残差として

表1. 試験区リスト

試験区	植生	土壌厚	大きさ	
			試験区	小試験体
芝区	芝	80mm	2000×2000mm	500×500mm
セダム区	キリンソウ、コーラルカーペット、サカサマンネンゲサ、ツルマンネンゲサ、メキシコマンネングサ	80mm	2000×2000mm	500×500mm
コケ区	スナゴケ	80mm	2000×2000mm	500×500mm
土壌区	—	80mm	2000×2000mm	500×500mm
無処理区	(屋上スラブむき出し)	—	—	—
コケ緑化製品	MG区	スナゴケ、人工芝	2000×2000mm	500×500mm
	BB区	スナゴケ、ミズゴケ	2000×2000mm	—
	MT区	スナゴケ	2000×2000mm	—

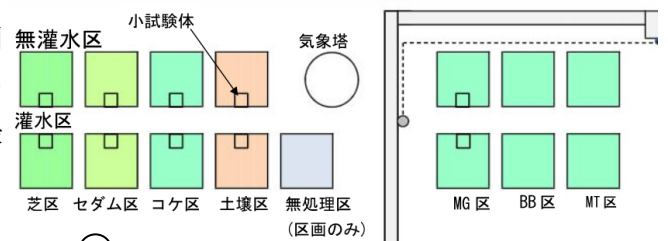


図1. 試験区設置状況

表2. 灌水・蒸発散測定の実施日

日付	8月	9月
灌水	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
蒸発散測定	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15



写真1. 試験区の配置状況

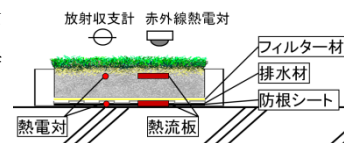


図2. 試験区断面図



写真2. 気象塔

表3. 測定項目と測定点・使用測器・測定間隔・測定期間

測定項目	測定点	使用測器	測定間隔	実測期間
気温・湿度	気象塔 高さ1800mm	温湿度計(縦型強制通風筒)	1分	7月22日 ~ 9月15日
風向・風速	気象塔 高さ3000mm	風車型風向風速計		
短波放射量	気象塔 高さ2000mm	全天日射計		
長波放射量	気象塔 高さ2000mm	精密赤外線放射計		
表面温度	各試験区 高さ300mm	赤外線熱電対		
試験区温度	各試験区 表面-0mm	熱電対		
	各試験区 表面-80mm			
伝導熱	各試験区 表面-0mm	熱流板		
	各試験区 表面-80mm			
正味放射量	各試験区 高さ300mm	放射収支計		

1083140 上野 卓哉 1083451 吉岡 恒太

表 4. 熱収支式、蒸発効率の算出式

$Rn = H + LE + G$. . . ①	Rn: 正味放射量[W/m ²] H: 顕熱フラックス[W/m ²] LE: 潜熱フラックス[W/m ²] G: 伝導熱[W/m ²]
$L = 2.5 \times 10^6 - 2400 \times \theta_s$. . . ②	L: 気化の潜熱[J/kg] E: 蒸発速度[kg/m ² ・a]
$\beta = \frac{E}{k(x_s - x_a)}$. . . ③	θ_s : 表面温度[°C] θ_a : 外気温度[°C] β : 蒸発効率
$k = \frac{\alpha}{0.83C}$. . . ④	k: 物質伝達率[kg/(m ² ・s・(kg/kg ²))] x_s : 表面の絶対湿度[kg/kg] x_a : 外気の絶対湿度[kg/kg]
$\alpha = \frac{H}{\theta_s - \theta_a}$. . . ⑤	α : 対流熱伝達率[W/m ² ・K] C: 湿り空気の比熱[J/kg・K]

求めた。図3は、8月12日の芝区、コケ区、MG区及び無処理区の熱収支グラフである。コケ区の潜熱フラックスは芝区のそれに比べて半分程度となっている。また、図4の表面温度と気温の温度差をみると、芝区の16°Cに比べ、コケ区は35°Cと常に高くなっている。顕熱フラックス、伝導熱は芝区の倍近い値となっている。これはコケ区の潜熱フラックスが小さいため、表面温度が高くなり、大気および地中を温めていることを意味している。潜熱フラックスが小さい要因としては、コケの水分保持能力が小さいことが考えられる。また、MG区の熱収支をみると、コケよりさらに潜熱フラックスが小さく、一方、顕熱フラックスは大きく正味放射の8割近くもある。MG区の基盤には人工芝を使用しているため、表面温度が非常に上がりやすくなっていること、土壌を使用していないために水分が保持できないことが要因と考えられる。

