

地盤環境-植生生長シミュレーターにおける土壌水分特性の違いに関する基礎的検討

九州大学大学院工学府 学生会員 ○古賀 泰史 九州大学大学院工学研究院 正会員 古川全太郎  
九州大学大学院工学研究院 正会員 笠間 清伸

1 はじめに

日本の七大公害の一つである土壌汚染に対して、植物根の物質吸収・固定能力を活かして地盤内浄化を行う「ファイトレメディエーション」という工法が期待されている。この工法は、従来の汚染土の掘削除去や客土工法と比較して安価で簡易に行えるメリットがある反面、植物の種族、生長の個体差及び地盤環境により効果に差が生じ、また効果が発揮されるまで時間がかかる等のデメリットもある。したがって、効果的・効率的にファイトレメディエーションを行うためには、地盤環境に対する植生生長の応答を事前に把握・予測したうえで、対象の地盤に即した適切な植生及び植栽方法を提案する必要がある。そこで、著者らは植物根が存在する場合の水分・化学物質の移動を考慮した「地盤環境-植生生長シミュレーター」を開発し、根の生長と吸収を考慮した数値解析を行った。本文では、異なる水分特性を有するまさ土と畑土に関して、円筒座標系準三次元解析場における単一根が存在する場合の地盤内の体積含水率および化学物質濃度の経時的な変化を定量的に算出した結果を示し、本モデルの有用性を検討した。

2 モデルの解析概要と解析条件

図-1に解析場の概念図を示す。円筒座標系において、根が存在する断面に直径方向軸( $r$  軸)を取り、根が存在する微小な幅を有する断面で解析を行うことにより、奥行き方向の根の広がりを無視できる。また  $z$  軸を対象にこの解析場は対称であり同じ挙動を示すと考えたため、 $r=0$  に Center Line(CL)をとってそれより右側を解析した。この解析領域は横幅  $r=15\text{cm}$ 、深さ  $50\text{cm}$  とし、地盤の初期状態を不飽和と仮定し、最下層面を排水層と仮定した。

この解析領域を 1 マス ( $0.25\text{cm}\times 0.25\text{cm}$ )の正方形メッシュで縦方向 200 個、横方向 60 個に分けて、それぞれの格子における体積含水率  $\theta$  と化学物質濃度  $C_l$  を求めた。

本研究では、円筒座標で示した不飽和地盤の水分移動の基礎式(式(1))と移流分散方程式(式(2))の二つの式をベースとし、式(1)には根系による水分吸収の項  $Y(\theta)$ 、式(2)には根系による溶質吸収項  $Y_{cp}(\theta)$  を導入した<sup>1)</sup>。以下に示す。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r k \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{C_w} k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial k}{\partial z} - \frac{\psi_{r1} - \psi_m}{r_{ab}(\theta_{sat} / \theta) / L_{v2} + R_{12}} \tag{1}$$

ここに、 $\theta$  は体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $C_w$  は水分容量 ( $\text{cm}^{-1}$ )、 $k$  は不飽和透水係数 ( $\text{cm/s}$ )、 $\psi_{r1}$  は根中水ポテンシアル ( $\text{cm}$ )、 $\psi_m$  は根の近傍の水ポテンシアル ( $\text{cm}$ )、 $r_{ab}$  は吸水根の単位長さ当たりの透過抵抗 ( $\text{s/cm}$ )、 $\theta_{sat}$  は飽和体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $L_{v2}$  は根長密度 ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ )、 $R_{12}$  は単位土壌体積当たりの吸水根の中を移動する水が受ける通導抵抗 ( $\text{s}\cdot\text{cm}$ )を表す。

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r k C_l \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{C_w} k C_l \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} (k C_l) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r D \frac{\partial C_l}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial C_l}{\partial z} \right) - \frac{2\pi r_0 K_p C_l L_{v2}}{\theta} \tag{2}$$

