

屋上芝生植栽の熱環境改善効果に関する研究

－芝生植栽の熱挙動の実験的検討－

梅田 和彦・屋祢下 亮・深尾 仁・森川 泰成

Keywords : rooftop lawn-planting, “Tepsam” lawn base, heat behavior, water content, roof exposure experiment, used expanded polystyrene

屋上芝生植栽、テプサム緑化基盤、熱挙動、含水率、屋上暴露実験、使用済発泡スチロール

1. はじめに

都市高温化の緩和を期待できる対策のひとつとして、屋上芝生植栽を推進する動きが、東京都をはじめ、活発になっている。屋上芝生植栽は、植栽や土壌からの蒸発散で屋上表面温度の上昇を緩和する特長があり、蒸発散による熱・水分収支に関しては、多くの研究報告がある。
 (例えば、1)～8) 一方、芝生植栽の土壌の種類や構成内容の選択肢が増え、供給側の責任として、芝生の育成状況と熱性能の確認が必要であると筆者らは考えている。

本研究は、使用済発泡スチロール(EPS:expanded polystyrene)を粉砕し比重0.2に加熱減容した骨材(Tepsa)と植栽土を混合しものを排水機能をもつプラスチックトレイに載せ、加圧成型した植生基盤(以下、テプサム緑化基盤)と、芝生植栽を組み合わせた屋上緑化パネル(以下、芝生パネルA)の熱収支の把握が目的である。

本報告では、予備調査として、屋上暴露実験で使用した試験体の体積含水率、上下温度分布、上下熱流量、構成材料の熱伝導率について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 測定期間・測定場所

測定期間：平成15年4月15日～平成15年4月17日

測定場所：横浜市戸塚区(大成建設(株)技術センター)

2.2 試験体

試験体は、芝生パネルAの他、屋上緑化用土壌として使用されている軽量人工土壌に芝生植栽を組み合わせたタイプ(以下、芝生パネルB)と、屋上外側断熱パネル(以下、断熱パネル)の計3種類である。芝生パネルAと芝生パネルBの芝生と盛土は、同じ種類を用いた。材料構成を図-1に示す。なお、試験体の平面寸法は、3種類共450mm×450mmである。

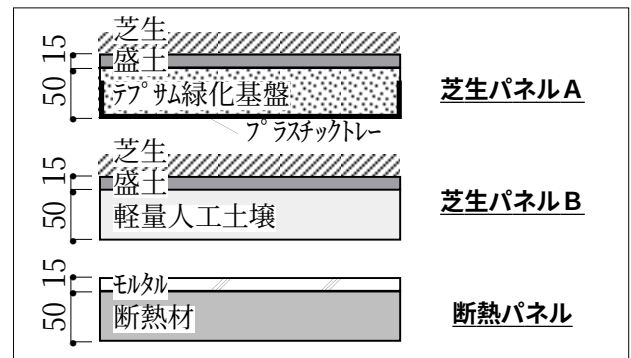


図-1 試験体の材料構成

Contents of the examination object

2.3 屋上芝生植栽の熱的要素と測定方法

試験体の屋上での熱収支を定量的に把握するうえで、必要な熱的要素を式(1)から式(6)に整理した。ここでは、熱移動を試験体上下方向の1次元で考えた。

$$HT = SR + LR + HC - HV \quad (1)$$

$$SR = (1.0 - \rho) \cdot (SR_{direct} + SR_{sky}) \quad (2)$$

$$LR = \varepsilon \cdot (AR \downarrow - TSR \uparrow) \quad (3)$$

$$TSR \uparrow = \sigma \cdot T_s^4 \quad (4)$$

$$HC = \alpha_c \cdot (t_o - t_s) \quad (5)$$

$$HV = LH \cdot ET / 3600 \quad (6)$$

ここに、

HT	：芝生や盛土への熱移動量	[W/m ²]
SR	：短波長放射吸収量	[W/m ²]
LR	：長波長放射収支量	[W/m ²]
HC	：対流熱伝達量	[W/m ²]
HV	：蒸発潜熱量	[W/m ²]
ρ	：短波長放射反射率	[-]
SR_{direct}	：水平面直達日射量	[W/m ²]
SR_{sky}	：水平面天空日射量	[W/m ²]
ε	：長波長放射率 (=0.9 と仮定)	[-]
$AR \downarrow$	：大気放射量	[W/m ²]
$TSR \uparrow$	：地表面放射量	[W/m ²]

