

重粘性畑土壌における浸透水とCl<sup>-</sup>の動態

波 多 野 隆 介\*  
 佐 久 間 敏 雄\*  
 岡 島 秀 夫\*

Infiltration of water and chlorine  
 through clayey soil profile

Ryusuke HATANO, Toshio SAKUMA and Hideo OKAJIMA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

## 1. はじめに

重粘性畑土壌は粗大粒団とそれを取り囲む割れ目状の粗孔隙に土壌構造が特徴付けられており、その孔隙分布は著しく不均一である。そのために、浸潤時の水移動は粒団間粗孔隙を水みちとして、粒団を迂回するすばやい水移動が生じ安い。このような現象は粗孔隙のby-pass効果と呼ばれ、水収支を困難にする要因の一つと考えられている。著者らはこの問題に対して、土壌をいくつかの水移動を同じくすると考えられる領域の集合体とみる概念により解析を進めてきた<sup>1-3)</sup>。その結果by-pass効果には粗孔隙流から粒団内部への浸透も関与しており、根も堅密な粒団を回避して粗孔隙に優先している<sup>4)</sup>ことから、有効水分の少ない土壌における粗孔隙は、根への水分供給を円滑に行う場所としての特徴を持っていると考えられた。

栄養塩類の動態に対しても同様の考慮を要すると思われる。粗大な乾燥亀裂を含む重粘性土壌の不攪乱土壌カラムにおける流出実験の結果は、移動の場としての粗孔隙に対して、粒団は貯留場として働き、source-sink効果を示していた<sup>5)</sup>。

本実験は野外において、小型の浸透水採取板を土壌断面に設置し、水とCl<sup>-</sup>の流出状態を調査したものである。

## 2. 方 法

## a. 土層の配置および土壌の水分特性

江別グライ低地土の小麦畑圃場の収穫跡地において次

の実験を行った。

長さ25cm、直径4cmの塩化ビニールパイプの先端15cmを浸透水採取部位として樋状に細工した浸透採取板（浸透水採取部位面積は60cm<sup>2</sup>）を作成し、土壌に深さ1m、幅1mの断面をつくり、浸透水採取部位が完全に埋設されるように、深さ10、20、30、50cmに打ち込んだ。浸透水は採取板出口からビニールチューブによりサンプルビンに採取される。

浸透水採取板が埋設された地点の十分広い範囲（50×100cm<sup>2</sup>）に、まず300meq/lのKCl溶液を2cm灌水した。ここで与えられるCl<sup>-</sup>は0.6meq/cm<sup>2</sup>である。ついで夜間を除き1回1～2cmで、4日間・15回の灌水を行った。ここで与えられた総灌水量は21.4cmである。

各灌水後流出してくる浸透水について、流出時間、液量、Cl<sup>-</sup>濃度を測定した。なお最初に与えたKCl溶液灌水では、浸透水の流出はみられなかった。

## 3. 結 果

Fig. 1は浸透水採取部位における積算流出量(D)と積算Cl<sup>-</sup>流出量(CI)の関係である。総灌水量(21.4cm)、Cl<sup>-</sup>施与量(0.6meq/cm<sup>2</sup>)は図中破線で示した。水収支・塩収支から考えると、浸透水採取板から得られる総流出水量と総Cl<sup>-</sup>流出量はこの破線の範囲内に収まるはずである。しかし深さ20、30cmにおけるD-Clの関係はいずれも、1.5～2.5倍多くなっている。すなわちこれらの浸透水採取板には、垂直方向のみならず、その回りの水も水平方向に流入したことを示している。このことは同時

\*北海道大学農学部

に場所によっては浸透水の流出が抑制されることもありうることを示している。事実、Table 1 に示すように、深さ10cmでは $D=3.24\text{cm}$ （灌水量の15%）、 $Cl=0.168\text{meq/cm}^2$ （施与量の28%）であり、深さ30cmで行った反復では、 $D=10.12\text{cm}$ （灌水量の47%、図示した30cmの地点の31.5%）、 $Cl=0.341\text{meq/cm}^2$ （施与量の56.8%、図示した30cmの地点の38.5%）となっていた。

