

植栽基盤モデルを用いた地表面近傍の熱環境の定量的評価

地盤調査事務所 正会員 ○木下 孝介
法政大学デザイン工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

ヒートアイランド対策技術に関しては、街路のように複合的な対策(街路樹等の緑化施設、保水性舗装の整備、高反射性材料の使用など)が可能な空間においては、選択肢が多岐にわたり、効果的かつ経済性の高い組み合わせ等についてはノウハウの蓄積はまだ不十分な段階にある。これらの諸技術の最適化にはコストパフォーマンスの評価が必要であり、それには個々の技術の対策効果の定量化が前提となる。また、緑化施設においては灌水管理手法を考慮した評価も不可欠となる。

そこで、本研究では合理的な灌水管理手法を構築することを目的とし、植栽基盤モデルを用いて灌水による熱環境改善効果の定量化を試みた。

2. 植栽基盤モデルの概要

植栽基盤モデルは大気モデル、地表面モデル、土壌モデルに大別され、土壌-植物-大気連続体モデルに位置づけられる。植栽モデルの基礎式を表-1に示す。

地表面モデルでは東京気象台の一般気象データ(気象モデル)を入力値として、降水量と放射量が決定される。地表面モデルは、植栽被覆に応じた葉面積指数に基づ

き土壌面からの蒸発と葉面からの蒸散の配分を表現している。土壌モデルには Fayer によって開発された UNSAT-H¹⁾のソースコードを利用し、根による吸水モデルとしては同コードに採用されている Feddes らによる吸水強度と体積含水率の関数を採用した。

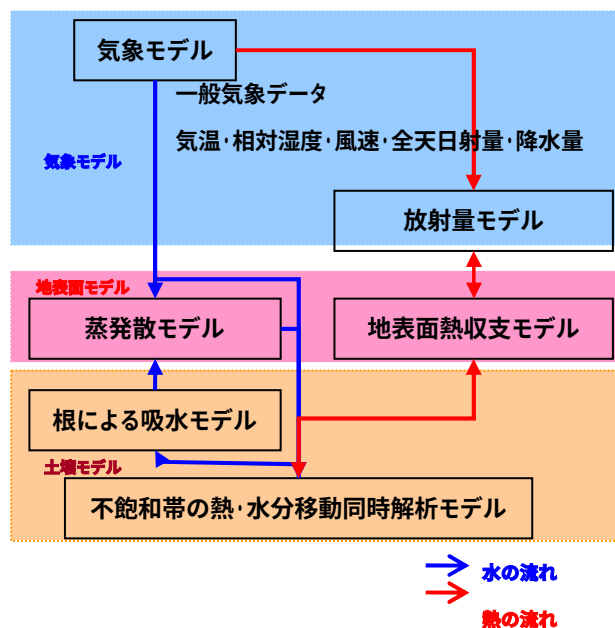


図-1 植栽基盤モデルの概要

表-1 植栽基盤モデルの基礎式

土壌モデル	水蒸気輸送を考慮したRichards式		
		$C_w \frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (k_L + k_{vh}) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_L + k_{vT} \frac{\partial T}{\partial z} \right\} - S(z,t) \quad \dots(1)$	
地表面モデル	熱輸送に関する支配方程式	$C_h \frac{\partial T}{\partial t} + l \frac{\partial \theta_v}{\partial t} + C_{hv}(T - T_0) \frac{\partial \theta_v}{\partial t} + C_{hw}(T - T_0) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} - l q_v - C_{hv}(T - T_0) q_v + C_{hw}(T - T_0) q_L \right\} \quad \dots(2)$	
	蒸発散モデル(バルク式) ²⁾	$PET = \rho C_H U \{ q_{sat}(T_L) - q(T_a) \} \quad E_s = PET \cdot e^{-F \cdot LAI} \quad E_L = PET \cdot (1 - e^{-F \cdot LAI}) \quad \dots(3)$	
	地表面熱収支モデル(並列源モデル) ³⁾		
	土壌面熱収支	葉面熱収支	$e^{-F \cdot LAI} R^{\downarrow} + (1 - e^{-F \cdot LAI}) \epsilon_s \sigma T_L^4 - G = \sigma T_s^4 + H_s + l E_s \quad (1 - e^{-F \cdot LAI}) R^{\downarrow} + (1 - e^{-F \cdot LAI}) \epsilon_L \sigma T_s^4 = 2(1 - e^{-F \cdot LAI}) \sigma T_L^4 + H_L + l E_L \quad \dots(4)$

[記号] c_w :比水分容量, ψ :吸引圧, θ :体積含水率, T :土中温度, K_L :透水係数, k_{vh} :吸引圧勾配による水蒸気の伝導率, k_{vT} :温度勾配による水蒸気の伝導率, $S(z,t)$:根による吸収項, C_{hi} :体積熱容量, λ :熱伝導率, q_v :水蒸気スラックス, q_L :液状水フラックス, T_0 :基準温度, l :気化潜熱, PET :可能蒸発散量, ρ :空気の密度, $C_H U$:交換速度, $q_{sat}(T_L)$:葉面温度に対する飽和比湿, $q(T_a)$:空気の比湿, E_s :可能蒸発量, E_L :可能蒸散量である。ただし、添え字の $i = w, s, v$ のうち w は水, s は土粒子, v は水蒸気を表す。

キーワード 灌水, 街路, 土壌-植物-大気連続体モデル, 保水特性試験, 地表面温度

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部 T E L 03-5228-1443 E-mail: oka@hosei.ac.jp

3. 植栽基盤の水分および熱特性

(1) 植栽基盤の概要

芝生被覆の黒土を用いた植栽基盤(土壌厚さ 300mm)を想定し、地表面パラメータは葉面積指数=3、交換速度=0.002+0.0045U、根密度領域=50mmと設定した。

