

II-31

砂層カラム中の水蒸気移動メカニズム

福井コンピュータ(株) 正員 馬場富夫
 福井大学 正員 福原輝幸
 大成建設(株) 正員 竹川秀夫

1. はじめに

温度勾配下の不飽和砂層内の熱・水分移動は極めて複雑であり、特に水蒸気移動の実態には未だ不明な点が多い。これは同時に蒸発量予測を困難にさせている原因でもある。とりわけ地表から蒸発するような開放系砂層内の水蒸気移動に着目して、蒸発・凝縮を実験的に検討した研究は殆どない。従って、今のところ蒸発量の予測は不飽和土の保水機能を基にした定式化が一般的であり¹⁾、水蒸気移動量から蒸発量を予測する試みは少ない²⁾。本研究では、砂層内の蒸発および水蒸気移動メカニズムの解明を目的として空隙中の水蒸気圧、ガス(差)圧を測定し、水蒸気移動の方向や発生位置および蒸発量に関して新たな知見を得たので、ここにその一部を報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は恒温室に設置され、カラム(0.1×0.1×0.6 m)周辺に断熱材を施した。標準砂をカラムに均一に充填し、蒸留水を所定の位置まで注入した後、放熱ランプを使って土壌乾燥の実験を開始した。相対湿度、温度およびガス圧の測定システムの概略は Fig. 1のとおりである。温度分布がほぼ定常状態に達した後、相対湿度およびガス圧が深さ(Z)方向に沿って2cmから5cm間隔で測定された。体積含水率の測定には土壌水分計(NORTH HIGHTECH製)が用いられた。本研究では、地下水位とランプ高さのそれぞれ異なる6種類の実験を行ったが、ここでは地下水位が同じ(砂表面下40cm)でランプ高さH(換言すれば放熱強度)の異なるCASE3(H=50cm)とCASE4(H=30cm)の結果について紹介する。

3. 実験結果およびその考察

Fig. 2およびFig. 3に温度分布 $T(Z)$ を示す。放熱強度の高いCASE4の方で表面近くの温度は相対的に高くなっているが、下方に向かうにつれて $T(Z)$ に差異はなくなる。すなわち放熱強度の影響は地表付近に限られる。

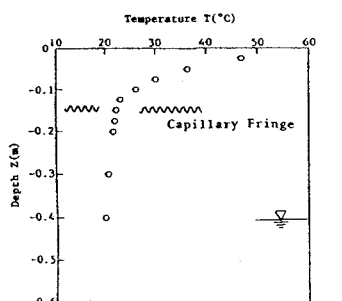


Fig. 2 Profile of Temperature (CASE3)

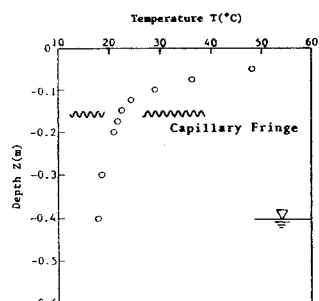


Fig. 3 Profile of Temperature (CASE4)

Fig. 4およびFig. 5は水分分布 $\theta(Z)$ (θ :体積含水率)を示しており、同図中に目視によって決定された毛管フリンジの位置も表示されている。両CASEの間で $\theta(Z)$ に違いはみられず、毛管フリンジは地表から下方に向かって θ が急増し始める深さ($Z=-D$)に対応していることがわかる。

Fig. 6およびFig. 7は相対湿度分布RH(Z)であり、毛管帯の大部分でRH $\approx$ 100%となる。RHは毛管フリンジから上方乾燥帯に向かって急激に減少し始め、その減少はほぼ線形的である。

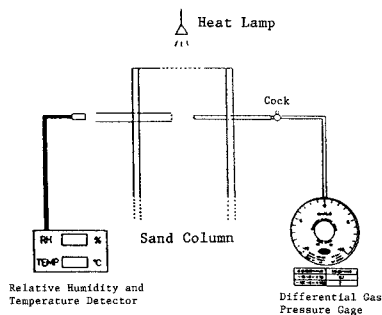


Fig. 1 Measurement System of Differential Gas Pressure, Relative Humidity and Temperature