σ : Stefan – Boltzmann law
 (= 5.67×10^{-8}) [W/m²K⁴]
 T_s : 地表面絶対温度 [K]
 α_c : 対流熱伝達率 [W/m²K]
 t_o : 外気温度 [°C]
 t_s : 地表面温度 [°C]
 LH : 蒸発潜熱 (=2,500) [J/g]
 ET : 芝生の蒸発散量 [g/m²h]

実験では、図-2に示す試験体ユニットを、図-3に示すような風避け用スロープを周囲に設けた風避け装置内に、試験体の上面が風避け装置上面から見えるように設置した。芝生パネルAと芝生パネルBの蒸発散量を電子天秤で自動計測した。温度については、試験体平面中央で図-2に示す位置に熱電対センサを、熱流量については、熱流計センサを熱電対センサの近くに設置して計測した。放射量については、風避け装置隣に設置した、試験体と同じ芝生と盛土を使用した2.5m×4.0mの芝生育成区中央で盛土表面+0.3mの高さで計測した。風速については、風避け装置の北側で試験体表面+2mの高さで計測した。雨量については風避け装置隣で計測した。以上の計測を、10分間隔で行った。なお、屋上暴露実験の他、試験体の構成材料のサンプル(200mm×200mm×50mm)の体積含水率^{注)}別に、熱伝導率を20°CDB, 60%RHの条件で測定した。式(1)～式(6)で示した熱的要素の計測と熱伝導率の測定で使用した機器を表-1に示す。

注) 試験体材料の絶乾重量は、110°Cの空気循環式乾燥機で24時間以上乾燥後、重量変化がほぼ無い状態で測定。

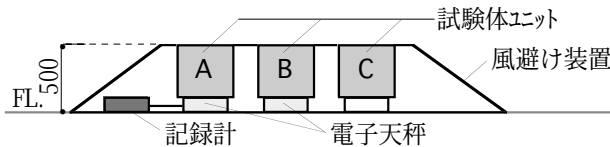


図-3 風避け装置の概要

Equipment of windbreak

表-1 屋上芝生植栽の熱的要素と測定機器

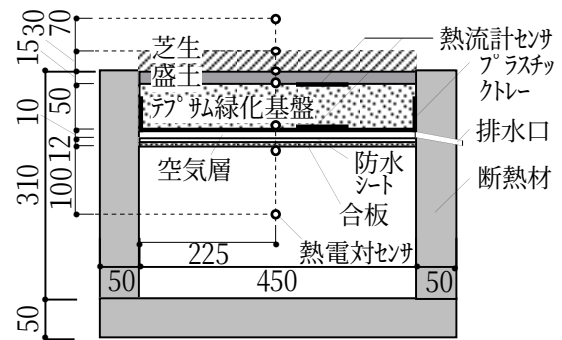
Thermal Factor and Mesurement Instrument of Rooftop Lawn-planting

熱的要素	測定項目	測定機器			
		名称	型番	メーカー	主な仕様
ET	蒸発散量	電子天秤	GP-20KR	(株)エー・アンド・デイ	秤量21kg, 精度1g
t_o, t_s	温度	熱電対	T-G型	(株)浜田電機製作所	0.32mm ϕ
HT 注1)	熱流量	熱流計	MF-180M	英弘精機(株)	寸法(mm)L50×W25×T1.2
$SR_{direct} + SR_{sky}, AR\downarrow, TSR\uparrow$	放射量	長短波放射計	MR-40	英弘精機(株)	測定波長0.3~2.8, 3~50 μm
		アルベド・メーター	MR-22	英弘精機(株)	測定波長0.305~2.800 μm
ρ 注2)	風速	風向風速計	C-W105	(株)小笠原計器製作所	測定範囲:風速0.4~60m/s
α_c 注3)		雨量計	34-T	(株)大田計器製作所	1.5インチ 直径20mm
-	雨量	雨量計	34-T	(株)大田計器製作所	1.5インチ 直径20mm
λ	熱伝導率	迅速熱伝導率計	QTM-D3	京都電子工業(株)	測定範囲:0.02~10W/mK