またD-Clの関係はほぼ直線近似できる（Table 1）。この直線の傾きは単位流出水量あたりの流出Cl量であり、流出期間中の平均濃度とみなすことができるが、これは上層から下層に向かって小さくなる傾向にある。すなわち上層より下層の浸透水のほうが濃度が低い。このことは下層が初めに保持していた土壤溶液が、浸透水の

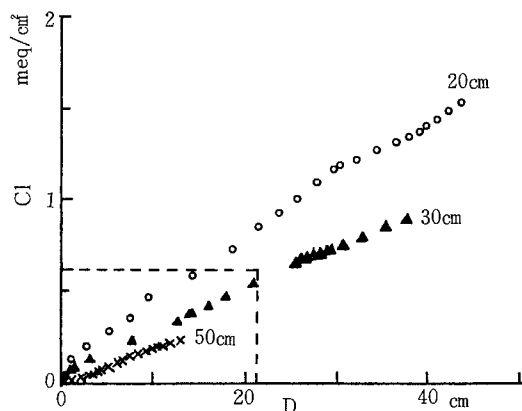


Fig. 1 Relationship between cumulative drainage (D) and cumulative leached Cl (Cl).

Table 1 Total drainage (TD), total leached Cl(TCl), and regression between cumulative drainage (D) and cumulative leached Cl(Cl).

Depth cm	TD cm/cm <sup>2</sup>	TCl meq/cm <sup>2</sup>	Regression equation	Correlation coefficient
10	3.24	0.168	$Cl=0.0484 \times D+0.0193$	0.984
20	43.49	1.537	$Cl=0.0331 \times D+0.1246$	0.997
30-1	37.60	0.885	$Cl=0.0231 \times D+0.0460$	0.999
30-2	10.12	0.341	$Cl=0.0316 \times D+0.0266$	0.999
50	12.98	0.232	$Cl=0.0201 \times D+0.0183$	0.996

一部と置換しながら流出してくるための希釈効果による。しかし深さ30cmの2地点で得られた関係は総流出量が多い地点1の方が少ない地点2より傾きが小さくなっていた。すなわち地点1ではCl濃度の低い水が多量に浸透し、地点2ではCl濃度の高い水が少量浸透したことになり、不均一な浸透状態にあったことがうかがわれる。

#### 4. 考 察

##### a. 浸透水Cl<sup>-</sup>の動態からみた浸潤の不均一性

Table 1 にみたように、浸透水の輸送経路をあきらかに偏ったものとなっている。すなわち、同一深さでもCl濃度の低い水が多量に浸透する場所と、Cl濃度の高い水が少量浸透する場所がみられた。

はじめに述べたように浸潤過程の不均一性にはbypass効果に関与するが、本実験においてもこのような水移動が生じていたと思われ、この水移動に伴う溶存イオンの移動には次のような過程が関与していたと考えられる。

1) 初期に与えられたCl<sup>-</sup>の多くは、上層粒団内の土壤溶液に拡散し保持される。

2) 続いて灌水の繰り返しによってCl<sup>-</sup>は下方輸送されるが、粗孔隙流が多く発生する部位では、粗孔隙流は上層粒団内に保持された高Cl濃度の土壤溶液とは混じり合いにくい。その結果、低濃度の浸透水が多量に移動する。このとき浸透水濃度を支配する要因は、粒団内毛管孔隙浸透と、粒団壁の水接触面を通しておこる粒団内土壤溶液の濃度勾配による拡散輸送、の2点であると考

えられる。

3) 粗孔隙流の下層への移動過程においては、水分不飽和な粒団内へは、接触面浸透によるCl<sup>-</sup>の移動が occurると共に、粒団内の土壌溶液濃度に応じて拡散輸送が生じる。

すなわち、ここで得られた浸透水の流出結果には、1) 粗孔隙流、2) 毛管浸透流、3) 粒団内間の溶液濃度勾配に由来する相互拡散、の3過程が関与していると思われる。

