

蒸発量の分布を考慮した灌漑水路周辺の水分移動解析

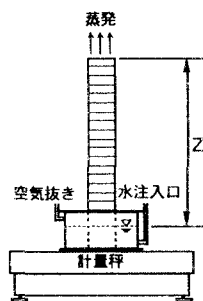
九州産業大学工学部 正会員 岩満 公正 九州産業大学工学部 正会員 細川 土佐男
九州大学工学部 正会員 神野 健二 九州大学工学部 学生員 河野 隆大

1. はじめに

地表面からの蒸発にともなう不飽和帯の水分移動のシミュレーションは、地表面の境界条件に一定の蒸発量を与えて行われることが多い。しかし、灌漑水路から周辺帯水層に侵入した塩類が蒸発によって地表面に向かって上昇し表面に蓄積される塩類の集積のメカニズムを数値計算によって再現するには、地表面の水分量によって変化する蒸発量の分布を考慮した水分移動解析を行う必要がある。本報では、まず円筒カラムにより水分量と蒸発量の関係を求め、次いで得られた結果により蒸発量の分布を与えた断面2次元の飽和・不飽和浸透流計算を行い、その結果を室内実験により検討を加えた。

2. 円筒カラムによる蒸発量の測定

実験装置の概略を図-1に示している。内径5 cm、高さ2 cmの塩ビ管を積み重ね、粘着テープで連結したカラムを作成し、その中に福岡県二日市の農場から採集した土(比重2.40)を天日乾燥させた後、2.0 mmメッシュのふるいを通過したものを充填し浸透層を作成した。これを水面を一定に保った内径20 cm、高さ10 cmのアクリル管の中に立て、水面から蒸発が起らないようにアクリル管を密閉した。浸透層は、水面からの高さが5, 20, 40, 50, 60, 70 cmの6種類である。このようにセット後、毛管上昇や蒸発による水分の上昇が安定した3ヶ月後から、9時、16時の1日2回計量秤により重量測定し、蒸発量を求めた。図-1 装置の概略



地表面の蒸発量に対する水分量は、座標軸を鉛直下向きにとった場合の鉛直1次元の不飽和浸透流の基礎式

$$C_w \partial h / \partial t = \partial \{ k (\partial h / \partial z - 1) \} / \partial y \quad (1)$$

を陰形式の差分法による数値計算により求めた。ここに、 C_w : 比水分容量、 h : 圧力水頭、 k : 不飽和透水係数である。計算に必要な不飽和特性は、土柱法により求めた $h \sim \theta$ の関係に Van Genuchten の式を適用して得られた次式を用いている。

$$S_e = [1 / \{1 + (\alpha |h|)^n\}]^m$$

$$k_r = S_e^{1/2} \{1 - (1 - S_e^{1/m})^m\}^2 \quad (2)$$

ここに、 $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ 、 $\alpha = 0.08158$ 、 $m = 0.5412$ 、 $n = 2.1796$ である。

図-2に高さ5 cmの蒸発強度で無次元化した蒸発強度と体積含水率 θ の関係を示している。含水率増加と共に蒸発強度も大きくなり、蒸発強度が水面と同じである飽和体積含水率 $\theta_s = 0.478$ に近づくときと急に大きくなっている。このことからもし水面からの蒸発強度と土壌表面からのそれは異なる。

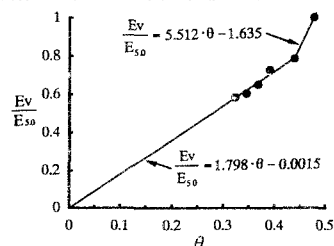


図-2 蒸発強度と体積含水率の関係

3. 2次元飽和・不飽和浸透流の数値計算

数値計算の対象とする灌漑水路周辺の飽和・不飽和の領域を図-3に示している。この領域における浸透流の基礎式は、次式で記述される。

$$(C_w + \alpha S_s) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} - k \right) \quad (3)$$

計算は、図-2の蒸発量を用い平均値と分布を与えた場合の2ケースについて行った。計算方法は、陰形式の差分法を採用し、格子間隔は $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$ 、 $\Delta y = 0.5 \text{ cm}$ である。

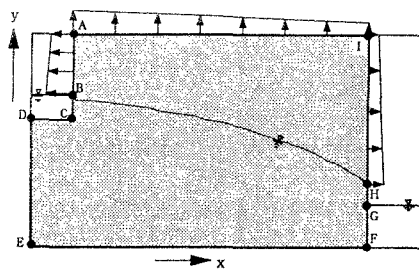


図-3 飽和・不飽和の領域図

4. 室内実験

実験装置の概略を図-4に示している。装置の上端から深さ20 cmの位置に河床がある灌漑水路を右側に配置し、水深を5cmに設定している。左側には排水水路を配置し、水深を10cmに保ち、地下水が灌漑水路から排水水路に向かって流れるようにしている。土壌は蒸発量の測定と同じものを用いている。浸透層はステンレスの金網で奥行き方向に5列に分割し、それぞれの列にステンレスで製作した多孔性のカラムを灌漑水路から排水水路に向かって5cmの位置から10cm間隔で7本、合計35本据え付けている。実験は流れを起こしてから6ヶ月経過した後に、3日間隔で1列づつカラムを抜き取り、各カラムをそれぞれ長さ2cmのセグメントに分け、セグメントごとの含水率を重量測定法で測定した。

