

粘土質転換畑心土亀裂面に発達した根の吸水による亀裂近傍での水分分布

佐藤泰一郎* 長谷川周一** 中野政詩*** 宮崎毅***

Soil Water Content in the Vicinity of Drying Cracks Having Roots in
Clayey Subsoil.

Taiichirow SATO · Shuichi HASEGAWA · Masahi NAKANO ··· and Tsuyoshi MIYAZAKI ···

* Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

** National Research Institute of Agricultural Engineering

*** Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

1. はじめに

粘土質転換畑に発生する乾燥亀裂は、排水のための水みちとなり湿害回避に大きく寄与することが知られている。また、このような土の心土の乾燥亀裂や土塊間の大孔隙には、作物の根が伸長しているのが観察され、亀裂や大孔隙が、作物根の生長、発達、吸水、呼吸に関与している。このうち根の吸水に関しては亀裂を想定した室内実験から、根の近傍では、水分勾配が生じていることが明らかにされた²⁾。しかし、圃場の亀裂に分布する根量は、室内実験と比較すると非常に少なく³⁾、吸水に伴って水分勾配が生じるかどうかはまだ確認されていない。そこで、本論文では、粘土質転換畑心土の亀裂面近傍の水分分布を実測するとともに、簡単なシミュレーションを行なって亀裂面近傍の水分分布について検討を行なった。

2. 圃場調査

調査に使用した圃場は、農業土木試験場（現在：農業工学研究所）構内にある沖積水田土壌（重粘土）を充填したライシメータである。このライシメータは、長辺70m、短辺30m、深さ0.65mで組合せ暗きょが施工されている。圃場は、水田から畑地へ転換されて4年が経過

し、この間夏作にダイズが導入されている。土層断面調査から、厚さ12.5cmの作土は屑粒状、それ以下の心土は壁状の構造を持つ。

心土には、幅1mm程度の亀裂が約15cm間隔で作土直下より垂直にほぼ45cmの深さまで発達している。この心土の亀裂は、作土に連続していない。根は、作土に全体の約80%、心土に約20%が分布している³⁾。心土に分布した根は、ほとんどが亀裂中にみられ、単位面積の亀裂中に分布する根の長さ（平面密度）は平均で $0.92\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった³⁾。なお土の基本的な物性値、透水係数、水分特性曲線は、既報³⁾のデータを用いた。

亀裂面に発達した根が吸水を行なうため、亀裂面に向けて水分勾配が生ずる可能性がある。そこで、直接採土により亀裂面近傍の水分分布を調査した。調査は、亀裂面に $10 \times 10\text{cm}$ の調査面を設け、この面に垂直に内径2cm、長さ10cmのサンプラーを挿入して得られた試料を5mmづつ切断し含水比を測定した。同時に調査面から根を採取し、その長さをNewman法⁴⁾で測定し根の平面密度を求めた。調査は、1983年9月1日に14mmの降雨があった後、亀裂からの排水が終了し亀裂中の根が心土から吸水を行なっていると考えられる9月7日に行った。採土の深さは58.5cmで、反復数は3であった。採土を対象とした亀裂中の根の平面密度は $1.51\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった。亀裂面からの距離と体積含水率との関係をFig. 1に示す。図から、明確な水分勾配は認められずバラツキが見られ、その最大と最小の差は体積含水率で0.8%であった。また、平均水分をマトリックスポテンシャルで表わすと -0.1MPa となる。

* 東京大学農学部

(現在：富山県立技術短期大学 〒939-03 富山県射水郡外町黒野町)

** 農業土木試験場

(現在：農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1)

*** 東京大学農学部 〒113 東京都文京区弥生1-1-1

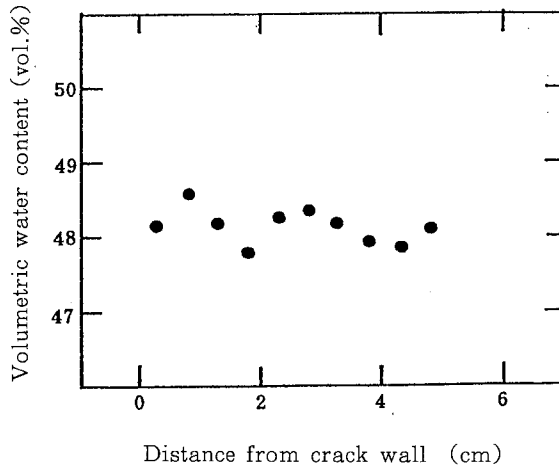


Fig.1 Movement value of soil water content in the vicinity of the crack wall with soybean roots.