#### b. タンクモデルによる浸透水流の解析

以上述べてきた推察に基づいて、流出過程に関する要因の解析を試みた。ここでは深さ20cmから得られた結果について検討した。

Fig. 2に1回灌水の際に得られる浸透水を、灌水後の時間との関係で示した。このうちのいくつかは、片対数グラフ上で2つの直線に分解できる。Black et al.<sup>6)</sup>、波多野ら<sup>7)</sup>は、ライシメーターにおいて観察した排水速度の変化が、いくつかの指数曲線によってあてはめられることを指摘したが、水みちによる早い流れを含んでも基本的にこの関係が成り立つことを示している。また直線(1)で近似できなかったデータもすべて直線(1)と(2)に挟まれた領域に位置していた。

このように排水速度の時間内変化が指数近似できることは、水位の低下に伴って起こるある深さからの垂直排水速度の変化を考えたGardner<sup>8)</sup>による次式からある程度推察することができる。

$$Q/Q_{\infty} = 1 - (8/\pi^2) \exp[-D \cdot \pi^2 \cdot t / (4 \cdot L^2)] \quad [1]$$

ここでQはt時間の排出量 (cm), Q<sub>∞</sub>は無限大の時間が経過した後の総排出水量 (cm), Dは加重平均拡散係数 (cm<sup>2</sup>/sec), Lは土壌の深さ (cm) である。しかしこの式がDarcy則を基本としていることから、これをここで得られた結果に単純に適用できるかどうかには疑問がある。

ところで河川流出解析に用いられているタンクモデルは経験的に指数関数によって近似できる<sup>9)</sup>。そこでFig. 2の結果をもとにタンクモデルによる解析を試みた。

タンクモデルは基本的にはFig. 3のように示される。単位時間の雨量をX<sub>n</sub> (cm), 貯留量をH<sub>n</sub> (cm), 地中浸透量をZ<sub>n</sub> (cm), 河川への流出量をY<sub>n</sub> (cm) とすると、それぞれ以下のような関係が与えられる。

$$\begin{aligned} Y_n &= \alpha \cdot H_n \\ Z_n &= \beta \cdot H_n \\ H_n &= H_{n-1} + X_n \\ H_n &= H_{n-1} - Y_n - Z_n = (1 - (\alpha + \beta)) H_{n-1} \end{aligned} \quad [2]$$

ここで、α, β, は流出, 浸透に係わる速度係数である。

今、タンクに初期H<sub>0</sub>の貯留量があり、以後降雨が無

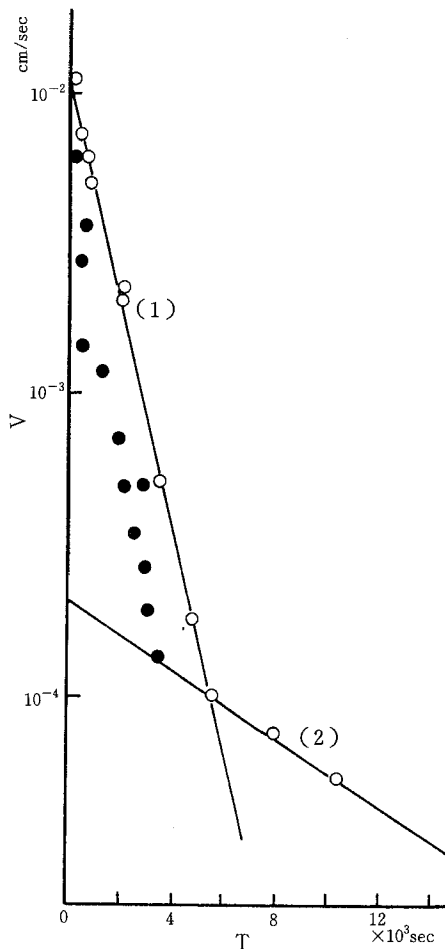


Fig. 2 Drainage rate ( $v$ ) as functions of time ( $T$ ) after application of water to soil surface. The lines (1) and (2) are calculated by the data shown as the open circles.

