

円筒カラム土壌中の熱移動解析に関する一考察

株式会社エコ・プランナー 正会員 ○草間 政寛  
 福井大学大学院 正会員 寺崎 寛章  
 福井大学大学院 正会員 福原 輝幸

1. はじめに

近年、情報処理技術の向上によって様々な数値解析モデルが開発されており、土木分野では構造計算や交通流、水理関係などで活用されている。特に水理関係では、河川堤防やダム の設計などに利用されるほか、最近では土中の溶質移動予測モデル<sup>1)</sup>などが研究されている。

土中の溶質移動予測モデルでは熱移動の解析との連成が最も重要である。溶質は主に蒸発に伴う上向き水分移動によって上方へ移動し、浸透に伴い下方へ移動する。その際、水分フラックスを規定するマトリックスポテンシャルや蒸発量は温度に依存する。そのため、熱移動を正確に予測することが溶質移動の計算精度向上には不可欠である。

また、土中の溶質移動予測モデルの評価には、円筒カラムを用いた熱・水分・溶質移動実験および鉛直一次元の数値解析が多い<sup>2)</sup>。しかしながら熱移動においてはカラムの鉛直方向のみならず、半径方向にも温度勾配が生じるため、鉛直一次元の熱伝導解析の適用に対して疑問が残る。

そこで本研究では、乾燥土壌の熱移動実験を実施するとともに、鉛直一次元および円筒鉛直二次元の熱移動モデルの解析結果と実験結果の比較に基づき、二次元熱移動解析の必要性について検討したので、その結果をこ

に報告する。

2. 実験概要

実験は恒温恒湿実験室(温度:25℃, 湿度:50%)内で行われた。図1は熱移動実験の概要を示す。下端を断熱したカラム(内径:78, 高さ:140mm)に土壌(チャオソイル<sup>3)</sup>)を乾燥密度 1550kg/m<sup>3</sup>で充填する。土壌温度を測る熱電対は地表から深さ 5, 10, 20, 30, 50, 70, 100 および 140mm のカラム中央に設置した。室温を測る熱電対は地表から上方 10mm の位置およびカラム中央高さの側面から 10mm 離れた位置にそれぞれ取り付けた。また、地表から上方 300mm にヒートランプ(250W)を設置した。実験は以下の手順で行った。

- (1) カラムに土壌を充填し、恒温恒湿実験室内で土壌温度が室温(25℃)になるまで待機する。
- (2) その後、ヒートランプ照射開始とともに、土壌温度および室温の測定を開始する。
- (3) 土壌温度が平衡状態に達した後、実験を終了する。

3. 熱移動理論

図2は解析領域および熱移動の概要を、表1は外部条件および土壌の熱物性をそれぞれ示す。解析は有限差分法を用いた。熱伝導計算は(a)鉛直一次元(半径方向は

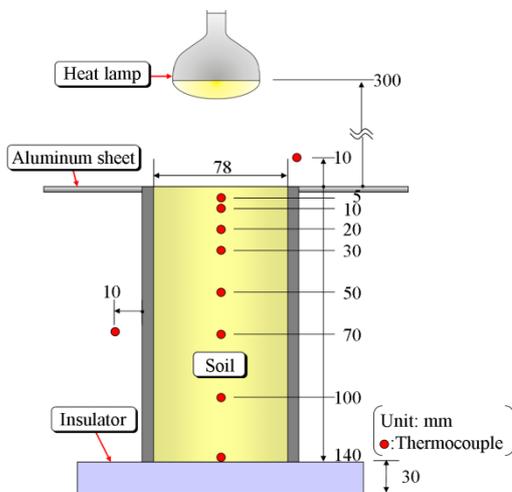


図1 熱移動実験概要

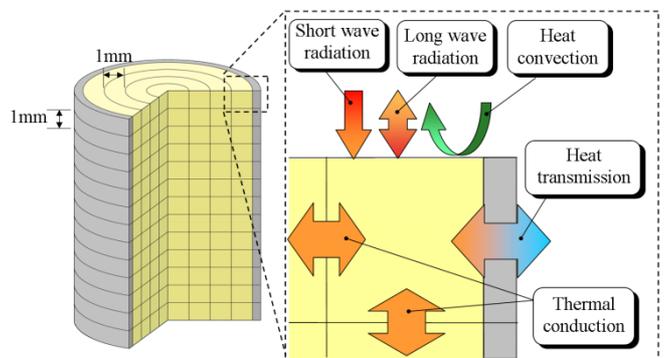


図2 解析領域および熱移動項目概要

キーワード :数値解析, 熱移動, 鉛直一次元解析, 円筒二次元解析, 不飽和土壌  
 連絡先 : 〒918-8026 福井県福井市湊 2-1811 Y2 ビル 3F TEL 0776-33-2166