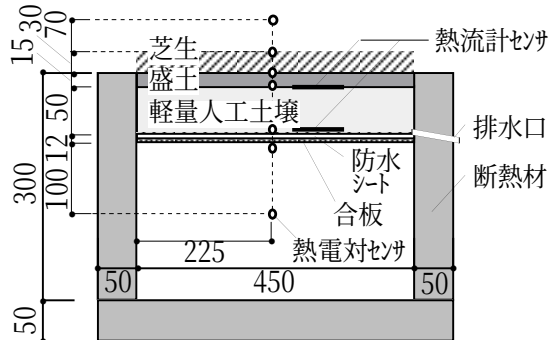
注1) 厳密には、芝生への熱移動である。梅干野らの研究¹⁾⁶⁾では、芝生上端から芝茎までの葉群層が等価的な熱抵抗をもつと仮定したモデルを提案して、葉群層内部への熱移動としている。本実験では、予備調査として、盛土とテプサム緑化基盤の境界、盛土と軽量人工土壌の境界、テプサム緑化基盤とプラスチックトレーの境界、軽量人工土壌と防水シートの境界を流れる各々の熱流量を測定した。

注2) $SR_{direct} + SR_{sky}$ が水平面へ入射する下向き放射量と芝生で反射した上向き放射量の比で算出した。

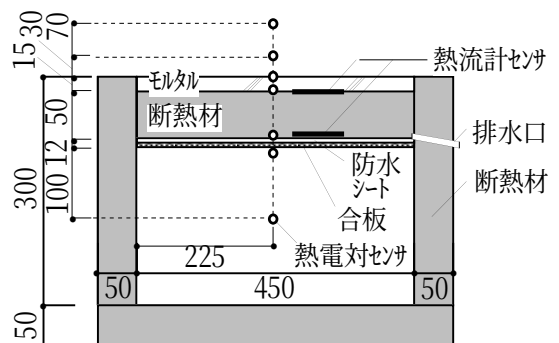
注3) 例えば、Jurgesの強制対流熱伝達率の実験式に試験体近傍の風速を代入して算出する方法がある。



芝生パネルAのユニット



芝生パネルBのユニット



断熱パネルのユニット

図-2 試験体ユニット

Unit of he examination object

3. 実験結果

3.1 屋上暴露による芝生植栽の熱挙動と体積含水率

含水状態が大きく変化すると考えられる降雨から晴天にかけての3日間における気象条件を図-4、水平面全日射量と芝生の反射日射量の比較を図-5、試験体の体積含水率を図-6、上下温度を図-7、熱流量を図-8、晴天日(4月17日)の時刻別上下温度分布を図-9に各々示す。結果を下記にまとめる。

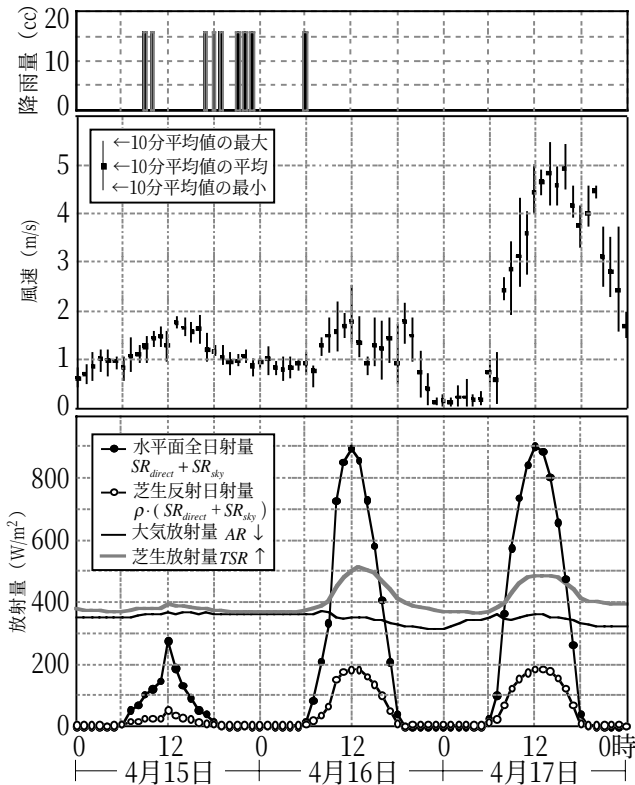


図-4 降雨から晴天までの気象条件と芝生の放射熱収支
Radiation balance of lawn in rain through fine weather