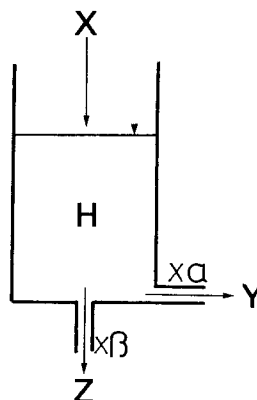


Fig. 3 Schematic illustration of tank model.

ければ、時間を  $T$  (sec) とおいて、

$$-dH/dT = Y + Z = (\alpha + \beta) \cdot H \quad [3]$$

が与えられ、これを  $T=0, H=H_0$  の条件で解くと、

$$H = H_0 \cdot \exp(-(\alpha + \beta) \cdot T) \quad [4]$$

となる。

以上の関係から流速を  $v = Y + Z$  (cm/sec)、流出速度係数を  $r = \alpha + \beta$  とおき、貯留量を  $H$  とすると [3], [4] 式より、

$$v = r \cdot H_0 \cdot \exp(-r \cdot T) \quad [5]$$

が得られる。また  $T$  時間後の流出量  $V$  (cm) は、

$$V = H_0 \cdot (1 - \exp(-r \cdot T)) \quad [6]$$

で与えられる。

以上の理論式を用いて、Fig. 2 の直線 (1), (2) の関係をタンクモデルにあてはめたものが Fig. 4 である。ここではこのタンクの形態に基づいて、以下の指数関数モデルを考えた。

まずタンクは  $H_1, H_2, H_3$  の 3 つを設けた。  $H_1, H_2$  タンクは Fig. 2 の関係から、より速い流出を想定したものであり、  $H_3$  タンクは後にも述べるように粒団の貯留効果を想定したものである。 Fig. 2 中の (1), (2) の直線の回帰式はそれぞれ、

$$v_1 = 0.0105 \exp(-8.58 \cdot 10^{-4} \cdot T) \quad [7]$$

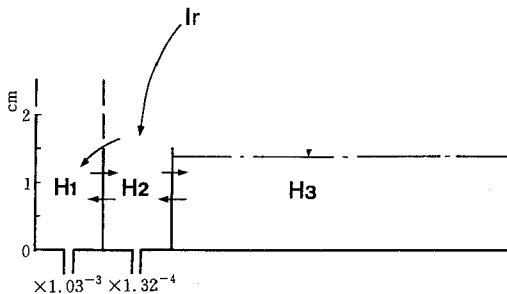
$$v_2 = 1.98 \cdot 10^{-4} \exp(-1.32 \cdot 10^{-4} \cdot T)$$

である。ここで  $v_1 > v_2$  の範囲において、  $v_1$  の流出は  $v_2$  の流出の上に  $v_1'$  の流出が上積みされたものであると考え、近似的にこれを片対数グラフ上で直線になるとすると、

$$v_1' = v_1 - v_2 = 0.0121 \exp(-1.03 \cdot 10^{-3} \cdot T) \quad [8]$$

が得られる。

$v_1'$  で与えられる流出を  $H_1$  タンクに  $V_2$  で与えられる流出を  $H_2$  タンクにあてはめ、その貯留量 ( $H_1, H_2$ ) と時



**Fig. 4** Developed parallel tank model. The  $H_1$  and  $H_2$  tanks indicate the mobile phase in soil, and the  $H_3$  tank the stagnant phase. Arrows indicate the interdiffusion between the mobile phase and the stagnant.

