

II-318

温度勾配下における砂層カラム内の水蒸気移動

(株)日本総合研究所 正員 今井竜也
福井大学 工学部 正員 福原輝幸

1. はじめに

筆者等は砂層内からの蒸発メカニズムを明らかにして蒸発速度を精度よく予測するために、砂層カラム内の水蒸気圧分布に着目し、その特性を明らかにすべく実験を行なっている。昨年度、その結果の一部として、砂層カラム中のガス圧はほぼ大気圧に等しいこと¹⁾、および乾燥層を有する砂層内蒸発量は水蒸気フラックスからも評価できること²⁾を示した。

本論文では、新たに改良した実験装置により得られた砂層カラム内の水蒸気圧分布を基に、水蒸気移動の特性について検討した結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

水蒸気移動を支配する諸因子のうち、地上の温度 T と相対湿度 RH を含む外部気象条件、および地下水位に注目して、以下のような実験を行なった。

(1) 閉鎖系実験：環境シミュレーション室(温度： $10^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、湿度： $50\%\sim 60\%$ の範囲で調節可能)内にアクリル製砂層カラムを設置する。カラムには外部との質量交換を遮断するためにビニール製の覆いが施してある。種々の温度条件が設定され、カラムが熱平衡状態に達した時点で温湿度センサー(ヴァイサラ製)を用いて温度と湿度を測定し、体積含水率 θ および温度 T の変化による水蒸気圧 P_v の性質を調べた。なおカラムには、ガイドパイプが取り付けられてあり、ここからカラム内に温湿度センサーを挿入する。

(2) 開放系実験：環境シミュレーション室内において、カラム内に標準砂を充填し、周囲に断熱材を施し、電子天秤上に設置する。実験条件として、放熱ランプによる温度勾配と地下水位を与え、定常状態に達した後に閉鎖系実験と同様の方法で砂層カラム中の水蒸気圧分布 $P_v(z)$ を調べる。また、カラム内の体積含水率測定は図-1に示すような中性子水分計を用い、蒸発フラックス m_v は電子天秤の減重量分から求められる。

3. 閉鎖系実験結果

閉鎖系実験の結果を図-2に示す。同図-(a)は RH と θ の関係を表わし、 θ が極めて小さい値($\theta=0.005$)を除く含水状態では、 RH は T に関わらずほぼ100%で一定となる。厳密には、 RH は100%より少し小さい値ではあるが、実際には飽和水蒸気状態にあると考えられる。そのため同図-(b)の P_v と θ の関係では、通常の θ の範囲において P_v は T のみ(飽和水蒸気圧の温度依存性)で規定される。

4. 開放系実験結果

開放系実験結果を図-3～図-5に示す(なお、 ∇ ： $\partial/\partial Z$ 、 Z ：上向き正)。まず、図-3(a)はCASE1-1、図-3(b)はCASE2-1の T および θ の鉛直分布である。CASE1-1は地下水位が

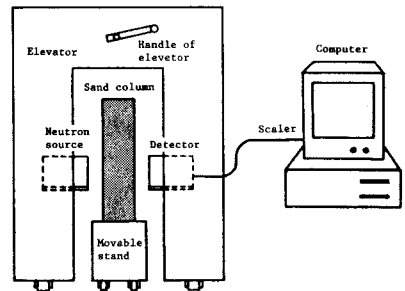


図-1 中性子水分計の概略

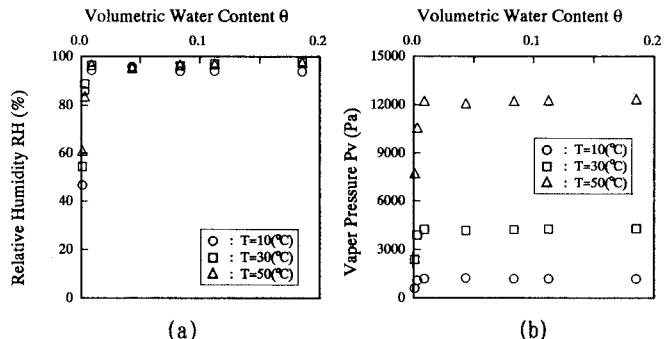


図-2 体積含水率と相対湿度および水蒸気圧の関係(閉鎖系)

