

地表面近傍の乾燥層厚さと蒸発抑制効果に関する風洞実験

日本学術振興会 正会員 ○早野 美智子
 防災科学技術研究所 フェロー 岸井 徳雄
 防災科学技術研究所 正会員 葛葉 泰久

1. 目的

蒸発面が地表面下にあり、表層付近に乾燥層が形成されると全体の蒸発速度はそれにより抑制される。この抑制量を評価するためには乾燥層の層厚のほか、水蒸気輸送経路長に関わる屈曲度を知る必要がある。しかし直接屈曲度を測る有効な手段はない。さらに土壌間隙は粒径の異なる粒子によって形成されていること、マクロポアが不均質に発達していること等から、より複雑である。本研究では砂層からの蒸発を想定し、粒子形状が球形で、粒径もほぼ等しいガラスビーズを用いて平均的な間隙をつくり、層厚さの変化によって蒸発量が水面蒸発に対してどの程度抑制されるのかを検討した。通常蒸発面が土中にある場合、蒸発面から地表面までの水蒸気は分子拡散によって輸送されることを想定しなければならないが、表面を覆う粒子径がレキなど粒径が大きい材質である場合、または表面を流れる風速が大きい場合には風の影響を受け、土中であっても乱流拡散の影響を考慮しなければならない場合がある。例えば石原ら(1989)は、乾燥層中の水蒸気輸送の乱流拡散的輸送成分を含めた蒸発強度は気流の乱れや蒸発面の深さなどの関数として近似できるとしている。本研究ではそれに加えて屈曲度に関係する間隙空間のサイズや形状に注目した。そして乱流拡散的輸送を考慮する範囲を間隙空間を構成する粒子の直径、乾燥層厚さ、風速について検討した。

2. 実験方法

風洞を使った蒸発実験は防災科学技術研究所地表面乱流実験施設にて行った。平均粒径がそれぞれ 30mm、12.5mm、5mm、2mm のガラスビーズを表面積 1m×1m、深さ 0.06m の浅い容器に充填し、容器下面からマリOTTタンクによって給水を行い実験中の容器内水位を一定に保つようにした。乾燥層を構成する粒子は常に風乾状態を保持できるようにするため、地下水位の制御は吸水過程について行い、表面に近い乾燥層内は温度 25℃、相対湿度 50%となるようにした。風速は容器風上側端から 0.8m 地表面上 0.02m 位置に 1 次元熱線風速計(Model 6141, Kanomax)を設置した。その位置での測定値の変化の範囲は制御気流風速が等しくとも粒径によって異なるが、平均して約 1.4m/s から 5.8m/s とした。地下水面の位置は毛管上昇高を考慮し、容器側面から時間をかけて観察し、目的の水位となるようにした。短波放射装置（島津製作所製）を用い、ガラスビーズ表面に対して常に平均して 60W/m²（地表面より 0.1m 位置で測定）の正味放射を加えた。実験容器およびマリOTTタンクの重量は直接測定し、実蒸発量を計算した。

3. 結果

図 1 に地下水位と蒸発速度の関係を示す。ここでは粒径 30mm と 2.5mm の場合のみ示している。地下水位は地表面からの距離として表しており、地下水位が 0 のときほぼ水面蒸発の状態にあることを意味する。図より地下水面が低くなるほど、すなわち乾燥層厚さが厚くなるほど風速の違いによる蒸発量の差が小さくなった。特に粒径が最も大きい 30mm ガラスビーズの場合には風速による蒸発速度の違いも最も大きくなり、地下水位が 0.05m と深い位置にある場合でも風速の影響が現れた。これに対して粒径 2.5mm ガラスビーズの場合、地下水位が 0.01m と浅い位置にあるにも関わらず蒸発速度に風速の違いによる変化がほとんど現れなかった。風洞内気流の気温および相対湿度は常にほぼ一定であるため、風速の影響が蒸発面に及ばない場合、蒸発速度(E_v)はほぼ一定となる。この様子を水面蒸発(E_{water})に対する抑制率($= 1 - E_v/E_{water}$)と乾燥層厚さの関係についてまとめ比較した。地下水位 0 の状態にあるみなした状況下では、かならずしも粒子全ては水没しておらず水表面上には多少凹凸が形成されたが、風速と E_{water} の関係に粒径依存性はほとんどみられなかった(図 2)。

キーワード 蒸発、風洞実験、乱流拡散、分子拡散、粒子径

連絡先 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 独立行政法人防災科学技術研究所 TEL 029-851-6451

