

大阪市 正会員 ○梶谷 昌世
 京都大学大学院 正会員 谷本 親伯
 京都大学大学院 正会員 岸田 潔
 京都大学大学院 学生員 中島 伸一郎

1.はじめに

スフィングスの風化・劣化の要因として、水分移動によるスレーキングが挙げられている¹⁾。そこで、筆者らは水分移動を間接的に把握するために、異なる2点で絶対湿度および風速の計測を行い、地表面からの水分蒸発量を測定した。本研究では、層流および乱流状態に影響をおよぼす風速を変化させる室内試験を行い、その計測法および蒸発量算出の精度について検証を行う。

2.蒸発量測定原理

水分の蒸発は、大気の高さ方向の絶対湿度の差によって起きる。この絶対湿度の鉛直分布は図1に示すように、直線分布、遷移区間、対数分布からなる²⁾。

地表面から極近傍では風速の影響は小さく、図1の下部に見られるように、絶対湿度分布は直線分布となる。この領域は層流層であり、水分移動は主に分子拡散によって行われ、蒸発量 E は次式によって算出できる。

$$E = -D_m \frac{dQ}{dz} \quad (1)$$

E : 蒸発量 ($\text{g/m}^2/\text{s}$)

Q : 絶対湿度 (g/m^3)

D_m : 分子水蒸気拡散係数 (m^2/s)

z : 地表面からの高さ (m)

一方、地表面からある程度離れると風速の影響を受け、水分移動は乱流拡散によるところが大きくなる。この領域が乱流層であり、絶対湿度分布は図1の上部に見られるような対数分布となり、蒸発量 E は次式に表されるバルク法によって算出できる。

$$E = \frac{\kappa^2}{\left(\ln \frac{Z}{Z_0}\right)^2} (Q_2 - Q_1) U_z \quad (2)$$

E : 蒸発量 ($\text{g/m}^2/\text{s}$)

κ : カルマン定数 (≈ 0.4)

Q_1 : 地表面での絶対湿度 (g/m^3)

Z : 地表面からの高さ (m)

Z_0 : 地表面粗度 (m)

U_z : 地表面からの高さ Z での風速 (m/s)

Q_2 : 地表面からの高さ Z での絶対湿度 (g/m^3)

3.実験装置

実験には図2に示すような装置を用いた。試料は豊浦標準砂で含水比22%のものをを用い、風速はファンを用いて与えた。絶対湿度の測定には温湿度センサを、風速の測定には風速センサを用いた。また、センサを設置した容器の下には電子天秤を設置し、容器の減少量を測定した。

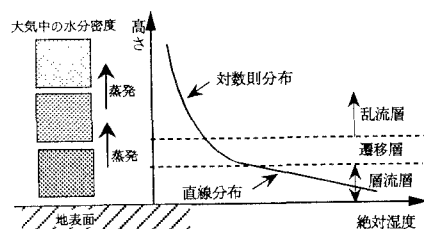


図1 絶対湿度の鉛直分布の模式図

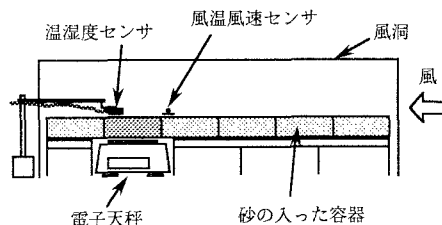


図2 実験装置概略図

4. 絶対湿度鉛直分布測定実験

蒸発量算出式の決定に必要な、絶対湿度の鉛直分布の把握を目的として実験を行った。実験中は一定の風速を与え、地表面からの各高さにおける絶対湿度を測定した。

実験結果の一例を図3.abに示す。これより、絶対湿度の鉛直分布が直線となる領域と対数分布になる領域とに分布することが確認できる。

様々な風速を与えて得た結果をまとめて図4に示す。ただし、風速は地表面から高さ10mmの所で測定した。これより、層流・乱流の境界が上下している所もあるが、地表面からの高さ4～7mm程度の所で、絶対湿度分布の層流層と乱流層の境界が形成されているのがわかる。また、風速が大きくなるにつれ、境界高さが低くなるのが見て取れる。