間の関係を [4] 式から求めると、

$$H_1 = 11.75 \exp(-1.03 \cdot 10^{-3} \cdot T) \quad [9]$$

$$H_2 = 1.5 \exp(-1.32 \cdot 10^{-4} \cdot T)$$

が得られる。すなわち  $H_1, H_2$  タンクの最高貯留量は、

$$H_{1_0} = 11.75 \text{ cm} \quad [10]$$

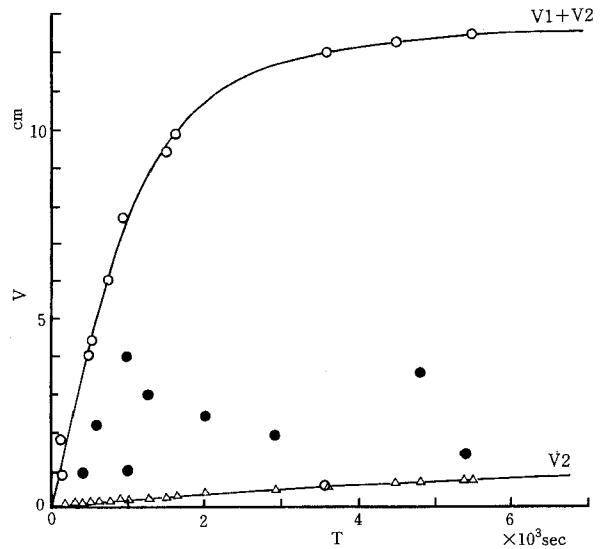
$$H_{2_0} = 1.5 \text{ cm}$$

となる。

ここで得られた貯留量はあくまでも Fig. 2 中の直線 (1), (2) に相当するものである。しかし図中で (1), (2) の間に位置しているいくつかの結果は、少なくとも直線 (2) の最高貯留量は越えているが、直線 (1) のもつ最高貯留量にみえない量が初期貯留量として与えられていたとみることが出来る。すなわち灌水直後の  $H_1$  タンクの貯留量は次のように示される。

$$T = T_0, \quad H_1_0 < H_1. \quad [11]$$

この関係はさらに計算過程において次のように補足される。すなわち灌水 ( $I_r$ : cm) はまず  $H_2$  タンクに流入すると仮定すると、  $H_2$  タンクの最高貯留量 ( $H_{2_0}$ ) を越えた場合、その超過分は  $H_1$  タンクに流入して、  $H_1$  タ



**Fig. 5** Cumulative drainage ( $V$ ) as functions of time after application of water to soil surface. The  $V_1$  and  $V_2$  are calculated by the  $H_1$  and  $H_2$  tanks shown in Fig. 4, respectively. Open circles indicate the data used for the calculation of lines (1) and (2) shown in Fig. 2. Open and closed circles indicate  $V_1 + V_2$ , and triangles  $V_2$ .

ンクの初期貯留量 (H1<sub>0</sub><sup>i</sup>) になる。さらにこれらの関係に流出量 V1, V2 の変化を加えたものが、次の時点での貯留量となる。以上から、

$$\begin{aligned} H2^i + I_r \leq 1.5, \quad H2^{i+1} &= H2^i + I_r - V2^i \\ H1^{i+1} &= H1^i - V1^i \end{aligned} \quad [12]$$

$$\begin{aligned} H2^i + I_r > 1.5, \quad H2^{i+1} &= 1.5 - V2^i \\ H1^{i+1} &= H1^i + H2^i + I_r - 1.5 - V1^i \end{aligned}$$

の関係が得られる。添字 i は時間の増分を表わす。

しかしこの関係のうち流出量 (V = V1 + V2) は Fig. 1 に示したように、灌水量よりも多くなっていった。したがって [12] 式中 I<sub>r</sub> には灌水量を入力しても意味がない。そこでここでは、浸透水量 V の実測値を用いて、まず V1, V2 の分画を試みた (Fig. 5)。灌水直後、H1 タンクから流出が多く、時間の経過と共に H2 タンクからの流出に移行して行く。その量比 (V1/V2) は灌水直後 2 分で 85 であり、25 分で 20 となる。図中には [6] 式から計算した V1, V2 の積算流出曲線も付記したが、両者の曲線に挟まれた領域に分布したものは、[11] 式に従って H1<sub>0</sub><sup>i</sup> として初期貯留量が与えられることになる。