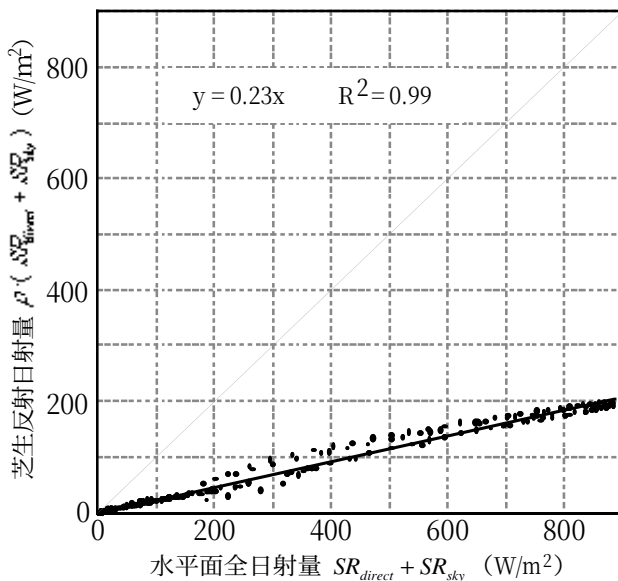


図-5 芝生の反射日射量
Reflected solar radiation of lawn

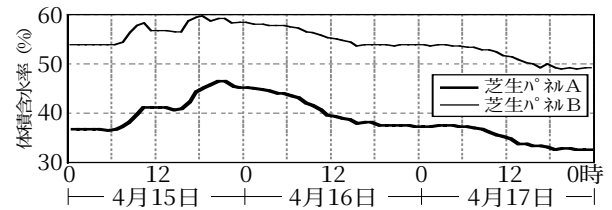


図-6 降雨から晴天までの試験体の体積含水率

Water content of the experiment object

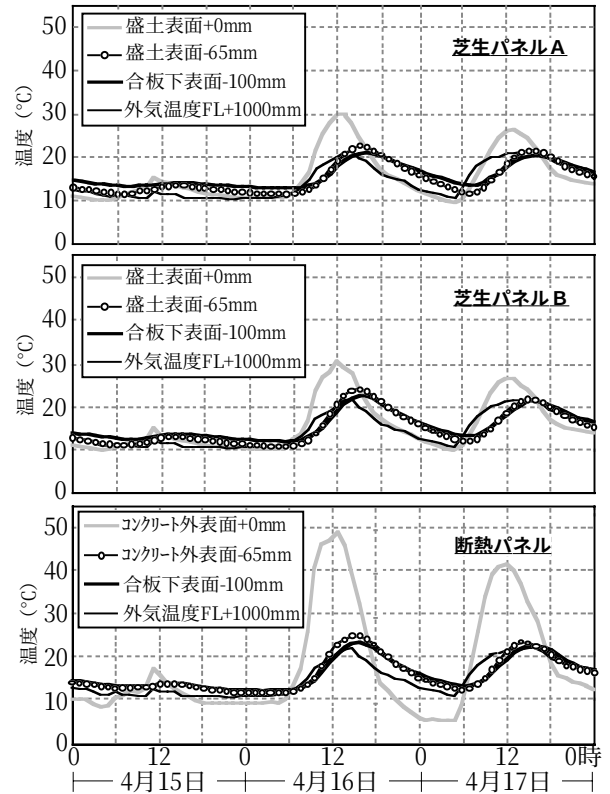


図-7 降雨から晴天までの試験体の上下温度
Vertical temperature distribution of the experiment object

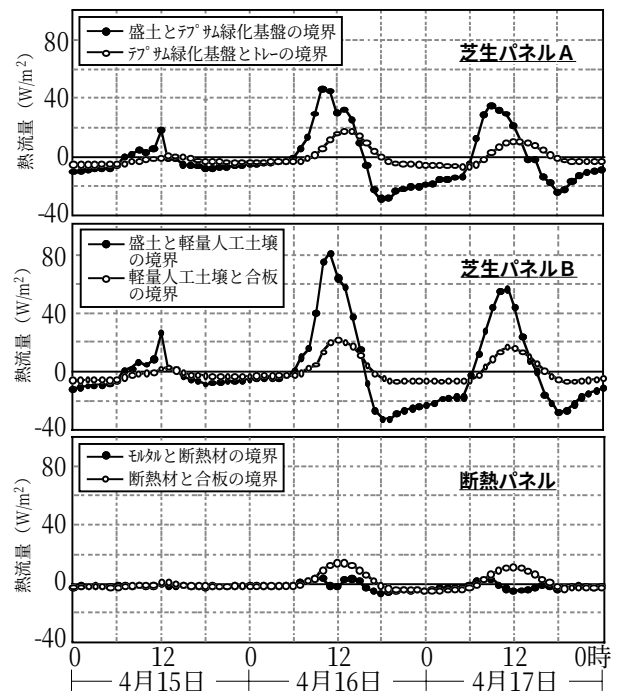


図-8 降雨から晴天までの試験体の熱流量
Vertical heat flux of the experiment object

- 1) 日射量の77%が芝生に吸収される。
- 2) 晴天日の正午では、吸収日射量と大気放射の合計約1,000W/m²が芝生に吸収され、約500W/m²が芝生から放射される。残りが大気への対流熱伝達と蒸発散や、芝生や盛土への熱移動である。
- 3) 芝生パネルの体積含水率は、晴天日1日あたり4%～5%程度減少した。