3. シミュレーション

亀裂の存在する粘土質転換畑心土においては、垂直方向の水移動に加え根の吸水および亀裂面の蒸発にともなう水平方向の水移動がある。このうち、垂直方向の水移動は、非常に小さく無視し得る³⁾。また、亀裂は作土によって遮断されているため飽和水蒸気圧に近く、亀裂面からの蒸発にともなう水損失も小さいと考えられる。したがって、心土の水移動は、亀裂中に分布する根の吸水によって生じる水平方向の水移動が卓越すると考えられる。

そこで、Richardsの方程式によって、水平一次元流を表わせば次式のようにになる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\phi) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \quad (1)$$

ここで、 θ は体積含水率、 t は時間、 X は亀裂面からの距離、 $K(\phi)$ は透水係数でマトリックポテンシャル ϕ の関数である。

解折にあたって、初期条件・境界条件は次のように設定した。

<初期条件>

$$\theta = \theta_i, \quad 0 \leq X \leq \frac{D}{2}, \quad t = 0 \quad (2)$$

<境界条件>

$$K(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} = S, \quad X = 0, \quad t \geq 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0, \quad X = \frac{D}{2}, \quad t \geq 0 \quad (4)$$

ここで、 D は亀裂と亀裂の間隔で(4)式は、中点($D/2$)を横切って水移動が生じないことを示している。亀裂面からの水の消失は蒸発によるものではなく、根の吸水によってのみ水の消費が行なわれると仮定した。また、根の吸水は、土壌水分の多少にかかわらず一定であると仮定した。(3)式の S は、単位面積の亀裂面から根の吸水によって消費される量で、次式であらわせる。

$$S = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L a$$

ここで、 q は吸水率で、単位長さの根が1日に吸水する量である。 $L a$ は、根の平面密度である。亀裂面によってはさまれた根は両側の亀裂から吸水するので、1つの亀裂面を対象とする場合には、係数は $1/2$ となる。計算に際して、根は昼間吸水を行ない、夜間は吸水を行わないとし、昼間の12時間に1日の吸水量を与えた。そのため(5)式は、

$$S = q \cdot L a \quad (\text{昼間}) \quad (6)$$

$$S = 0 \quad (\text{夜間}) \quad (7)$$

となる。

解析は、Cambell¹⁾のプログラムを一部修正して行った。計算において $D=15 \text{ cm}$ 、 $q=0.01 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $L a=1.0 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-2}$ を用いた^{2,3)}。計算に必要とされる物性値のうち K_s (飽和透水係数) は実測値で $9.8 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 b (水分特性曲線、透水係数との関係を表わす実験式のべき定数) と ϕ (空気侵入ポテンシャル) は実測値を近似するようにそれぞれ 13.7 、 $-22.7 \text{ J} \cdot \text{K g}^{-1}$ とした。なお透水係数の近似式は、次式を使った。

$$k(\phi) = k_s \cdot (-1/\phi)^n \quad (8)$$

ここで、 $n=2+3/b$ である。

初期水分を体積含水率で52% (マトリックポテンシャルで -0.04 MPa) に与え、7日目の吸水が終了したときの水分分布の計算結果を Fig. 2 (a) で示す。7日間の吸水で、平均水分が51.6%となり、初期水分に対して約0.4%の水分が失われ、亀裂面 ($X=0$) と中点 ($X=D/2$) の体積含水率の差は、0.96%である。その後、夜間12時間の再分布によりこの差は、0.55%に減少する (Fig. 2 (b))。また、初期水分が体積含水率で52%、吸水量を2倍の $0.02 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ にしたときの7日間吸水終了時の水分分布を Fig. 2 (d) で表わす。このときの亀裂面と中点の体積含水率の差は、2.34%となり (a) の条件に比べ亀裂面での水分の低下が著しい。このことは、吸水量の増加が根の近傍でのマトリックポテンシャルの低下を引き起こし、これにともなって透水係数が小さくなり、水分勾配が大きくなることを示している。一方、初期水分が49% (マトリックポテンシャルで -0.08 MPa) で吸水量が $0.01 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ のときの7日間の吸水終了時の水分分布は Fig. 2 (c) となり、亀裂面と中点の体積含水率の差は、1.95%となり、このときも亀裂面近傍で水分勾配が生じている。