以上から H1, H2 タンクの性格は以下のように要約される。

- 1) 両者とも土壌の重力排水を担う。
- 2) H2 タンク容量は固定されており、土壌の重力排水孔隙がその主体であると考えられる。
- 3) H2 タンクはみかけ上、灌水量以上の流出をおこし、by-pass 効果を示す。すなわち粒団間粗孔隙がその主体であると考えられる。

#### c. タンクモデルによる浸透水溶存 Cl<sup>-</sup> 流出の解析

次に Cl<sup>-</sup> の流出結果に基づいて、by-pass 効果発現時の溶存イオンの動態の特徴を述べる。

先にも述べたように、浸透水溶存 Cl<sup>-</sup> の動態には、1) 粗孔隙流、2) 毛管浸透流、3) 粒団内間の相互拡散の 3 過程が含まれていると推察された。したがって溶存 Cl<sup>-</sup> の動態は、Passioura<sup>10)</sup> が述べた sink 項を持つ拡散移流方程式で基本的には表わされることになると思われる。これは、

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\theta_A \cdot C_A)}{\partial t} + \frac{\partial(\theta_M \cdot C_M)}{\partial t} &= \\ \theta_M \cdot D_M \left( \frac{\partial^2 C_M}{\partial Z^2} \right) - \frac{\partial(v_M \cdot \theta_M \cdot C_M)}{\partial Z} \end{aligned} \quad [13]$$

$$\frac{\partial(\theta_A \cdot C_A)}{\partial t} = k(C_M - C_A) \quad [14]$$

であり、 $\theta$  は水分率 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)、C は土壌溶液濃度 (meq/cm<sup>3</sup>)、t は時間 (sec)、D はみかけの分散係数 (cm<sup>2</sup>/sec)、Z は深さ (cm)、v は孔隙流速 (cm/sec)、k は拡散移動速度 (sec<sup>-1</sup>)、添字 M, A は粒団間、粒団内を意味する。

[13] 式中右辺は浸透水可動部分の輸送を示している

が、本実験のように不飽和な条件で極端に大きな灌水を短時間に与えた場合には、浸透水が孔隙に保持されている溶液と交換するという水理学的分散過程が失われ、溶存イオンはマス・フロー状態で主に輸送されると思われる。また水理学的分散過程にあったとしても、流速が早い場合にはピストンフローに近づくことが Nielsen and Biggar<sup>11)</sup> によって指摘されており、[13] 式中右辺第 1 項は無視できる。したがって水と Cl<sup>-</sup> の移動の相違は、左辺第 1 項によるものであるとすることができる。

そこでこのことを検討するために、Fig. 4 に示したタンクモデルに以下のような Cl<sup>-</sup> の動態を仮定した。すなわち、H1・H2 タンクを粒団間粗孔隙、H3 タンクを粒団内細孔隙と考えて、両者の間に相互拡散 ([14]

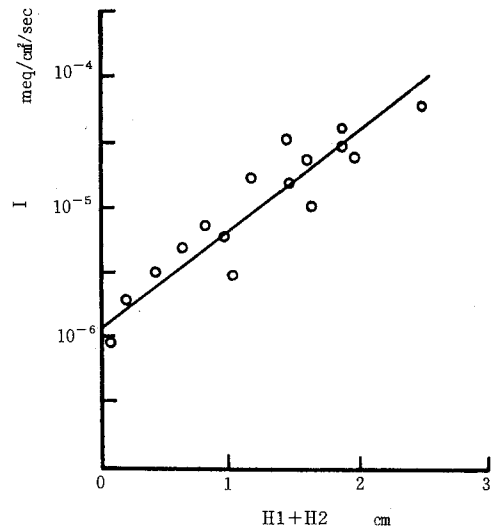


Fig. 6 The amounts of interdiffusion (I) between H<sub>1</sub> + H<sub>2</sub> tanks and H<sub>3</sub> tank as a function of volume in H<sub>1</sub> + H<sub>2</sub> tanks.