Fig. 8およびFig. 9は水蒸気圧分布 $P_v(Z)$ を表すが、直接 P_v は求められないので、 $P_v = P_{vs} \cdot RH/100$ (P_{vs} :飽和水蒸気圧)により計算される。 P_v は毛管フリンジ付近で最大値をとり、乾燥帯では $dP_v/dZ < 0$ 、毛管帯では $dP_v/dZ > 0$ となる。このことは乾燥層での水蒸気の上方移動と毛管帯での下方移動が毛管フリンジ付近から起こり、蒸発が $Z = -D$ で最も活発であることを意味する。また毛管力で上昇した液状水の一部は蒸発して系外に、その残りは再び下方に向い凝縮することも推定できる。なおここには示していないが、砂層空隙中のガス圧は毛管帯および乾燥帯を通じてほぼ大気圧に等しく、ガス移動に伴う水蒸気輸送は無視できる。従って、乾燥層を横切る水蒸気は拡散によって移動すると考えてよい。

4. 蒸発量と水蒸気圧分布の関係

最後に $P_v(Z)$ と蒸発量との関係について考察する。蒸発量はランプ高さの低い方で大きく、CASE3で 2.31×10^{-8} (m/s)、CASE4では 2.86×10^{-8} (m/s)である。Fig. 5より $Z = -D$ での P_v は両CASEに差異はないが、地表での P_v はランプ高さの低いCASE4の方で相対的に小さい。これはCASE4の地表温度が高くなり、RHが小さくなったためである。すなわち水蒸気拡散のsourceである $Z = -D$ での P_v よりもsinkである $Z = 0$ での P_v の大小が dP_v/dZ の違いを生むことになる。高温になるほど水蒸気拡散係数は大きくなるが、蒸発が活発な $Z = -D$ での T およびRHには殆ど差がないゆえ、水蒸気圧勾配の違いが蒸発量の差異をもたらしたと考えられる。

最後に本研究は文部省科学研究費(一般研究(C))の補助を受け行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)例えば、Gardner, W.R. and Hillel, D.: The relation of external evaporative conditions to the drying of soils. *J. Geophys. Res.* 67, PP.4319-4325, 1962.
- 2)福原輝幸・佐藤邦明・S.Bories: 蒸発に伴う乾燥層の発達過程と蒸発量予測のための簡便解法、水工学論文集 第35巻, PP.9-14, 1991.

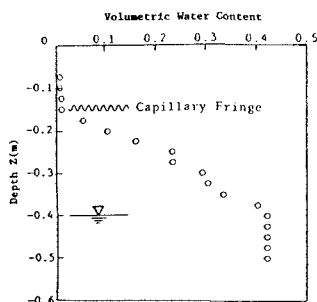


Fig. 4 Profile of Volumetric Water Content (CASE3)

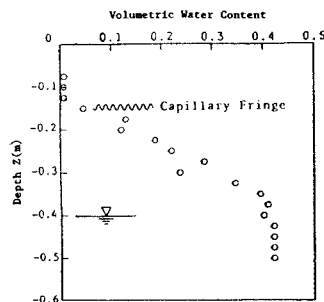


Fig. 5 Profile of Volumetric Water Content (CASE4)

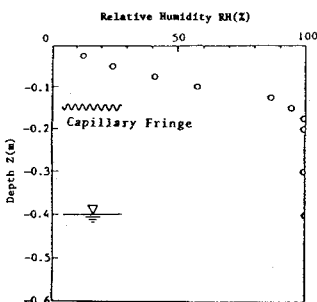


Fig. 6 Profile of Relative Humidity (CASE3)

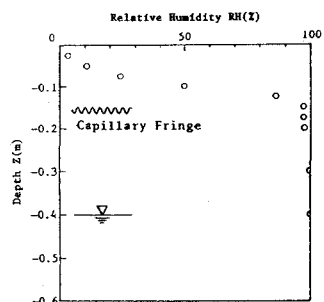


Fig. 7 Profile of Relative Humidity (CASE4)

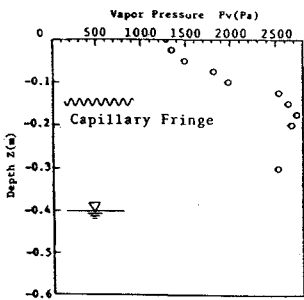


Fig. 8 Profile of Vapor Pressure (CASE3)

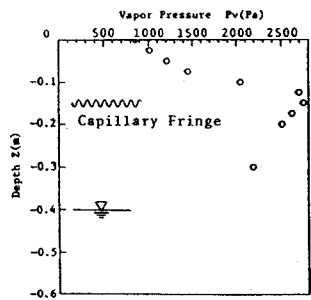


Fig. 9 Profile of Vapor Pressure (CASE4)