4．乱流拡散が分子拡散よりも卓越する範囲に関する粒径と層厚さの関係について

平均風速が 5.8m/s のときの地下水位と蒸発抑制率の関係を図3に示す．粒径 2.5mm の場合、地下水位が 0.005m 位置にあっても水面に対して蒸発速度は 60%近くも抑制された．その後 0.02m で 80%となり、それ以降では風速変化があっても非常に緩やかな減少傾向を示した．粒径 5mm ガラスビーズの場合でも地下水位が 0.02m 時に抑制率が 80%となった以降では風速が増しても抑制率の上昇勾配は緩やかだった．実験中、風洞内気流の温度および相対湿度は常に 25、50%で一定とした．もし固定された蒸発面に対して風による乱流輸送の影響がない場合、分子拡散による蒸発が優性的に起こっているとすれば、風速が変化しても地表面上を流れる気流の気温・相対湿度はほぼ一定なので乾燥層内の水蒸気濃度勾配は変化せず、蒸発速度もまた風速によらずほぼ一定となる．これを踏まえて図3をみると、1)粒径 30mm ガラスビーズ層の場合のみ地下水位が等しくとも蒸発抑制率に大きな違いがみられること、2)層厚は厚くなるほど蒸発抑制率に差がなくなっていること（12.5mm、5mm、2.5mm）が読みとれる．乾燥層厚さは厚くなるほど風の影響が蒸発面に届きにくくなること、乾燥層を構成する粒子径は大きくなるほど風が乾燥層内に潜り込みやすくなることから、1)乾燥層厚さは厚くなるほど蒸発速度は風速に依存しなくなる．その臨界となる乾燥層厚さは粒径が細かくなるほど薄くなる、2)粒径が 30mm の場合、乾燥層内を流れる風速が変化することの影響は大きくなる、という結果が示された．

引用文献 石原安雄・下島栄一・原田大（1989）：京都大学防災研年報 32、B-2

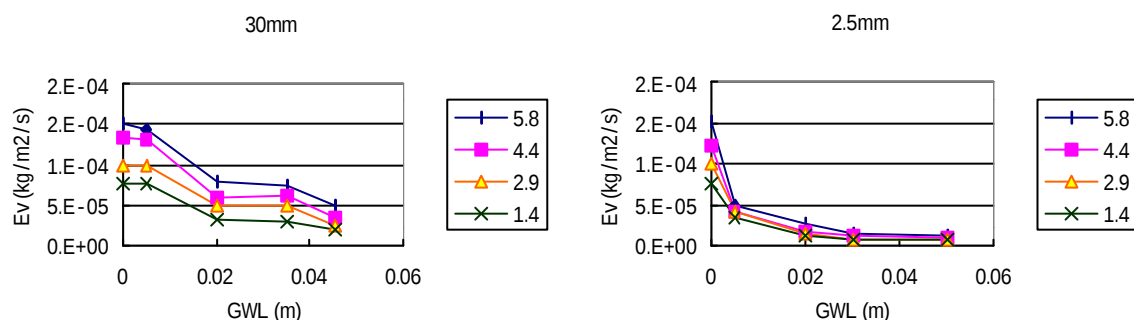


図1 地下水位(GWL)と蒸発速度の関係（右図：粒径 30mm の場合、左図：粒径 2.5mm の場合）凡例内数値はそれぞれ風速(m/s)を示す．

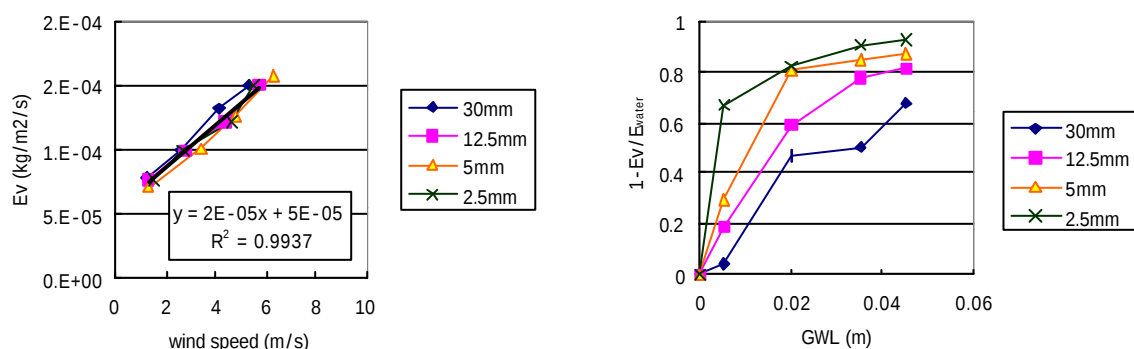


図2 風速と水面蒸発速度の関係
凡例内数値は充填ガラスビーズの粒径(mm)

図3 平均風速が 5.8m/s 時の地下水位 (GWL)と蒸発抑制率 ($1 - E_v/E_{water}$)