(2) 実測値に基づく水分特性

保水特性試験より求めた黒土の水分特性曲線を図-2に示す。試験では乾燥過程に対して pF0~1.5 の範囲は土柱法、pF1.8~3.0 の範囲は加圧板法を採用している。また、保水特性試験と同等の試験体を用いて変水位透水試験より飽和透水係数を得た(図-2 参照)。

(1)式で用いる $\theta-\psi$ 関係と $\theta-k_r$ 関係は、保水特性試験結果に van Genuchten 式を適用してモデル化した。

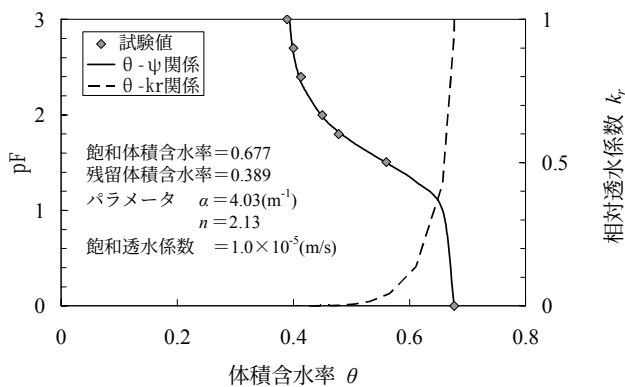


図-2 黒土の $\theta-\psi$ および $\theta-k_r$ 関係

(3) 経験式に基づく熱特性

体積熱容量と熱伝導率の体積含水率依存性は古くから適用されており、一般に次式で表される。

$$C_h = c_m(1-\phi) + c_w\theta \quad (5)$$

$$\lambda = A + B\theta - (A-D)\exp\{-(C\theta)^E\} \quad (6)$$

ここに、 c_i : 体積熱容量($i = h, s, w$, のうち h は土壌, s は土粒子, w は水を表す), ϕ : 間隙率, A, B, C, D, E : パラメータである。表-2 に粒度組成から推定した黒土の熱特性の諸パラメータをまとめる。

表-2 黒土の熱特性

体積熱容量	c_w	(J/(m³ · K))	c_m	(J/(m³ · K))	
	2200		4180		
熱伝導率	A	B	C	D	E
	0.422	0.904	6.32	0.103	4

4. 灌水による温度上昇の抑制効果

(1) 最大有効水分に基づく灌水方法

最大有効水分としてここでは植物の蒸散や光合成が低下する生長障害水分点である pF3.0 を下限値とした。上限値は一般的な最小容水量の pF1.8 を用いた。これより、pF1.8~3.0 の範囲に相当する体積含水率を最大有効

水分 θ_f と見なすと $\theta_f = 0.089$ となる。

灌水は 6~7 時の間に根領域の平均吸引圧が pF2.7 に達したときとし、最大有効水分量 26.8mm に対して 1/10, 1/5, 2/3, 1/2, 1/1 の割合で水量調整を行う。

(2) 灌水と地表面温度の関連性

夏期の灌水日における地表面近傍の温度変化を図-3に示す。無灌水の場合の日蒸発散量は 1mm まで低下し、葉面と土壌面の温度はそれぞれ 42.7°C, 37.0°C に達する。

また、蒸発散能に満たない灌水量では日中の温度上昇の抑制効果が弱い。一方、蒸発散能に見合う灌水量の場合、5mm 程度の日蒸発散量が算定され、温度上昇の抑制効果が期待できることが示された。ただし、8.8mm/日以上 of 過大な灌水を行っても、葉面ならびに地表面温度の変化に差異がほとんど認められない。

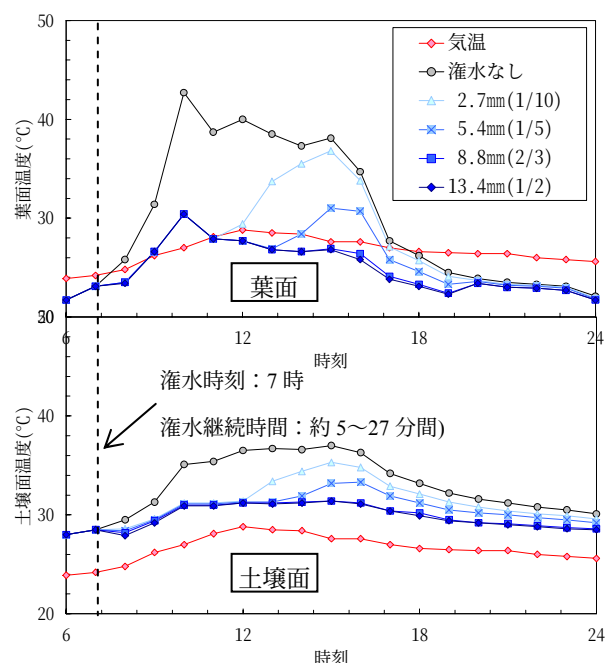


図-3 灌水後の地表面近傍における温度の時間的変化

5. まとめ

蒸発散能に見合う灌水を適切に行うことにより、十分な温度上昇の抑制効果が期待できることが示された。

参考文献:

- 1) Fayer, M.J. (2000): UNSAT-H Version 3.0: Unsaturated Soil Water and Heat Flow Model Theory, User Manual, and Examples, U.S. Department of Energy, various paginations.
- 2) 近藤純正 (2000): 地表面に近い大気科学, 東京大学出版会, pp.142-143.
- 3) Kondo and Watanabe (1992): Studies on the Bulk Transfer Coefficients over a Vegetated Surface with a Multilayer Energy Budget Model, Jour. of the atmospheric sci., 49(3), pp.2183-2199.