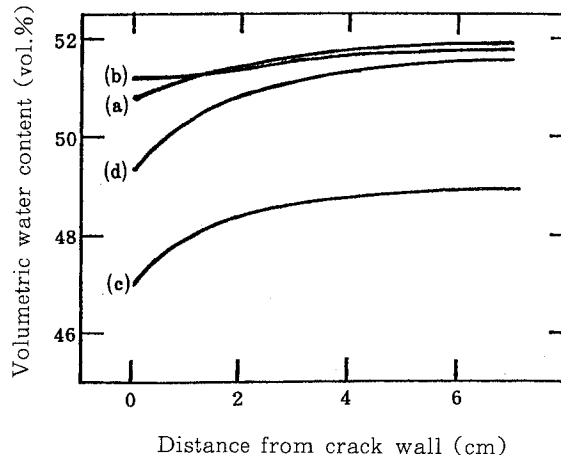


Fig.2 Calculated soil water content in the vicinity of crack wall after 7 days extraction at the rate of $S \text{ (cm/d}^{-1}\text{)}$ from crack wall. (a) $S=0.01$ after daytime, (b) $S=0.01$ after redistribution in the nighttime, (c) $S=0.01$ after daytime, (d) $S=0.02$ after daytime.

4 考 察

根の水平一次元吸水モデルによるシミュレーションから次のことが明らかになった。(1) 初期土壌水分が多いときほど、水分勾配は、小さくなる (Fig. 2 (a), (c))。すなわち、根の吸水量が同じ場合土壌水分が多いときほど、根の吸収によって消費される水量を補償すべき土中の水分は移動しやすい。(2) 根の吸水量が多くなるほど、水分勾配も大きくなる (Fig. 2 (a), (d))。すなわち、土壌水分が同じ場合、根の近傍での水分消費量は多くなり、土壌水分の低下にともなって透水係数が低下し水分勾配が大きくなる。

しかし圃場調査結果では、著者らが室内試験²⁾で得たような急激な水分勾配や、シミュレーションから予想される根の吸水による水分勾配は認められなかった。これらの相違は、室内試験にくらべ圃場調査から得られた根の密度はほぼ1オーダー小さく、吸水量が少なかったためである。また、シミュレーションでは、水分勾配が生じているものの亀裂面と中点の体積含水率の差は小さく、圃場における、例えば初期含水率の分布が必ずしも一様ではなかったなどの不均一性の方が卓越したためと考えられる。

以上のように根の吸水にともなって圃場の亀裂面近傍に水分勾配が生ずるためには、土壌水分が非常に少ないときの透水係数 (K) の低下による場合、亀裂面に分布する根による吸水量 (S) が大きい場合の両方があると結論できる。

<謝 辞>この研究を始めるきっかけをつくっていただいた茨城大学農学部教授 (現在：東京農工大学大学院教授) 安富六郎博士と茨城大学農学部助教授軽部重太郎博士に深謝致します。

<引用文献>

- 1) Campbell, G. S. 1985, Soil Physics with Basic. - Transport models for Soil plant systems, -
- 2) Hasegawa, S., and T. Sato. 1985, Soil water movement in the vicinity of soybean roots determined by root plane experiment, 農土論集 117 : 17-24.
- 3) Hasegawa, S., and T. Sato. 1987, Water uptake by roots in cracks and water movement in clayey subsoil. Soil Sci, 143 : 381-386.
- 4) Newman, E. I. 1966, A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol. 3 : 139-145.
- 5) 佐藤泰一郎・長谷川周一. 1984. 粘土質転換畑下層土の水移動と根の吸水について. 昭和59年度農業土木学会大会講演要旨集. 314-315.

Summary

Roots are often observed to grow in cracks formed in clayey subsoil. Water content gradients in these cracks, however, have not been examined under field conditions. We calculated the soil water content in the vicinity of the cracks in a field based in Richards' equation. Field experiments showed that there was no gradient when the average soil water content was -0.1MPa (Fig. 1). Calculation showed that the soil water content gradient near the roots was very small for a soil water content exceeding -0.1MPa and that it became larger when the water absorption rate increased due to the high root density (Fig. 2).

The results obtained confirmed that the soil water content gradient in the subsoil decreased uniformly regardless of the distance from the crack wall with roots.