

人工植栽基盤上への灌水を想定した地表面近傍の熱環境改善効果の定量化

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の一つとして普及しつつある都市型緑化施設は、設計・施工に多くの制約条件があることから、灌水管理が重要課題となっている。灌水方法の多くは、経験的な維持管理がほとんどであり、植栽によっては十分な潜熱輸送量を見込めない恐れもある。そこで、本稿では屋上緑化を想定した室内実験を行うとともに、数値シミュレーションを用いて、灌水による地表面熱環境の改善効果を検証する。

2. 実験概要

実験では、地表面熱収支と蒸発特性の表層土壌水分依存性を考慮し、地表面近傍層を対象に蒸発効率 β と体積含水率 θ の関係を把握する。なお、土壌試料には黒土、珪砂7号、既往の研究との比較対象として豊浦標準砂を使用した。

(1) 蒸発実験装置

実験装置は図1のように実験カラム、ファン、電子秤および温湿度測定台から構成される。実験室内の気流の影響を抑えるために、これらの周囲はプラスチック製容器で覆われている。実験中は地表面以外を断熱材で覆い、ファンを用いて地表面上の湿潤空気を強制的に排除して、蒸発を促進させる。温湿度センサのサンプリング間隔はいずれも1分であり、蒸発量計測用の電子秤は15分間隔である。

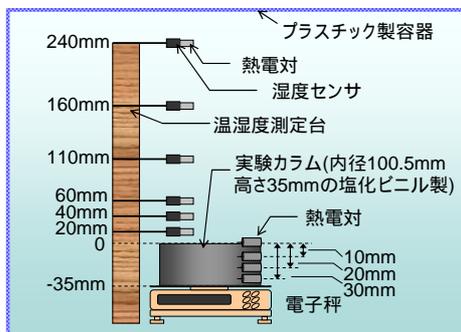


図1 実験装置の概要

(2) 実験方法

所定の乾燥密度で土壌を充填し、純水を用いて毛管

飽和させる。各測定値の安定を確認した後、ファンの稼働(蒸発量計測時には停止)および各センサと電子秤による測定を開始する。実験終期において蒸発量が著しく減少し、ほぼ定常となった時点で実験を終了する。

3. 蒸発実験における蒸発効率推定式

蒸発特性は下式により一般化される。式(1)のバルク式より蒸発量を求め、式(2)から地表面近傍の土壌水分によって異なる蒸発量の変化を蒸発効率として表す。

$$E = \rho C_E U (q_{sat} - q) \dots (1)$$

$$\beta = C_E U / C_H U \dots (2)$$

ここで、 E ：蒸発強度、 ρ ：空気密度、 β ：蒸発効率、 $C_H U$ ：顕熱の交換速度、 $C_E U$ ：潜熱の交換速度、 q_{sat} ：地表面温度に対する飽和比湿、 q ：大気の比湿である。 β は $0(\text{乾燥}) < \beta < 1$ (地表面が十分に湿った状態)の範囲¹⁾で変化することから、 $C_H U$ は湿潤状態の蒸発量を用いて式(1)から算定された $C_E U$ と同値である。よって未知数は β のみとなり、乾燥の進行により変化する β は、式(1)と(2)を用いて求められる。

4. 蒸発実験の結果および考察

図2は、表面層の体積含水率 θ と β の関係である。pF1.5付近における土壌ごとの $C_E U$ はほぼ一定であったため、安定している測定値から $C_H U$ を算定した。pF1.5~pF1.8の θ - β 関係は、豊浦標準砂や珪砂7号では直線的に変化するが、黒土では近似的に $\beta=1$ とみなせる。さらに pF1.8 付近より乾燥側では、いずれも β の減少傾向が高まった。豊浦標準砂を用いた既往の研究²⁾では、本研究と同様に $\theta = 0.05$ 付近を境に β の急激な低下が報告されている。

実験に使用した土壌の水分特性曲線を図3に示す。豊浦標準砂や珪砂7号では、24時間排水量に相当する pF1.5~1.8 において体積含水率が大きく減少し、pF1.8より乾燥側では直ちに収束する。これに対して保水性の高い黒土は、含水率の低下が小さいため、緩やかな β の減少が生じたと推察される。

キーワード 灌水, 室内蒸発実験, 蒸発効率, 水分特性曲線, 地表面熱収支

連絡先 〒160-0017 東京都千代田区富士見 2-17-1 法政大学デザイン工学部 TEL 03-5228-1462 E-mail: oka@hosei.ac.jp