考慮せず、鉛直方向のみ1mm間隔で解析した場合)と(b)円筒鉛直二次元(半径方向および鉛直方向に1mm間隔で解析した場合)の2通りとした。

地表-空気間の熱移動では短波放射(日射),長波放射および熱伝達を考慮した。また,土壌-カラム-空気間の熱移動フラックスは熱貫流により表現した。

4. 実験および解析結果

図3は土壌温度の鉛直分布を経過時間毎に示す。なお,図中のプロットは実験値を,実線は解析(a)の値を,破線は解析(b)の値をそれぞれ意味する。

ヒートランプ照射によって,土壌温度は地表に近いほど高く,下方ほど低くなる。また,解析(a)と(b)の温度を比較すると,70mm以深において,両者に差は殆ど無いが,地表に近いほど(b)の方が高くなり,最大で約4°Cの差が生じた。これは(b)では半径方向で最も温度の高いカラム中央の値を抽出したのに対して,(a)は半径方向に変化する温度の平均値に近いいため,相対的に温度が低くなったと推察される。

図4は種々の深さにおける土壌温度の経時変化を示す。実験開始直後から温度は上昇し始め,全ての深さで約3時間後には熱平衡状態に到達した。この時間は実験,解析(a)および解析(b)でほぼ同じであり,本解析は実験の傾向を良好に再現できた。これより,本実験における熱平衡状態到達時間に及ぼす鉛直一次元および円筒鉛直二次元の解析による影響は殆ど無いことが分かった。

5. おわりに

本研究では,円筒カラム内土壌の熱移動解析において,半径方向の熱移動を考慮する必要性について実験および解析に基づいて検討した。その結果,以下の知見が得られた。

- (1) 土壌中央の温度は,半径方向の熱移動を考慮した円筒鉛直二次元解析の方が鉛直一次元解析に比して高く,その差は最大約4°Cであった。
- (2) 熱平衡状態到達時間には,半径方向の熱移動を考慮した場合としない場合で差は殆ど生じない。
- (3) 本研究の範囲内では,円筒鉛直二次元解析の方が実験値を良好に再現できた。

参考文献

1) 天野貴久, 藤巻晴行: 点滴灌漑における湿潤域での集積塩の数値予測, 農業農村工学会全国大会講演要旨集, pp. 506-507, 2008.  
 2) Gran M., Carrera J., Massana J., Saaltink W. M., Olivella S.,

表1 外部条件および土壌の物性

室温	°C	25
平均到達短波日射量	W/m <sup>2</sup>	1000
地表の日射反射率	-	0.31
熱伝達係数	W/m <sup>2</sup> /K	6.0
熱伝導率	W/m/K	0.3
熱貫流率	W/m <sup>2</sup> /K	9.0

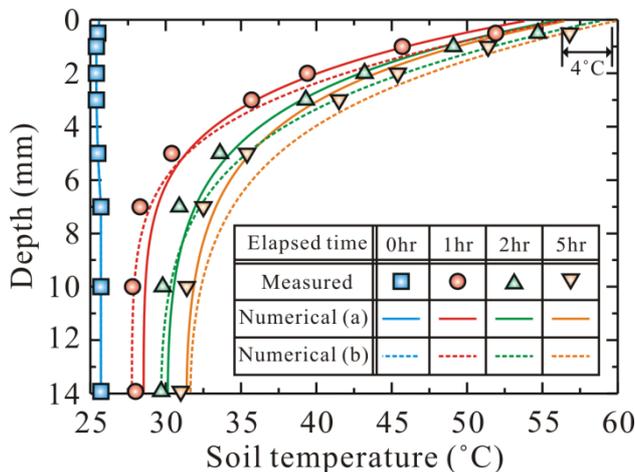


図3 土壌温度の鉛直分布

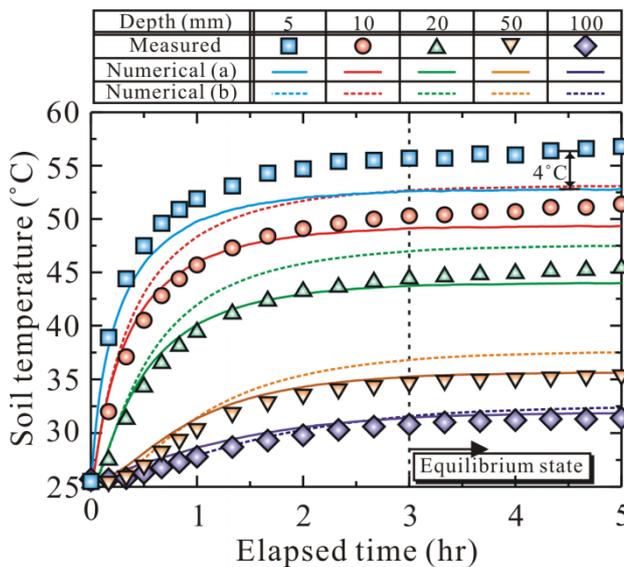


図4 土壌温度の経時変化

Ayora C. and Lloret A.: Dynamics of water vapor flux and water separation processes during evaporation from a salty dry soil, *Journal of Hydrology*, Vol. 396, pp. 215-220, 2011.

3) 草間政寛, 寺崎寛章, 福原輝幸: 体積含水率および析出塩量を考慮したアルベド予測モデル, 水工学論文集, Vol. 56, pp. 1771-1776, 2012.

謝辞

本研究では, JSPS 科研費(23860024)の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。