3-2 蒸発効率による評価

得られた熱収支項から蒸発効率(β)を算出し評価を行った。蒸発効率とは、同じ表面温度の水面からの蒸発量に対する比率である。式⑤より熱収支式で求めたHを用いてαを算出、αを用い式④よりkを算出、そのkを用い式③よりβを算出した。図5は8月12日のβの経時変化である。芝区の0.12程度に対し、コケ区は0.03程度となっている。また、MG区の蒸発効率をみると、0.00とほぼないことが確認できる。蒸発効率がマイナスになっている時間があるが、重量測定の際で風による誤差が生じてしまったものだと考えられる。また、図6はβの日平均値のグラフである。芝区は全体を通して安定している。コケ区は、灌水をおこなった直後は高くなっているが、翌日には半分まで下がっている。次に図7は、9月7日から9日までの無灌水区におけるβの日平均値のグラフである。6日に降雨があったため(図8)、翌日の7日はコケ区、MG区が芝区より蒸発効率が高いが、8日には芝区より低くなっている。このことから、コケは水分保持能力が小さいといえる。

4. まとめ

コケ緑化はヒートアイランドの緩和効果が芝ほどは期待できないことが確認できた。しかし、これは芝と比べた結果であり、従来のスラブのみと比較すると緩和効果がある程度期待できる。一方、土壌層を有しないコケ緑化製品については、ヒートアイランドの緩和効果があまり期待できない。晴天が続くと、屋上スラブより表面温度が高くなる場合もあり、ヒートアイランドを助長させてしまう可能性がある。これらのことから、コケ緑化に関しては、土壌の有無など、施工方法によりヒートアイランド緩和効果は大きく違ってきてしまうということが明らかになった。

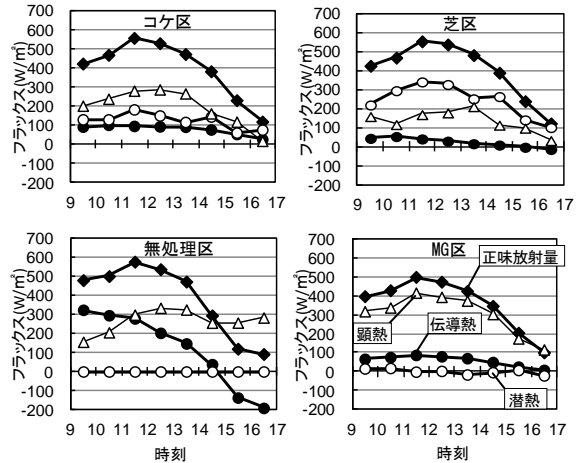


図3. 熱収支項の時間変化(8月12日)

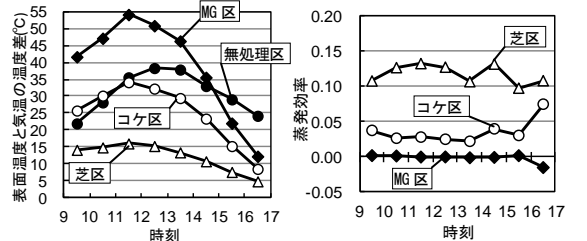


図4. 温度差(8月12日)

図5. 蒸発効率(8月12日)

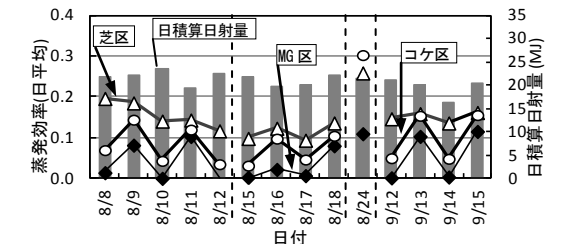


図6. 重量測定期間中の日積算日射量と日平均蒸発効率(灌水区)

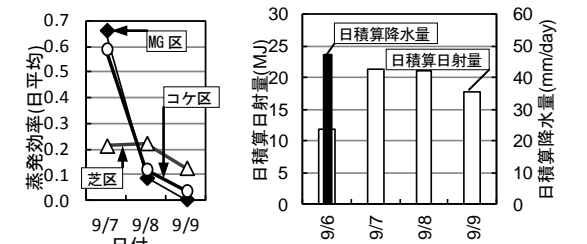


図7. 蒸発効率(無灌水区)

図8. 日積算日射量と日積算降水量