キーワード ファイトレメディエーション・マトリックスポテンシアル・移流分散方程式

〒819-0367 福岡県福岡市西区西都 1-8-21 学研都市ビル 716 号 TEL 080-2744-9619

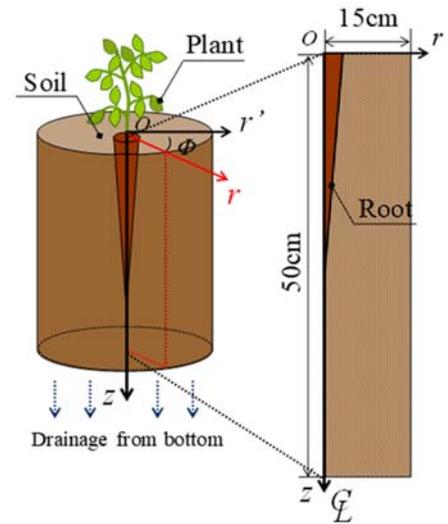


図-1 準三次元円筒座標系解析場の概念図

表-1 地盤パラメーター

土壌 Parameter	unit	まさ土	畑土	
飽和体積含水率	$\theta_s$	%	45.515	60.185
残留体積含水率	$\theta_r$	%	12.748	22.82
VG パラメータ	$\alpha$		9.9998	9.9996
	$n$		1.2955	1.4906
飽和透水係数	$k_s$	cm/day	91.854	22.84

表-2 植物パラメーター

植物 Parameter	unit	value	
根の最大半径	$r_l$	cm	1
根の生長スピード	$r_s$	cm/day	0.4
根中の水ポテンシアル	$\psi_{r1}$	cm	3000
根の初期長さ	$r_0$	cm	20

ここに、 $C_l$  は化学物質濃度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $D$  は分散係数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  $r_0$  は根の半径 (cm),  $K_p$  は根の吸収速度 ( $\text{cm}/\text{s}$ )を表す。また、不飽和状態における不飽和透水係数、分散係数に関しては、Van Genuchten (1980) 式<sup>2)</sup>を用いて算出した。地盤パラメーターを表-1, 植物パラメーターを表-2 で示す。初期の体積含水率  $\theta$  の分布は、地下水が解析場よりも深くに存在していると仮定して、深くなるにつれて有効飽和度が 20%から 60%になるように設定し、化学物質濃度  $C_l$  は  $1.0 \times 10^{-6} \text{g}/\text{cm}^3$  で一定の値とした。また、体積含水率・化学物質濃度共に、初期値は  $r$  軸方向に一定とした。本研究では、植物パラメーターをすべて等しくした状態で、まさ土と畑土を用いた際の水分・化学物質の移動についての解析を行った。