5. 計算結果と実験結果の比較

図-5と6に体積含水率の平面分布における計算結果（183日経過後）と実験結果を示している。蒸発量の平均値を与えた場合と分布を考慮した場合の計算結果は、排水水路側上部の水分量が小さい部分で違いが認めらる。

計算結果と実験結果とでは実験が計算に比べて蒸発がより進行しているため上部の含水率が高くなっている。図-7には灌漑水路の右端から5cm, 45 cm, 75cmの位置における体積含水率の鉛直分布の計算結果（分布を考慮した場合）を実線で、実験結果を●印で示している。計算結果と実験結果が同じ分布を示し、地表面の含水率が大きいことが分かる。

本法では、地表面の水分量の大きさによって蒸発量が変化することから、蒸発量の分布を考慮した計算を行うべきであることが分かった。しかし、実験装置の高さに対して土壌の毛管上昇高さが高いため地表面の含水率が大きくなって、場による含水率の差が生じないことから、分布の効果があまり現れなかった。今後は、場所によって含水率の変化が認められる実験装置や土壌を用いて更に検討加える予定である。

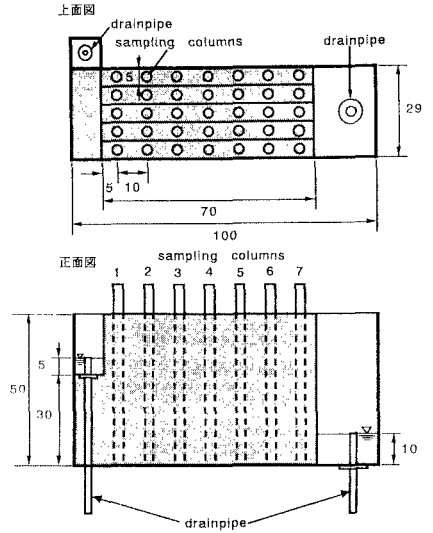


図-4 実験装置の概略

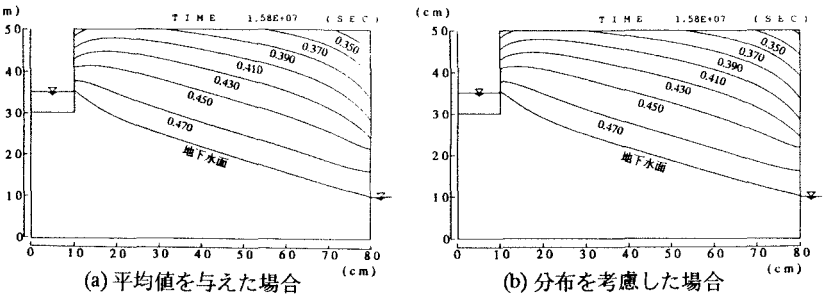


図-5 体積含水率の平面分布における計算結果

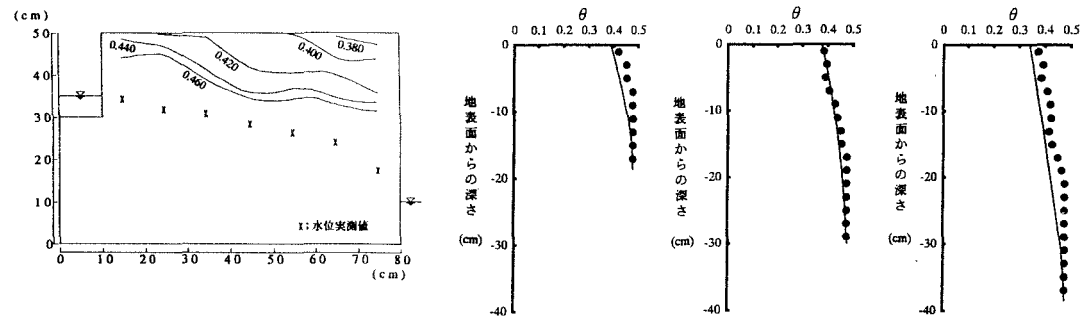


図-6 実験結果

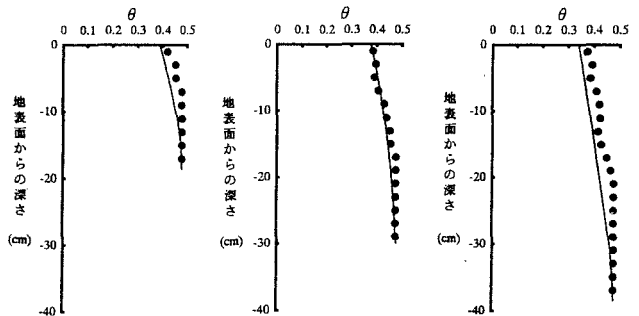


図-7 右端からの各位置における体積含水率の鉛直分布