

灌漑水路周辺における蒸発量を考慮した二次元不飽和浸透流解析

九州大学工学部 ○学生員 河野 隆大
 九州産業大学工学部 正 員 細川 土佐男
 九州大学工学部 正 員 神野 健二
 九州大学農学部 和田 信一郎
 九州大学工学部 学生員 R. T. R A J U

1. はじめに

乾燥地域、半乾燥地域で灌漑を施して農業に営む場合、灌漑水路周辺に水中の可溶性塩類が集積してしまうことがある。いわゆる塩類集積である。そこで我々は灌漑水路を想定して塩類集積の室内実験を行っている。NaClを投下した今回の場合、ナトリウムイオンが土粒子に吸着している他の陽イオン、主にカルシウムイオンと交換するソーダ質化が進行していた。各イオンとナトリウムイオンの間に異なる交換特性が存在する事も確かめられた。次段階は水分分布、各イオンの濃度分布の数値計算であるが、その際、境界条件が問題となる。そこで今回は、蒸発フラックスを与える境界面上に対して、一定蒸発量を与えた場合と場所によって蒸発量を変えた場合での水分分布結果を比較し、境界条件の検討を行ってみた。

2. 室内実験

2. 1 実験装置

実験装置の概略を図-1に示している。右端の灌漑水路部分は地表から20cmの所に河床を配置して、水路の水深は5cmに保っている。一方、左端の排水路部分の水深は地表から40cmに保ち、地下水が灌漑水路から排水路方向へ流れるようにした。実験に用いた土壌は、福岡県二日市の農場から採取したものを天日乾燥させた後、2.0mmメッシュのふるいを透過したものを使用している。土壌を充填する部分は5列に分け、実験開始からの日時を変えて含水量および塩分濃度を測定できるようにした。土壌充填部分には鉛直方向の水分分布および塩分濃度分布を測定するために、ステンレス製の円筒カラムを埋め込んだ。円筒カラムは側面に無数の穴をあけて、内側には土が流れ出さないように金網を張り付けた構造になっている。カラムは水槽の右端から5cm離して1本目を配置し、残りのカラムを10cm間隔に1列につき7本立て、合計35本を据え付けた。

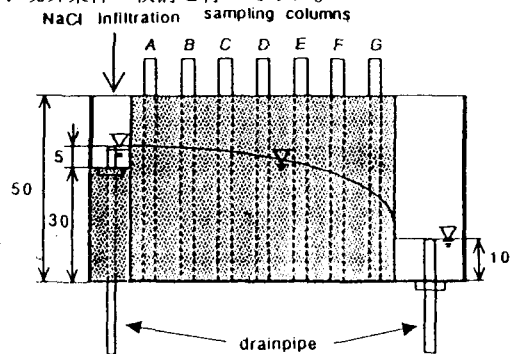


図-1 実験装置概略

地下水の流れを定常状態にするために7日間イオン交換水を流した。抽出日0, 1, 3, 6, 10, 15日目に対応する列の7本を引き抜き、50cm長の各カラムをそれぞれ長さ5cmのセグメントに分けた。1本につき計10個のセグメントごとの含水比および液相中の K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ の各イオン濃度及び土粒子に吸着している各イオン濃度を原子吸光法で測定した。

地下水の流れを定常状態にするために7日間イオン交換水を流した。抽出日0, 1, 3, 6, 10, 15日目に対応する列の7本を引き抜き、50cm長の各カラムをそれぞれ長さ5cmのセグメントに分けた。1本につき計10個のセグメントごとの含水比および液相中の K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ の各イオン濃度及び土粒子に吸着している各イオン濃度を原子吸光法で測定した。

2. 2 蒸発量の測定

また本実験に平行して、地表面から地下水面までの距離が5, 10, 20, 30, 40, 50cmの6通り用意し、それぞれの蒸発量を測定した。図-2は装置の概略図である。地下水面から地表面までの距離と実測蒸発量の関係を図-3に示す。

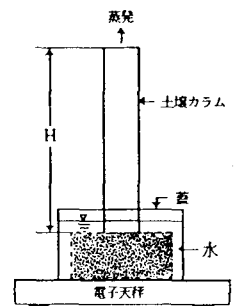


図-2 蒸発量測定装置

地下水面が深くなるにつれて蒸発量は減少し、40cmから急激に減少する分布になっている。不飽和特性試験から得られた試料の毛管上昇高は35cm程度であるが、この高さより地下水面が深い場合には、表面付近の水分率が低いために蒸発しにくいためと考えられる。蒸発量と水分分布間に相関があることから、実測蒸発量