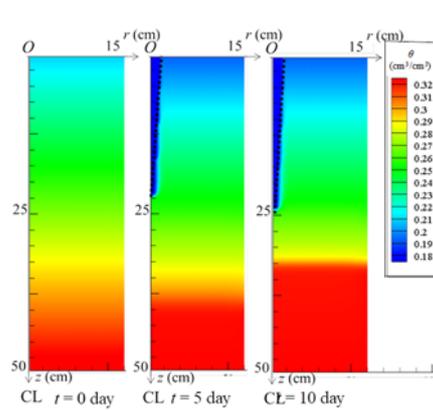


図-2 まさ土に関する体積含水率経時変化

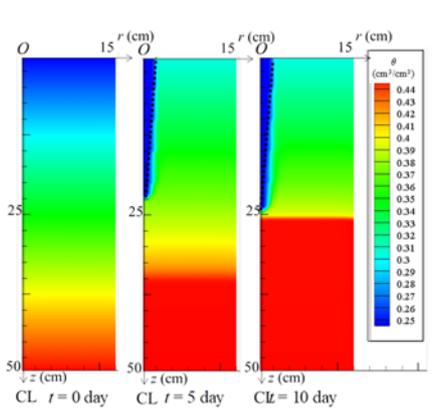


図-3 畑土に関する体積含水率経時変化

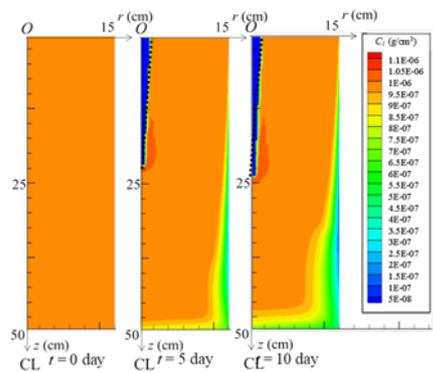


図-4 まさ土に関する化学物質濃度経時変化

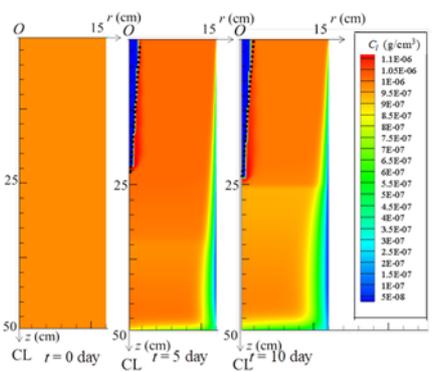


図-5 畑土に関する化学物質濃度経時変化

### 3. 体積含水率分布と水移動

図-2, 図-3 にまさ土, 畑土に関する体積含水率分布の経時変化を示し, 図-4, 図-5 にそれらの土の化学物質濃度分布の経時変化を示す。保水性が高い畑土のほうが初期の総水分量は高いが、まさ土と畑土の地盤内化学物質濃度は  $1.0 \times 10^{-6} \text{g}/\text{cm}^3$  と等しいため、総化学物質量も自動的に畑土の方が高い。図-2, 図-3 から畑土のほうが重力の影響を大きく受け, 図-4, 図-5 から畑土のほうが根の周辺の化学物質濃度が高くなっているため根に向かう移流がより顕著にみられたと言える。また、畑土のほうが真砂土よりも水分を 10 日間で  $3.04 \text{cm}^3$  多く吸収した。これは有効水分量が高い程、根と土とのマトリックポテンシャル差が大きくなるためだと考えられる。また図-6 に、まさ土, 畑土それぞれの初期状態と比較した際の水分・化学物質吸収率を示す。化学物質量に関して、まさ土では、初期の総化学物質量の 4.23%である  $7.84 \times 10^{-6} \text{g}$ , 畑土では 4.50%である  $1.22 \times 10^{-5} \text{g}$  吸収した。

**謝辞:** 本研究は、JSPS 科研費 JP16K18151 “汚染物質動態と植物根の生長を考慮した環境配慮型地盤浄化シミュレーターの開発”の助成を受けたものです。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 中野政詩, 土の物質移動学, 東京大学出版会, pp16-18, 1991
- 2) Van Genuchten, M.Th. : A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci.Soc. Am.J.,44,892-898,1980.

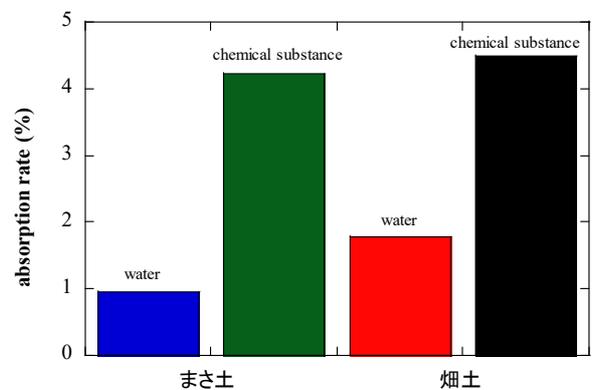


図-6 各土質の 10 日後の水分・化学物質吸収量