5. 蒸発量測定実験

現地での蒸発量の測定は、温湿度センサを用いて地表面と地表面からの高さ12mmの点での、温度と絶対湿度を計測し、風速センサを用いて地表面から高さ10mmでの風速を計測することにより行われた。よって、本研究では、現地での測定と同様に温湿度センサ、風速センサを設置して蒸発量測定実験を行った。

電子天秤から計測された測定中の容器の減少量が、実際に蒸発した水分量で、これから蒸発量を求め実蒸発量 E_0 とした。一方、前述の実験結果より、地表面からの高さ12mmの上部測定点が乱流層内にあることがわかったので、蒸発量の算出には、乱流層内での算出方法であるバルク法を用い、これから得られた蒸発量を E_B とした。測定精度を定量的に求めるため、次式で表すように測定誤差 C を定義した。なお、これは C の値が0に近いほど測定精度が良いことを表す。

$$C = \frac{E - E_0}{E_0} \quad (3) \quad C: \text{測定誤差} \quad E: \text{算出蒸発量 (g/m}^2\text{/s)} \quad E_0: \text{実蒸発量 (g/m}^2\text{/s)}$$

実験の結果得られた風速と測定誤差の関係を図5に示す。これより、測定誤差は $-0.8 \sim 0.2$ 程度となることが見て取れる。測定誤差にばらつきがあるのは、1) バルク法は高さを対数にとるので、地表面からの高さをわずかに12mmにとった場合、高さの誤差による影響が大きい。2) 測定点が高さ12mmなので層流層や遷移層の近くとなり、測定点の高さが1～数メートルであるならば無視することができたこれら層流層や遷移層の影響が無視できなくなった。などが挙げられる。

6. 結論

以上より、本研究で用いた計測法では、2測定点の内、上部測定点が乱流層内にあるため、蒸発量の算出は、バルク法を用いるのが適切である。この場合、測定誤差は $-0.8 \sim 0.2$ 程度となる。

参考文献

- 1) 谷本親伯：古代エジプト遺跡の劣化と風化。材料。第39巻 第446号。談話室。1990
- 2) 竹内清秀・近藤純正：大気科学講座1 地表に近い大気。東京大学出版会。pp.97. 1991

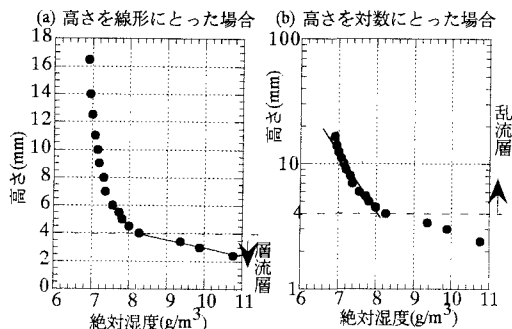


図3 平均風速1.0m/sの時の絶対湿度の鉛直分布

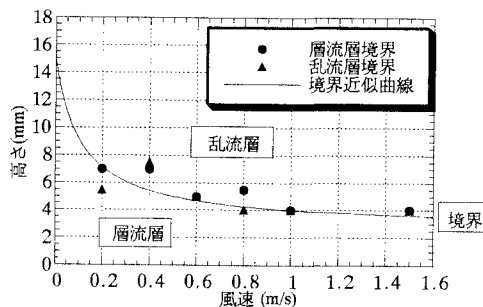


図4 風速と層流・乱流層境界の関係

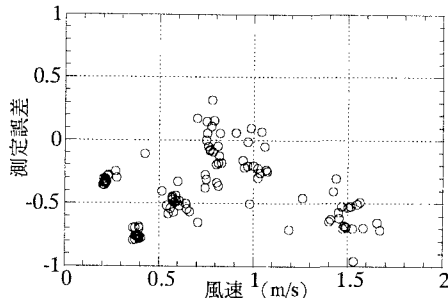


図5 風速と蒸発量 E_B の測定誤差の関係