

擬似非定常送風下における土壌表面からの時間蒸発フラックス —豊浦標準砂の場合—

滋賀県警察 正会員 ○門野 浩二*
 福井大学工学部 正会員 福原 輝幸**
 福井大学大学院 学生員 寺崎 寛章**
 つくば防災科学技術研究所 正会員 中根 和郎***

1. はじめに

土壌表面からの蒸発フラックス算定の精度検証には、信頼性の高い実測値を得ることが前提条件となる。筆者らは、小型蒸発パンを用いて、長年にわたり野外における時間蒸発フラックスを計測している¹⁾。蒸発フラックスは様々な気象条件要素に支配されるが、その中でも特に風による影響は大きい。加えて、野外風速は非定常性が強いことから、蒸発フラックスに及ぼす風速の影響に関しては不明な点が多い。

そこで本研究では、風洞を用いて一定時間毎に風速を変化させ、擬似非定常送風下における土壌表面の蒸発特性を調べるとともに、時間蒸発フラックスの精度良い計算手法を検討する。

2. 表面蒸発フラックス算定式

本研究において、土壌表面からの蒸発フラックス（質量ベース）は以下のバルク式を用いて表現する。

$$E_v = \alpha_v D_{atm} (\rho_{v,surf} - \rho_{v,air}) \quad (1)$$

ここに、 E_v ：蒸発フラックス ($\text{kg/m}^2\text{s}$)、 α_v ：蒸発係数 ($1/\text{m}$)、 D_{atm} ：空気の水蒸気拡散係数 (m^2/s)、 $\rho_{v,surf}$ ：土壌表面の飽和水蒸気密度 (kg/m^3)、 $\rho_{v,air}$ ：空気の水蒸気密度 (kg/m^3) であり、 α_v は風速 V_w の関数であると推察される。

3. 実験条件および実験方法

実験は、つくば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%）の風洞（幅 1m、高さ 1m、長さ 3m）と内径 0.075m、高さ 0.08m の塩ビ製の砂層カラム（以下、カラムと記述）および豊浦標準砂を用いて行った。

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した（図-1 参照）。カラム表面には熱電対を挿入し、最小目盛 0.1g 読みの重量計（METTLER 製）の上に固定して、土壌表面温度および蒸発量を測定した。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した。なお、測定間隔は 1 分間とする。

擬似非定常風速は、低速と高速の風速を一定期間 Δt_c ($=0.25, 0.5$ および 1 時間) 毎に切り替えて作る。風速 V_w の組み合わせは、0.8m/sec と 4.8m/sec、1.6m/sec と 3.7m/sec、0.4m/sec と 5.3m/sec の 3 組（それぞれ CaseA、CaseB、CaseC と呼称）とする。各組の平均風速は、それぞれ 2.80m/sec、2.65m/sec および 2.85m/sec であり、ほぼ等しい。

キーワード：非定常風速、蒸発フラックス、蒸発係数

* : 滋賀県警察本部（〒520-8501 滋賀県大津市京町 4-1-2 077-522-1231）

** : 福井大学工学部建築建設工学科（〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 0776-27-8595）

*** : つくば防災科学技術研究所（〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 0298-51-6451）

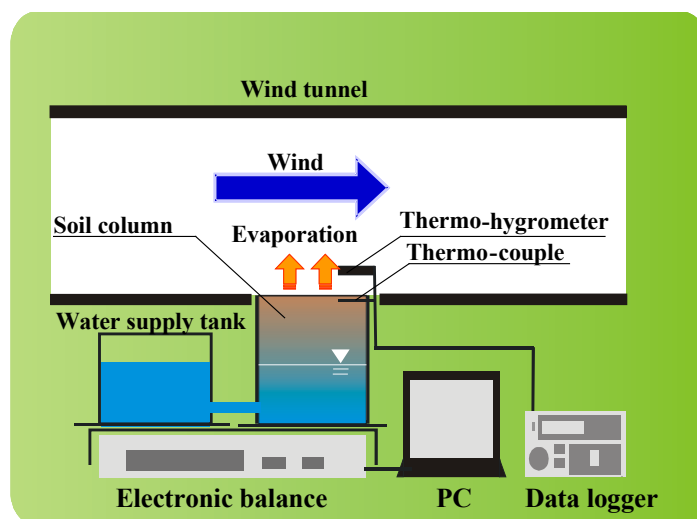


図-1 風洞蒸発実験風景

4. 実験結果および考察

4.1 積算蒸発量の経時変化

図-2に各ケースの積算蒸発量 Q_v （単位面積当り）の経時変化を示す。 Q_v の時間勾配（ E_v ）は風速が高いほうが相対的に大きい。時間経過に伴い Q_v の大小関係（CaseB>CaseA>CaseC）は明瞭となり、ケース間の差は徐々に広がる。ちなみに実験開始から6時間後の Q_v をCaseBとCaseCで比較すると、後者は前者の約88%となる。

