

III-30

火山灰質土の蒸発散特性に関する基礎的研究

八戸工業高等専門学校 正会員 ○清原 雄康

1. はじめに

盛土内の土中水分含有量を精度良く把握するためには、降雨時の雨水の浸透だけでなく、晴天時の地表面からの水分の蒸発、土中水分の上方移動、さらに、植栽がある場合は根による吸水効果も考慮する必要がある。本研究では、コラム試験により火山灰質土である八戸しらす、築館土の晴天時の蒸発散量を定量的に把握し、豊浦砂との比較を行った。さらに、土中の不飽和水分移動が考慮された水収支モデルにより、土中の水分分布の変化挙動の把握や、実測値との比較を行った。

2. コラム試験

2.1 実験方法

試験に用いた供試体は、八戸しらす、築館土、豊浦砂を内径10cm、高さ12.7cmの塩ビモールドに所定の密度になるよう突固めて作製し、表面にケンタッキーフェスクの種を23g/m²播き生育させた。植栽の有無での蒸発散量の比較をするために、植栽を施さない供試体も同数作製した。表-1、図-1にそれぞれ供試体諸元及び試験概要図を示した。植栽が十分に生長後、一旦供試体を毛管飽和状態に安定させ、底面からの重力排水が生じないことを確認してから、晴天日に1時間おきに供試体の重量を量り、その減少量から蒸発散量を求めた。

表-1 蒸発散コラム試験に用いた供試体諸元

	八戸しらす	築館土	豊浦砂
試験期間	平成17年11月1日～平成17年11月26日		
供試体作製条件	落下高さ30cm、2.5kgランマー使用、3層×25回		
乾燥密度 (g/cm ³)	1.20 (1.18-1.23)	1.32 (1.30-1.35)	1.62 (1.53-1.67)
間隙率	0.52 (0.51-0.53)	0.47 (0.46-0.48)	0.39 (0.37-0.42)
初期飽和度	90.9 (87.2-94.4)	94.2 (91.5-96.9)	100 (96.8-100)

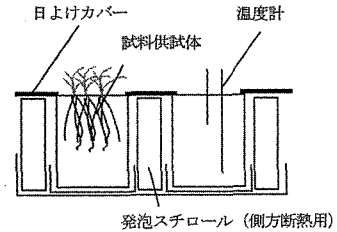


図-1 コラム試験概要図

2.2 実験結果

図-2.1～2.3、図-3.1～3.3に各土質での飽和度と蒸発速度（植栽無し）及び蒸発散速度（植栽有り）の関係をそれぞれ示した。いずれの土質も飽和度の低下に伴い蒸発（散）速度は低下する傾向にあった。蒸発速度は最大約0.6mm/hで、日射量が0.8MJ/m²以下では飽和度の影響は小さくなり0.2mm/h以下であった。豊浦砂に比較して火山灰質土の方がやや速度が大きい分布となっているのは、その毛管力が大きいために、表面蒸発に伴う土中水分の上方移動がより大きかったことが原因として考えられる。蒸発散速度は最大約0.9mm/hで、日射量が0.8MJ/m²以下でも植物の蒸散作用により0.4mm/h程度の蒸発散が生じていた。昼間の晴天時の蒸散量（=蒸発散量-蒸発量）は飽和度が0.6程度までは飽和度あまり依存せず、八戸しらすで0.20-0.24mm/h、築館土で0.18-0.24mm/h、豊浦砂で0.28-0.35mm/hであった。豊浦砂がやや大きくなる傾向にあったが、この原因として供試体内に伸長したの根の分布密度が、火山灰質土に比して豊浦砂の方が約1.4倍大きかったことが考えられる。

□ 日射量範囲1.2以上 ◆ 日射量範囲0.8-1.2
● 日射量範囲0.4-0.8 ▲ 日射量範囲0.4以下
(八戸しらす)