地表面下0.53m、CASE2-1は0.43mの場合であり、放熱強度は共に等しい。

図-4はそれぞれのケースのRH分布であり、等温蒸発時($\nabla T=0$)と温度勾配を与えたとき($\nabla T>0$)の様子を併示する。CASE1-1では放熱による地上のRH低下に伴って、カラム全域でRHが減少していることが判る。CASE2-1の乾燥帯ではCASE1-1と同様にRHは減少しているが、毛管帯においては値は増加し、空隙は飽和水蒸気状態にある。図-5は図-3および図-4から得られた等温蒸発時と温度勾配時における P_v の鉛直分布である。CASE1-1においてはカラム内の温度上昇に伴う湿度減少によって、 $P_v(z)$ は全域でほとんど変化が認められない。また $P_v(z)$ は毛管帯上縁を境界に折れ曲がった分布を呈しており、乾燥帯での ∇P_v が相対的に小さい。CASE2-1の温度勾配下での $P_v(z)$ は馬場の実験¹⁾と同様に最大値が毛管帯上縁部付近に現れ、乾燥帯で $\nabla P_v<0$ 、毛管帯で $\nabla P_v>0$ となる。このことから、1) 毛管帯では水蒸気の下方移動および凝縮が起きている、2) 蒸発フラックス m_v は乾燥帯での ∇P_v に規定されることが判る。

5. 結論

(1) 閉鎖系での水蒸気圧は通常、温度により規定され、水蒸気は高温部から低温部に向かって移動する。

(2) 開放系での水蒸気移動は外部気象条件および地下水位の違いにより複雑な挙動を呈する。

(3) 蒸発フラックスの値は乾燥帯での水蒸気圧勾配に依存する。

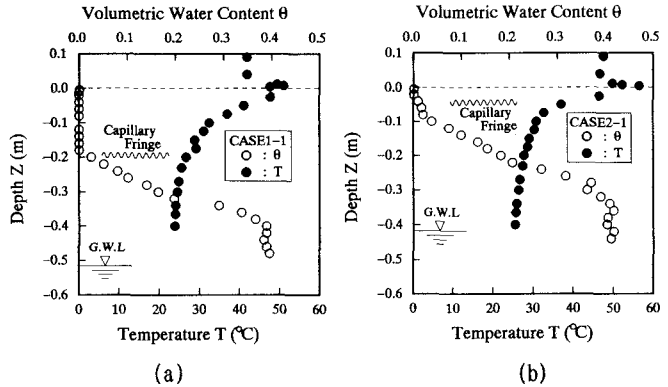


図-3 温度および体積含水率分布(開放系)

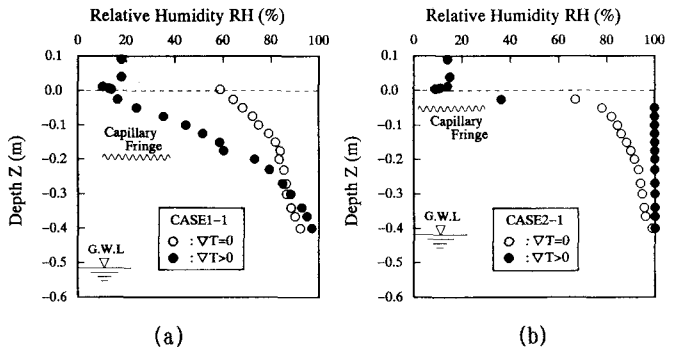


図-4 相対湿度分布(開放系)

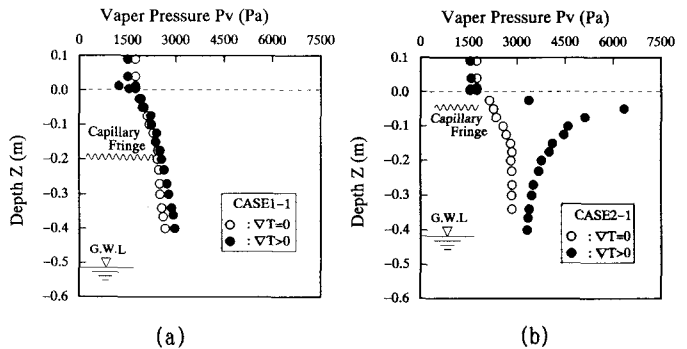


図-5 水蒸気圧分布(開放系)

参考文献

- (1) 馬場富夫・福原輝幸・竹川秀男：砂層カラム中の水蒸気移動メカニズム、土木学会第46回年次学術講演概要集、II-31、PP.102-103、1991
- (2) 福原輝幸・佐藤邦明・馬場富夫：砂層カラム内の水蒸気移動と蒸発メカニズム、水工学論文集、第36巻、PP.453-458、1992