- 4) 晴天日で屋外風速が強いと、芝生パネルや断熱パネルの表面温度は低くなり、試験体内部の熱流量は減少する傾向がある。特に、熱流量の減少量は、断熱パネル内部より芝生パネル内部の方が大きい。また、芝生パネルBが芝生パネルAより減少量は大きい。
- 5) 晴天日で屋外風速が約5m/sで強く吹いている状況では、盛土表面より芝生上端付近の空気温度の方が、約2℃高い。これは、土壌の水分蒸発が、芝生の蒸発散よりも大きいからと考えられる。また、断熱パネル表面温度が約41℃に対し、盛土表面では約26℃で低い。

3.2 試験体材料の体積含水率と熱伝導率

試験体材料の体積含水率と熱伝導率の測定結果を図-10に示す。この結果から、試験体材料別の含水状態がわかれば芝生植栽の熱伝導率を推測することができる。

4. まとめ

芝生植栽の春季における屋上暴露実験で、芝生植栽の熱挙動を実験で確認した。気象条件と、盛土、テブサム緑化基盤、軽量人工土壌の体積含水率の相関を求めることができれば、芝生植栽内部での熱移動の検討に役立つと考えられる。今後は、芝生表面での対流熱伝達や、芝生パネルの構成材料別の含水状態について検討する予定である。

盛土(○印) : $y = 0.0124x + 0.1431$ $R^2 = 0.9814$
 テブサム緑化基盤(△印) : $y = 0.0081x + 0.0828$ $R^2 = 0.9742$
 軽量人工土壌(□印) : $y = 0.0056x + 0.0639$ $R^2 = 0.9702$