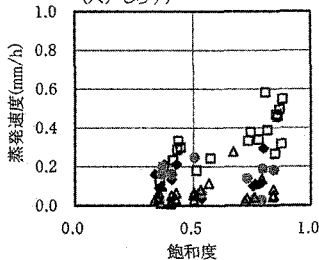


図-2.1 八戸しらすの蒸発速度

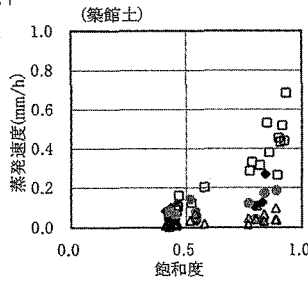


図-2.2 築館土の蒸発速度

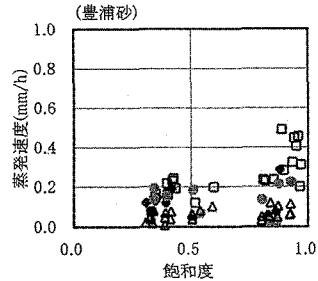


図-2.3 豊浦砂の蒸発速度

□ 日射量範囲1.2以上 ◆ 日射量範囲0.8-1.2
● 日射量範囲0.4-0.8 △ 日射量範囲0.4以下

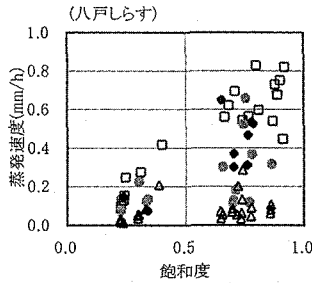


図-3.1 八戸しらすの蒸発散速度

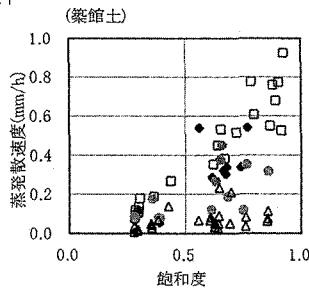


図-3.2 築館土の蒸発散速度

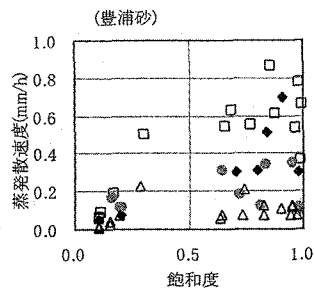


図-3.3 豊浦砂の蒸発散速度

3. 蒸発散による飽和度変化の理論値と実測値の比較

3.1 解析で用いた蒸発散モデル

上述した供試体を図-4に示したような要素に分割した時、節点*i*における蒸発散の物質収支は、式(1)から(7)のようになる¹⁾としてモデル化し、日中の蒸発散がさかんに行われる時間帯での水分移動の解析を行った。

$$F = f_{w_i} - f_{w_{i-1}} + U_i - U_{i-1} + CP_i - f_{v_i} + f_{v_{i-1}} + RF_i \quad (1)$$

$$f_{w_i} = -K_i \cdot d\Psi_i/dz \quad (2) \quad U_i = g \cdot K_i \quad (3) \quad CP_i = \rho_w \cdot C_i \cdot \frac{(z_{i+1} - z_{i-1})}{2} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (4)$$

$$f_{v_i} = Ep \cdot (h_s - h_a) / (1 - h_a) \quad (5)$$

$$f_{v_i} = D_v \cdot c_v \cdot (h_{i+1} - h_i) / (z_{i+1} - z_i) \quad (6) \quad RF_i = L_i \cdot R_i \quad (7)$$

ここで f_{w_i} :マトリックスポテンシャルフラックス, U_i :重力ポテンシャルフラックス, CP_i :貯留項, f_{v_i} :水蒸気フラックス, RF_i :根からの水分吸収フラックス, K_i :不飽和透水係数, Ψ_i :サクション, C_i :比水分容量, EP :蒸発速度, h_s, h_a :土及び空気の相対湿度, D_v :ガス拡散係数, c_v :水蒸気濃度, L_i :根密度, R_i :根の吸水速度, t :時間。

不飽和透水係数は式(8)に示したBrooks-Corey式を用いた。

$$K_i = KS \cdot \left(\frac{\Psi_e}{\Psi_i} \right)^n \quad n = 2 + b/3 \quad (8)$$

ここで KS :不飽和透水係数, Ψ_e :空気浸入ポテンシャル,

b :Brooks-Corey係数。

解析に用いた透水, 保水係数は室内試験から求めた表-2に示した値を用いた。蒸発速度, 根の吸水速度は前述した晴天時の野外カラム試験結果から求めた値を用いた。

3.2 解析結果

図-5に気象条件が安定していた平成17年11月1日から11月4日までの実測値と解析値の経時変化を示した。この結果, いずれの土質でも解析値と理論値は良好な整合性が得られた。

4. まとめ

野外での火山灰質土からなる盛土内の不飽和水分移動特性解明のために蒸発散特性の定量的把握や, そのメカニズムを基に解析を行ったところ, 挙動を良好に再現できた。今後は様々な気象条件下での基礎データの蓄積をするともに, 実盛土を想定した水分挙動予測も行っていく。

参考文献 1) ゲイロン S キャンベル, 中野政詩, 東山勇: パソコンで学ぶ土の物理学, 鹿島出版会, 1987。

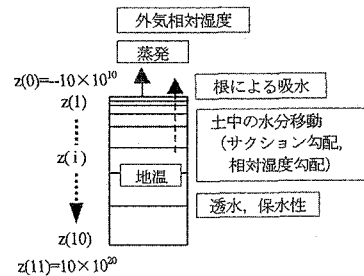


図-4 解析モデル概要図

表-2 解析に用いた透水, 保水特性値

	八戸しらす	築館土	豊浦砂
透水係数 (cm/s) 植無	8.25×10^{-3}	2.20×10^{-4}	2.51×10^{-2}
植有	7.45×10^{-3}	3.03×10^{-4}	1.73×10^{-2}
Ψ_e 値* (m)	0.2	0.4	0.3
b 値*	3	2.5	0.4

*Brooks-Corey式での係数

○ 八無実 □ 築無実 △ 豊無実
- - - 八無解 - - - 築無解 - - - 豊無解
● 八有実 ■ 築有実 ▲ 豊有実
— 八有解 — 築有解 — 豊有解
無: 植栽無し, 有: 植栽有り, 実: 実測値, 解: 解析値

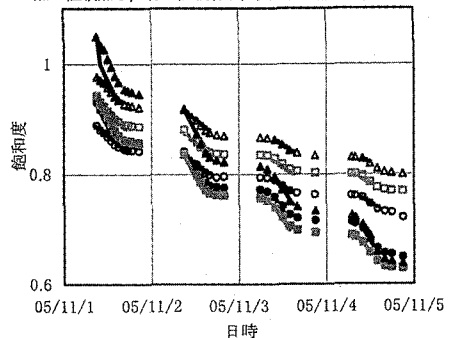


図-5 飽和度の経時変化