と地表面付近の水分量の関係を求める作業を行った。実際に計算を行う場合には、地下水面までの垂直距離に対して関係式から求まる蒸発量を境界条件値として与えるのであるが、その地下水面までの距離の算定が困難である事と、蒸発量と地表面付近の水分量の関係の方が扱いやすい。そこで1次元の水分移動のプログラムを使用し、実測蒸発量を入力して水分分布を求め、地表面の水分分布と蒸発量の関係を求めた。(図-4)

3. 基礎方程式

2次元不飽和浸透領域における圧力水頭に関する基礎式は水平方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸をとると次式で示される。

$$(C_w + \alpha_0 S) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial y} + 1 \right) \right\}$$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\{1 + (\alpha |h|)^n\}^m}, \quad C_w = \frac{\alpha m n (\theta_s - \theta_r) (\alpha |h|)^{m n}}{\{1 + (\alpha |h|)^n\}^{m+1}}$$

$$k_r = \frac{k}{k_{sat}} = \frac{[1 - (\alpha |h|)^{n-1} \{1 + (\alpha |h|)^n\}^{-m}]^2}{\{1 + (\alpha |h|)^n\}^{m/2}}$$

ここに t : 時間、 h : 圧力水頭、 v_x, v_y : x, y 方向のDarcy流速である。 θ : 体積含水率、 C_w : 比水分容量 ($= d h / d \theta$)、 S : 比貯留係数、 α_0 : ダミー変数 (飽和領域1、不飽和0)、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率、 α, m, n : Van Genuchtenの不飽和パラメータ、 k : 不飽和透水係数、 k_{sat} : 飽和透水係数、 k_r : 相対透水係数比である。

4. 実測水分分布と数値計算による結果の比較、検討

図-5はNaCl溶液を投入してから15日目の実測水分分布を示している。抽出日1, 3, 6, 10, 15日目の実測水分分布は総じて安定的であった。NaCl溶液を投入する前に7日間真水を投下しており、既に定常状態になっていたと考える事が出来る。数値計算もこれを裏づける結果を示している。図-6は(1)一定蒸発量を与えた場合の水分分布、図-7は(2)場所によって蒸発量を変化させた場合の水分分布を示している。これら2つの水分分布間には見た目には大きな違いは見られなかった。しかし、蒸発量が相対的に大きい(2)の場合では、(1)の場合に比べて地表面付近では、水分量が増加していた。これは、相対的に大きな蒸発によって地表面付近に下部から供給されたためであり、水路の地表面周辺により広く塩類が集積することを示唆する。今回の場合、一定蒸発量は平均蒸発量 $5.2E-7$ (cm/s) を与え、場所によって変化させた場合はその値よりは大きいオーダーは同じ程度の値を与えたのだが、わずかな蒸発量の変化では水分分布、水頭、流速分布に大きな影響を与えないと言える。しかし、変化の大きな蒸発速度分布が得られた場合、水分分布の再現については、一定蒸発量の場合と比較すると当然、水分分布は異なるであろう。異なる蒸発量分布を得る事が出来るような実験装置の改良が必要である。

謝辞本研究を行うにあたり実験試料を提供して下さい九州大学農学部池田元輝先生、ならびに実験および分析に御尽力頂きました九州産業大学工学部学生梶前晋也君、横井健一君両氏に深く感謝の意を表します。

参考文献1) 河野隆大、細川土佐男、神野健二、和田信一郎、R. T. R A J U: 灌漑水路周辺における塩類集積機構の室内実験、土木学会第48回年次学術講演会概要集、246~247、1993年9月

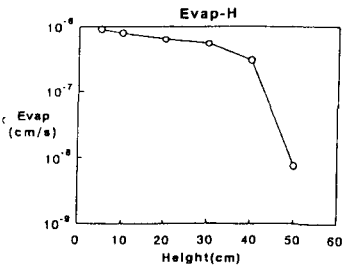


図-3 蒸発量とHの関係

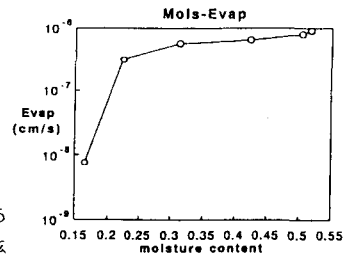


図-4 蒸発量と水分量の関係

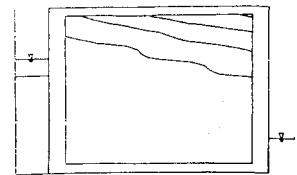


図-5 実測水分分布

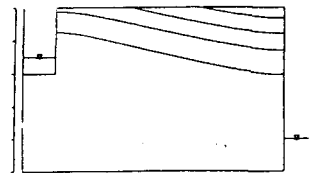


図-6 平均蒸発量の場合

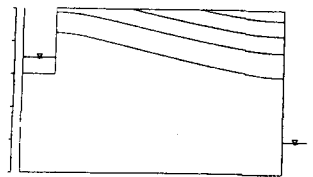


図-7 場所では変化した場合