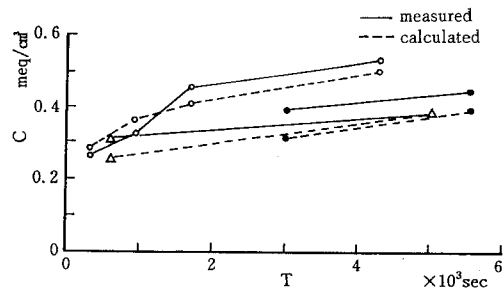


Fig. 7 Calculated concentration in drainage compared with that measured.

式) を考えるものである。

この仮定に基づいて、H3タンクからの拡散溶出量 ( $I$ : meq/cm<sup>2</sup>/sec) を次式から求めた。

$$I^i = \{ -(H1^i + H2^i) \cdot C^i + (V1^i + V2^i) \cdot C^i + (H1^{i+1} + H2^{i+1}) \cdot C^{i+1} \} / \Delta t \quad [15]$$

ただし、上式右辺の第1項はH1, H2タンク内の初期量, 第2項は流出量, 第3項は残存量である。

Fig. 6にIとH1, H2タンク内の水量の合計(H1+H2)との関係を示した。この関係は指数関数で比較的良く近似できる。

$$I = 1.065^{-6} \exp [1.779 \cdot (H1 + H2)] \quad r = 0.93 \quad [16]$$

すなわちH1・H2タンクとH3タンク間の相互拡散はH1, H3タンク内水量に依存しておこる。これは従来言われてきた、土壤中での拡散が土壌水分が多くなるほど多くなること<sup>12)</sup>、とよく似た現象であるといえる。またIのオーダーは $10^{-6} \sim 10^{-5}$  meq/cm<sup>2</sup>/secであり、Cl<sup>-</sup>の純水中での拡散係数が $1.34 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/sec (CaCl<sub>2</sub>化学便覧<sup>13)</sup>) であること、相互拡散の濃度勾配オーダーが $10^0 \sim 10^{-1}$ 程度 ( $\Delta C = 10^{-2}$  meq/cm<sup>3</sup>,  $\Delta Z = 0.1 \sim 1$  cm) であることからみて、粒団内間のイオンの輸送は、相互拡散であると考えてよいと思われる。

また流出液中Cl<sup>-</sup>濃度の変化は[16]式を用い、[15]式を変形した次式によって求められる。

$$C^{i+1} = \{ (H1^i + H2^i - V1^i - V2^i) \cdot C^i + I^i \cdot \Delta t \} / (H1^{i+1} + H2^{i+1}) \quad [17]$$

上式による計算値を実測値とあわせて灌水後時間との関係でFig. 7に示した。灌水直後の浸透水濃度は相対的に低く時間の経過と共に徐々に濃度が上昇してくる。このことは[17]式中I・ $\Delta t$ 項によってもたらされる効果であることが、計算値との比較から予想される。

また相互拡散の性格からみて、移動相としての粒団間粗孔隙水に対して、粒団内の水は貯留相として働くことは明らかである。このような効果が、土壌中のイオンの移動における粒団のsource-sink効果であると考えることができ、重粘性土壌における物質の移動に大きな影響を与えていることは明らかである。

## 5. 要 約

重粘性土壌における浸潤過程の水とCl<sup>-</sup>の挙動を、断面内に設置した小型浸透水採取板から得た流出速度および溶存Cl<sup>-</sup>濃度の変化から検討した。その結果、

1) 浸透水の流出結果は、低Cl<sup>-</sup>濃度の溶液がみかけ上灌水量以上に多量に浸透している部分と、高Cl<sup>-</sup>濃度の溶液が少量浸透する部分があることを示していた。

2) このことからby-pass効果が浸透過程に関与していたことが推定され、Cl<sup>-</sup>の輸送には以下の3過程が含まれていたと考えられた。

- a) 粗孔隙流出
- b) 毛管浸透流出
- c) 粒団内間の相互拡散

3) 粗孔隙流速の時間変化は2つの指数関数によって近似できることから、タンクモデルによる解析を試みた。その結果、容量が一定で重力排水孔隙の性格を近似したタンクと、粒団間粗孔隙の性格を近似したby-pass効果を担うとみられるタンクが考えられた。