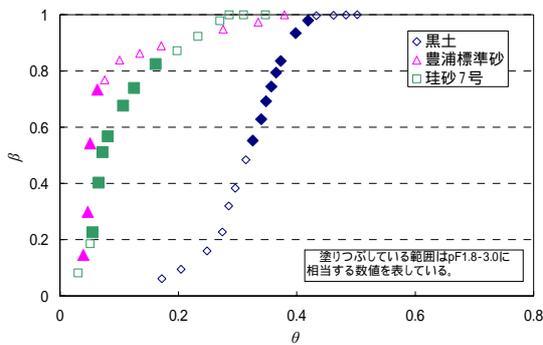


図2 蒸発効率の土壤水分依存性

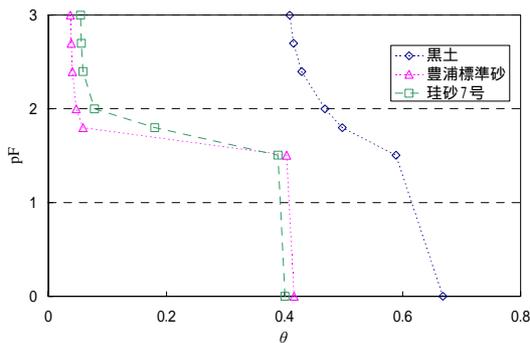


図3 土壤別の水分特性曲線

5. 灌水による地表面近傍の熱環境改善効果の検証

(1) モデルの概要

植物が枯死しない範囲内で無降雨期間が続いた場合、蒸発散量が減少して都市型緑化施設の機能の低下が懸念される。こういった条件下での灌水効果は高く、維持管理とあわせた灌水管理手法の有用性が挙げられる。

ここでは、芝地の植栽基盤を想定して、次のような水収支式と熱収支式を組み合わせ、仮想気象条件のもとで灌水がもたらす熱環境改善効果を検討する。ただし、計算を容易にするため、地表面は植栽に覆われず裸地(層厚 0.1m)と設定した。

$$[水収支式]: I - E - z\Delta\theta/\Delta t = 0 \dots (3)$$

$$[熱収支式]: R_n - H - iE - G = 0 \dots (4)$$

ここに、 I : 灌水量, E : 蒸発量, $z\Delta\theta/\Delta t$: 土壤水分変化量, R_n : 正味放射量, H : 顕熱輸送量, iE : 潜熱輸送量, G : 地中伝導熱である。このモデルでは、蒸発または灌水に伴う土壤水分の増減を深度方向に一定として扱う。地表面熱収支は、植栽基盤内の熱伝導を加味して、図4に説明する計算フローに従う。

(2) 計算条件

入力値となる一般的な気象データ(気温, 相対湿度, 風速, 短波放射量)を余弦関数で表し、表層土壤水分と関わり合いの強い射出率, アルベド, 土壤の熱伝導率および体積熱容量には経験的な推定式³⁾を利用した。な

お、 θ と β の関係には前述の黒土の実験結果を式(2)に適用して、式(1)より蒸発量を算定した。

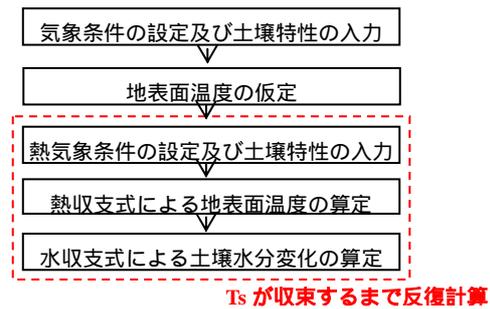
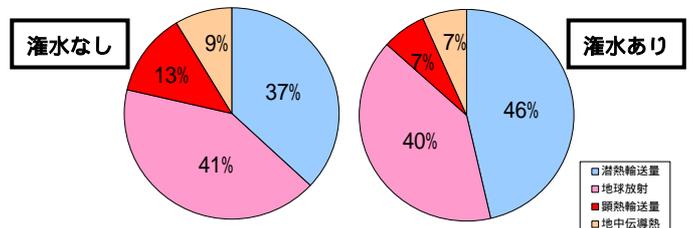


図4 水収支および熱収支計算の手順

(3) 灌水に伴う熱環境の変化

灌水時刻は蒸発量の減少が認められる無降雨期間4日目の午前6時とした。これより同日の入力放射量のピーク時における地表面温度が、約4℃低下する結果を得た。また、灌水条件別の入力放射量のピーク時における熱収支の相違を図5に示す。灌水の有無によらず、地球放射と潜熱輸送量が全体の約8割を占めているが、灌水した場合には蒸発の促進に伴い、著しい顕熱輸送量の減少が見受けられる。一方、地中伝導熱と地球放射の灌水による変化は、これらより小さく、今回の条件では土壤水分への依存性は低いと判断される。



6. まとめ

過剰に温められた地表面への灌水は、制約条件の多い人工基盤に対しては有効な手段であるが、場合によっては蒸発散に伴う湿度の上昇を引き起こす可能性もある。それゆえに、灌水による本来の緑化施設の水・熱環境改善効果を再現するには、大気を含めた詳細なモデルを構築する必要がある。

<参考文献>

- 1) 近藤純正(1994): 水環境の気象学, 朝倉書店, pp.108-139.
- 2) 二上章司ら(1997): 表面層モデルによる砂層表面と大気との間の熱・水分移動特性, 水工学論文集, 第41巻, pp.37-42.
- 3) Fayer, M.J. (2000): UNSATH Version 3.0: Unsaturated Soil Water and Heat Flow Model Theory, User Manual, and Examples, U.S. Department of Energy, various paginations.