

送風下における砂表面からの蒸発フラックスの推定

福井大学 学生員 ○門野 浩二*

福井大学 正会員 福原 輝幸*

防災科学技術研究所 正会員 岸井 徳雄**

日本学術振興会 正会員 早野 美智子***

1. 研究目的

土壌からの蒸発は土壌の物性のみならず、地上の微気象にも大きく左右され、その地域の水循環に重要な役割を果たす。気象要素の中でも、特に風による蒸発の促進が著しいことは知られているが、風速、温度、相対湿度および風向などの気象要素に含まれるパラメータの数が多いことから、風と土壌蒸発現象の相互作用に関する研究は、十分に解明されているとは言い難い。

そこで本研究では、風洞を用いて砂層カラム表面に風を送り、温度、相対湿度および蒸発量を測定し、風速が土壌表面蒸発に及ぼす影響について検討する。

2. 蒸発フラックス密度算定式

本研究で用いる砂層カラム表面からの蒸発フラックス密度の算定式 $\alpha - \beta$ 法は一種のバルク式であり、次式のように定義される。

$$M_v = \beta \gamma_m (\alpha \rho_{vs} - \rho_{va}) \quad (1)$$

ここに、 M_v ：蒸発フラックス密度($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)、 β ：蒸発効率(表面蒸発時、 $\beta=1$)、 γ_m ：水蒸気移動係数(m/s)、 α ：土壌表面の相対湿度($=[\%]/100$)、 ρ_{vs} ：土壌表面の飽和水蒸気密度(kg/m^3)、 ρ_{va} ：空気の水蒸気密度(kg/m^3)、である。

3. 実験条件および実験方法

実験は、防災科学技術研究所内の地表面乱流実験施設(温度 25℃、相対湿度 50%)において、内径 0.075m、高さ 0.08m の塩ビ製の砂層カラム(以下、カラムと記述)および 3 種類の土壌(豊浦標準砂、UAE 赤砂、UAE 白砂)を用いて行われる。

Table1 に、実験に用いられる土壌の物理特性を示す。

使用される風洞は、幅 1.0m、高さ 1.0m、長さ 3.0m である (Photo.1 参照)。カラム内部には湿潤土壌を均一に充填し、カラム頂面と風洞底面が一致するように設置する(Fig.1 参照)。カラム表面には熱電対を挿入し、重量計(A&D 製)の上に固定することにより、土壌表面温度および蒸発量が測定される。また、カラム頂面から 0.1m の高さに温・湿度センサー(VAISALA 製)を設置し、風洞内の気温および相対湿度を測定する。

風速 V_w を 0.8、1.6、2.7、3.7、4.8、5.8、6.8(m/s)の 7 種類に選び、それぞれの風速における蒸発フラックス密度 M_v および、水蒸気移動係数 γ_m を計測する。

なお、比較のために、カラムに水のみを入れた水面蒸発のケースも行われる。



Photo.1 風洞実験装置外観

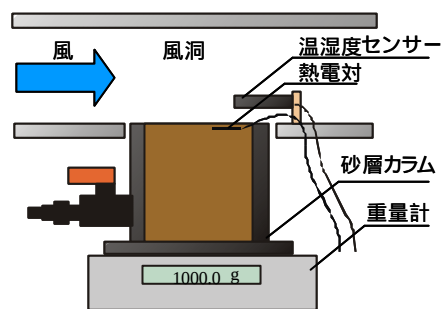


Fig.1 実験風景

キーワード 風速 土壌表面蒸発 蒸発フラックス密度 水蒸気移動係数

* : 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL 0776-27-8595 FAX 0776-27-8746

** : 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 TEL 0298-63-7512 FAX 0298-51-7510

*** : 〒102-8471 東京都千代田区麹町 5-3-1(ヤマトビル 6 階) TEL 03-3263-1721 FAX 03-3222-1986

Table1 各土壌の物理特性

	豊浦標準砂	UAE 赤砂	UAE 白砂
飽和透水係数 k_{sat} (cm/s)	2.04×10^{-2}	3.10×10^{-3}	1.65×10^{-3}
平均粒径 D_{50} (mm)	0.183	0.16	0.174
有効径 D_{10} (mm)	0.12	0.083	0.075
間隙率 ϵ	0.43	0.37	0.36

Table2 各土壌の C_e および d の値

	豊浦標準砂	UAE 赤砂	UAE 白砂	水
C_e	3.17×10^{-3}	2.61×10^{-3}	2.08×10^{-3}	4.24×10^{-3}
d	1.13×10^{-2}	1.07×10^{-2}	1.00×10^{-2}	1.17×10^{-2}