4.2 蒸発係数と風速の関係

定常送風下の風速 V_w （風速の鉛直勾配が0となる領域の値）と蒸発係数 α_v の関係は図-3に示され、次式で近似できる。

$$\alpha_v = aV_w^{0.7} + b \quad (2)$$

ここに、 a および b は定数であり、 $a=226$ 、 $b=267$ である。

4.3 時間蒸発フラックス

時間蒸発フラックス E_{vh} （kg/m²/hr）について、本論文では2種類の計算手法を示す。まず第1の時間蒸発フラックス E_{vh1} は、時間平均風速 $\overline{V_{wh}}$ を式(2)に代入し α_v を求めた後、式(1)を用いて計算される。すなわち、

$$E_{vh1} = E_{vh}(\overline{V_{wh}}) = 3600(a\overline{V_{wh}}^{0.7} + b)D_{atm}(\rho_{vsurf} - \rho_{vair}) \quad (3)$$

第2の時間蒸発フラックス E_{vh2} は、次式により計算される。

$$E_{vh2} = 3600 \sum_{i=1}^n E_{vi}(\overline{V_{wi}}) \Delta t_c \quad (4)$$

ここに、 E_v は一定期間 Δt_c （hr）における平均風速 $\overline{V_w}$ を式(2)に代入し α_v を求めた後、式(1)を用いて計算される。 n は1時間当りの風速切り替え回数であり、 $n\Delta t_c=1$ （hr）が成り立つ。

図-4は、時間蒸発フラックスの実測値 E_{vhobs} と計算値 E_{vh1} および E_{vh2} を比較したものである。計算誤差は、 E_{vh1} で1.5~11.5%（平均6%）であるのに対し、 E_{vh2} では0~4.5%（平均2%）となり、式(3)よりも式(4)の方が計算精度は高いと判断できる。

5. おわりに

本研究では、任意の時間間隔で風速を変化させるような擬似非定常送風下における土壌表面の蒸発特性を調べるとともに、時間蒸発フラックスの精度良い計算手法を検討した。

その結果、時間蒸発フラックスは時間平均風速から求める方法よりも、一定期間 Δt_c （=0.25時間あるいは0.5時間）の平均風速を用いてその間の蒸発フラックスを求め、それらを1時間に亘り加え合わせる方法が精度良いことがわかった。

参考文献

1)何超・門野浩二・福原輝幸・高野保英：アラブ首長国連邦における散水-蒸発に伴う塩溶脱および再集積実験，土木学会年次学術講演会，59，pp.31-32，2004。

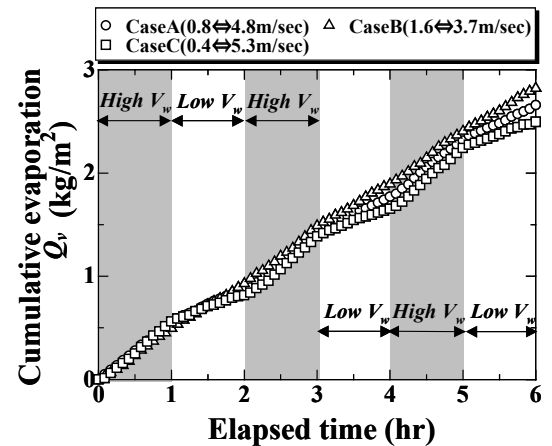


図-2 積算蒸発量の経時変化

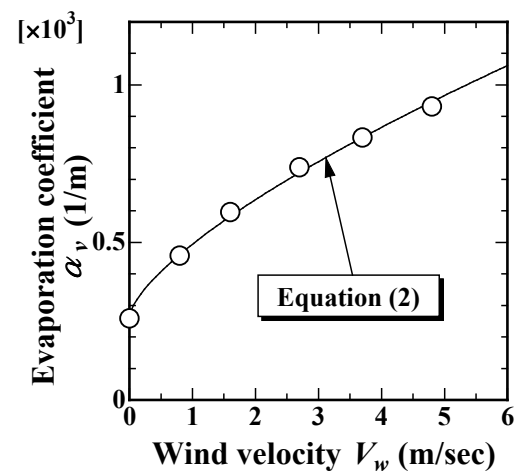


図-3 蒸発係数と風速の関係

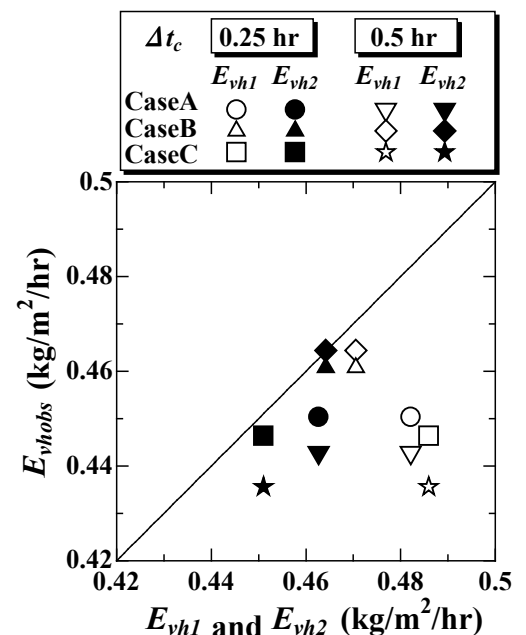


図-4 時間蒸発フラックスの実測値と計算値の比較