4) さらに貯留相としての粒団内細孔隙を近似した第3のタンクを考え、前2者の浸透水移動相に相当するタンクとの間に相互拡散を仮定した結果、移動相タンク水量と相互拡散量には高い相関を示す指数関係が認められた。このことから粒団のsource-sink効果は主として粒団内間の相互拡散によって生じると考えられた。

## 引用文献

- 1) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫：メチレンブルートレーサー法による水みちの分布状態，土肥誌，54，490-498 (1983)
- 2) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫：シミュレーションモデルによる亀裂内水分流の解析・1) 理論，土肥誌，55，344-350 (1984)
- 3) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫：シミュレーションモデルによる亀裂内水分流の解析・2) 数値例，土肥誌，55，351-356 (1984)
- 4) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫：重粘性土壌における根群分布に対する粒団間粗孔隙の意義，土肥誌，58，209-216 (1987)
- 5) Hatano, R., T. Sakuma and H. Okajima: The source-sink effect of clayey soil peds on solute transport, Soil Sci. Plant Nutr., 31, 199-213(1985)
- 6) Black, T. A., W. R. Gardner and G. W. Thurtell: The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil, Soil, Sci, Soc. Amer. Proc., 33, 655-660(1969)
- 7) 波多野隆介・袴田共之・藤井国博：ライシメーター試験による水と溶存イオンの流出機構の解析—土壌間差と汚泥・化学肥料施与との比較—，国立公害研究所研

- 究報告, 94, 11-28 (1986)
- 8) Gardner, W. R. : Approximate solution of a non-steady state drainage problem, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26, 129-132(1962)
- 9) 菅原正巳 : 流出解析法, 水文学講座 7, p257, 共立出版, 東京 (1972)
- 10) Passioura, J. B. : Hydrodynamic dispersion in aggregated media, 1. Theory, Soil Sci., 111, 339-344(1971)
- 11) Nielsen, D. R. and J. W. Biggar : Miscible displacement III. Theoretical consideration, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27, 10-13(1963)
- 12) Olsen, S. R. and W. D. Kemper : Movement of nutrients to plant roots, Advance Agron., 20, 91-151(1968)
- 13) 日本化学会編 : 化学便覧, p495, 丸善, 東京 (1966) (1986. 12. 27受理)

### Summary

This paper discussed the by-pass effect and the source-sink effect on the infiltration of water and mineral ions, causing their ununiformity in clayey field soil with large shrinkage cracks.

After application of water and KCl to the soil surface, the drainage rate and Cl<sup>-</sup> concentration were measured in the drainage water sampled by collectors (4x15 cm) installed in a clayey field soil profile. The amounts of drainage varied with the location in the profile. The chlorine concentration was higher in layers where there was a large amount of drainage than in the layers with a small amount of drainage.

The drainage rate was found to be a function of two exponential functions of time. The drainage system, therefore, was approximated by using a parallel tank-model. Two drainage types were found: One, a slow drainage through the gravitational drainage pore, can be represented approximately by a tank with constant volume; and the other, a rapid drainage through a macropore system, can be represented approximately by a tank that receives the overflow from the former tank. The latter tank, particularly, may indicate a by-pass effect. These two tanks are termed mobile tanks.

Furthermore, since the micropores within large peds can be expressed by a third tank, it has been suggested that changes in the Cl<sup>-</sup> concentration may depend on interdiffusion between the third stagnant tank and the two mobile tanks described above. Interdiffusion is the main mechanism of the source-sink effect; the extent of interdiffusion is exponentially related to the amount of water in the mobile tanks.

Our results have shown that infiltration through the clayey soil profile can be represented by the following three processes;

- a) transfer through a macropore system (by-pass effect),
- b) transfer through a gravitational pore system,
- c) interdiffusion between macropores and micropores within soil peds (source-sink effect).