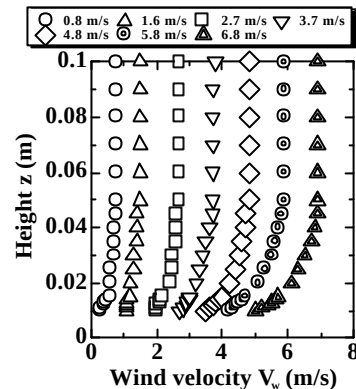


Fig.2 風速の鉛直分布(標準砂)

4. 実験結果

4.1 風速の鉛直分布

Fig.2 に砂層カラム上における風速の鉛直分布を示す．カラム上の高さを z とすると， $z > 0.05m$ で風速は一樣に近づく．以下で述べる風速 V_w は，この一樣に近い部分の風速を意味する．

4.2 土壌表面の飽和水蒸気密度および空気の水蒸気密度

Fig.3 に土壌毎の土壌表面の飽和水蒸気密度 ρ_{vs} および空気の水蒸気密度 ρ_{va} を示す．水蒸気密度は，測定した温度および相対湿度より求められる．各土壌とも， ρ_{vs} は $1.7 \sim 1.8 \times 10^{-2} (kg/m^3)$ ， ρ_{va} は $1.1 \times 10^{-2} (kg/m^3)$ となり，土壌の違いによる差異は殆ど見られない．

4.3 風速と蒸発フラックス密度の関係

Fig.4 に風速 V_w と蒸発フラックス密度 M_v の関係を示す． M_v は水面および土壌の種類に関わらず， V_w の増加につれて線形的に大きくなる．

4.4 風速と水蒸気移動係数の関係

Fig.5 は，風速 V_w と水蒸気移動係数 γ_m の関係を示したものである． V_w と γ_m の間には，

$$\gamma_m = C_e V_w + d \quad (2)$$

の関係式が成り立つ．各土壌を比較すると，UAE白砂，UAE赤砂，豊浦標準砂の順に γ_m の傾き(増加率) C_e および，切片の値 d は大きくなる．

Table2に各土壌の C_e および d の値を示す．

5. 結論

本研究は，風速が土壌表面蒸発に及ぼす影響を検討するために，風洞を用いて蒸発実験を行った．

以下に結論を列挙する．

- (1) 蒸発フラックス密度 M_v および水蒸気移動係数 γ_m は， $0.8m/s \leq V_w \leq 6.8m/s$ では風速 V_w の増大に伴い線形的に増加する．
- (2) 風速 V_w の増大に伴う M_v および γ_m の増加率は，UAE 白砂，UAE 赤砂，豊浦標準砂の順に大きくなる．

参考文献

- 1) 篠野正樹・福原輝幸・佐藤邦明：送風下における砂層カラムからの蒸発および大気との間の熱交換、水工学論文集、39，pp.279-284，1995．
- 2) 二上章司・高野保英・福原輝幸・佐藤邦明：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、41，pp.37-42，1997．

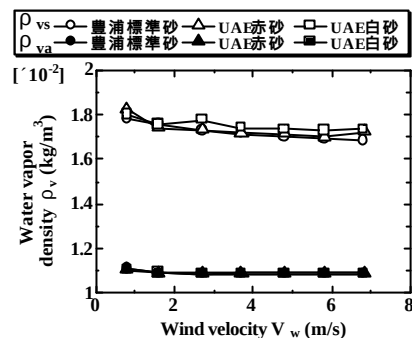


Fig.3 土壌表面の飽和水蒸気密度および空気の水蒸気密度

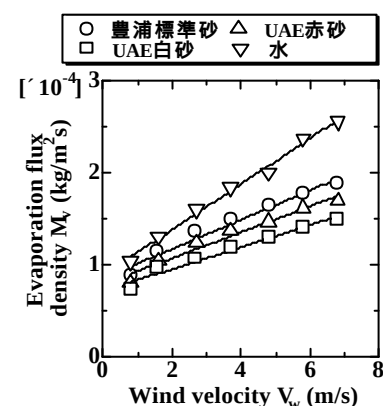


Fig.4 風速と蒸発フラックス密度の関係

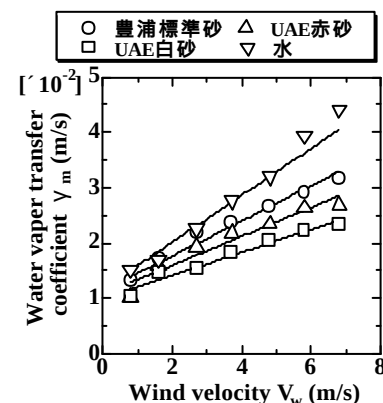


Fig.5 風速と水蒸気移動係数の関係