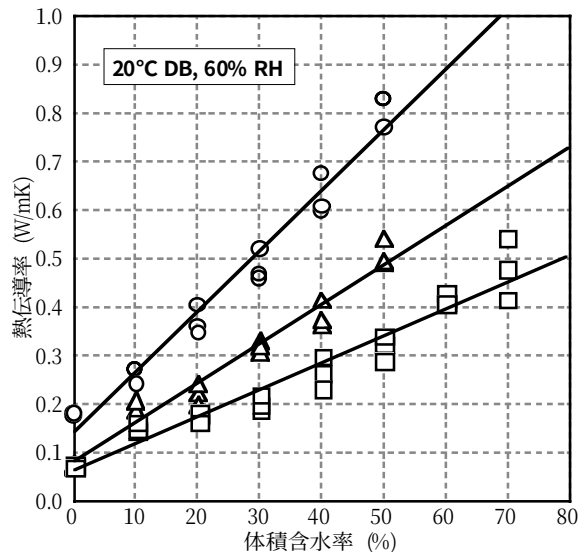


図-10 芝生植栽材料の体積含水率と熱伝導率
Water content and thermal conductivity of lawn

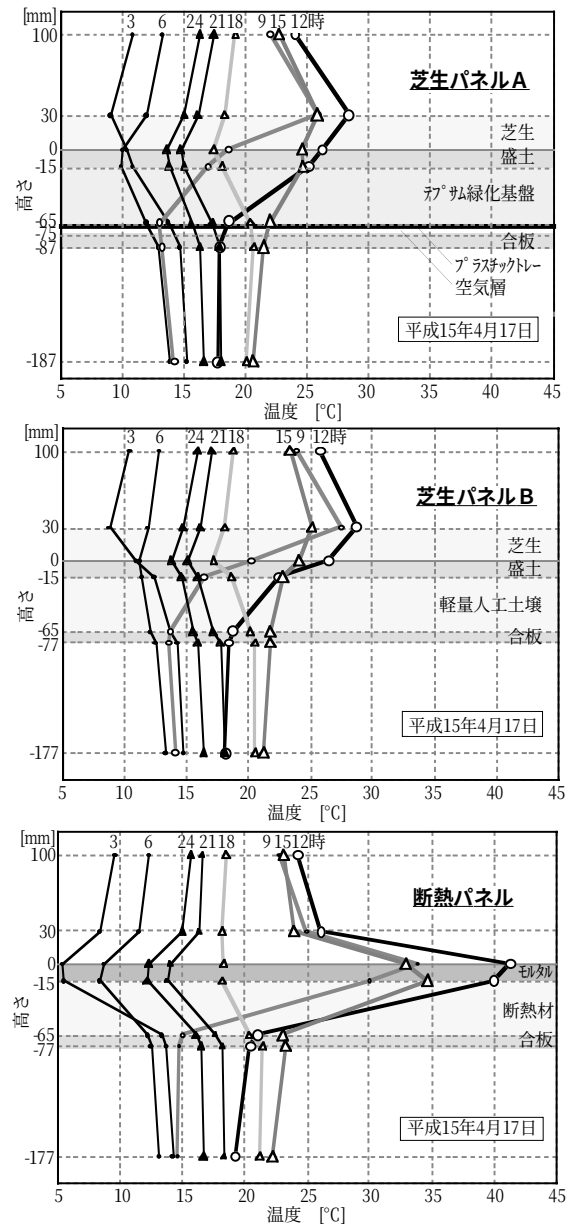


図-9 風の強い晴天日における試験体の上下温度分布
Vertical temperature distribution of the experimental object in strong wind fine weather

参考文献

- 1) 梅干野見他：屋上芝生植栽の熱環境調整効果 第1報 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究, 日本建築学会計画系論文集第462号, pp. 31-39, 1994年8月
- 2) 石原修他：パッシブ手法による夏季の省エネルギー効果に関する研究 第2報 屋上盛土+芝生植栽による省エネルギー効果, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 57, 1995年2月
- 3) 堀口剛他：屋上芝生植栽の熱環境調整効果 第2報 芝生植栽の水分収支特性に関する実験研究, 日本建築学会計画系論文集第483号, pp. 73-79, 1996年5月
- 4) 石原修他：屋上芝生植栽の熱特性と水分収支に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 第484号 pp. 17-24, 1996年6月
- 5) 谷本潤他：屋上被土からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第492号, pp. 23-29, 1997年2月
- 6) 香川治美他：芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 第1報 土壌の含水状態を考慮した芝生植栽の蒸発散特性の定量的特定, 日本建築学会計画系論文集 第507号, pp. 7-12, 1998年5月
- 7) 香川治美他：土壌内水分移動特性に関するパラメータの推定 屋上芝生植栽の葉群層下にある土壌内熱水分同時移動現象の解析, 日本建築学会計画系論文集 第525号, pp. 27-32, 1999年11月
- 8) 香川治美他：土壌内水分移動特性に関するパラメータの推定 第2報 自然の裸地面および草地面からの蒸発散量の推定, 日本建築学会計画系論文集 第531号, pp. 23-29, 2000年5月