

地盤環境-植物生長モデルにおける根系の生長に関する基礎的検討

その (1) 根の半径について

九州大学大学院 工学研究院 正会員 ○古川全太郎 正会員 笠間 清伸

九州大学大学院 学生会員 藤澤 朱音 正会員 八尋 裕一

1. 背景及び目的

乾燥地における砂漠化や、地盤の重金属汚染等の地盤環境問題が顕在化し、2008年時点で世界全土のおよそ23%が「劣化した土地」とされている¹⁾。このような地盤環境問題を、植物根の生長を活かして解決する「ファイトレメディエーション」が、近年低コストで持続可能な地盤環境修復手法として着目されている²⁾。しかし、植物の生育は地盤環境、気象環境等によって

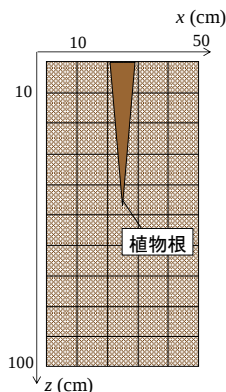


図-1. 解析モデル概念図

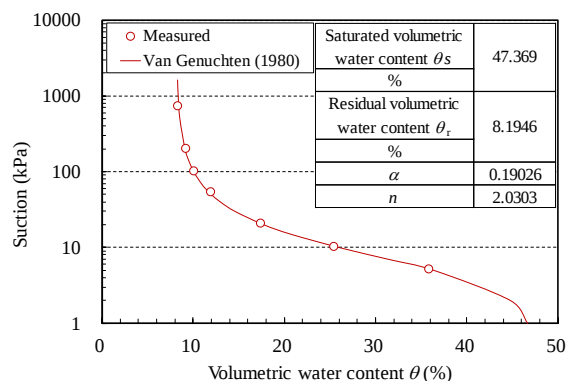


図-2. 砂質土の水分特性曲線（排水過程）

支配されるため、十分に効果を発揮しない事例も見受けられている²⁾。従って、根系の効果そのものや、効果が十分に、持続的に発揮される地盤環境を事前に把握する必要がある。本研究は、植物根が健全に生育できる地盤内の水分、及び土中水に溶存する化学物質の移動を解析的に予測する「地盤環境-根系生長モデル」を開発し、根系の生長による地盤環境の改善効果を事前に把握することを目的としている³⁾。本報では、二次元解析場において、単一根の半径が根圏周辺の地盤環境に及ぼす影響を定量的に算出した結果を示すとともに、本モデルの有用性を検討した。

2. 解析概要

2-1. 根系の水分・溶質吸収を考慮した移流・分散方程式

根系の溶質吸収における地盤内の水分・化学物質濃度の分布の経時的な変化を基礎的に把握するために、図-1のような二次元場・単一根を想定して不飽和浸透流解析を行った。根の水分吸収を考慮した二次元場における不飽和地盤内の水分移動は、以下の式(1)で表される。

$$C_w(\theta) \frac{\partial}{\partial t} \psi_m(\theta) = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x(\theta) \frac{\partial}{\partial x} \psi_m(\theta) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \frac{\partial}{\partial z} \psi_m(\theta) \right\} - Y_{cp}(\theta) \quad \dots (1)$$

ここに、 $C_w(\theta)$: 比水分容量、 $\psi_m(\theta)$: 土のマトリックポテンシャル (kPa)、 $k_x(\theta) = k_z(\theta)$: 不飽和透水係数 (cm/s)、 $Y_{cp}(\theta)$: 根系による単位時間あたりの溶質吸収量 (cm³/s)

なお、 $C_w(\theta)$ 及び $k_x(\theta) = k_z(\theta)$ は、図-2のような砂質土の実験値（排水過程）を Van Genuchten の式⁴⁾を用いて近似した水分特性曲線により求めた。また、吸収項 $Y_{cp}(\theta)$ は以下の式(2)で表される。

$$Y_{cp}(\theta) = 2\pi r K_p C_l(\theta) L_{v2} \quad \dots (2)$$

ここに、 r : 根の半径 (cm)、 $C_l(\theta)$: 栄養塩濃度 (g/cm³)、 K_p : 根の溶質吸収速度 (g/cm · s²)、 L_{v2} : 根密度 (cm/cm³)

次に、式(1)と、式(3)で表される二次元場における移流・拡散方程式を連立させ、差分法により解き、任意の時間・場所における栄養塩濃度 $C_l(\theta)$ を求めた。

$$\frac{\partial C_l(\theta)}{\partial t} + k_x(\theta) \psi_m(\theta) \frac{\partial C_l(\theta)}{\partial x} + k_z(\theta) \psi_m(\theta) \frac{\partial C_l(\theta)}{\partial z} = D(\theta) C_l(\theta) \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \frac{Y_{cp}(\theta)}{\theta} C_l(\theta) \quad \dots (3)$$

ここに、 $D(\theta)$: 水分拡散係数。なお、 $D(\theta)$ も Van Genuchten の近似式に従うとした⁴⁾。

キーワード 移流分散方程式、根の溶質吸収、解析モデル

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1111

T E L 092-802-3383

2-2. 解析条件

図-1のような、50 cm×100 cmの二次元解析場を想定し、上部中央の単一根の成長と共に、地盤内の水分と溶質濃度の経時変化を把握した。条件を表-1に示す。本報では、式(2)の根の半径を2パターン計算した結果

について示す。初期の体積含水率 θ の深さ方向の分布は、地下水位がある状態を想定し、深さ方向に高くなる分布を仮定した。なお、排水は底面のみから行われるものとした。

3. 解析結果

図-3に根の半径が大きい場合(CaseA-1)、図-4に根の半径が大きい場合(CaseA-2)の体積含水率 θ の経時変化をそれぞれ示す。なお、コンター図中の点線は根の長さの分布を表している。解析結果が左右対称であるため、解析場の左半分のみを示している。図-3、図-4を比較すると、表-1の実験範囲では視覚的に差異を判別することは難しいが、根の半径を2倍にすると、28日後には解析場全体で約1%体積含水率が減少することが明らかとなった。

図-5に根の半径が大きい場合(CaseA-1)、図-6に根の半径が大きい場合(CaseA-2)の栄養塩濃度 C_I の経時変化をそれぞれ示す。図-5、

図-6を比較すると、体積含水率 θ の場合と同様に、表-1の実験範囲では視覚的に差異を判別することは難しいが、地表面付近では栄養塩濃度の減少が見られる。根の半径を2倍にすると、小さい径の場合と比較して、28日後の栄養塩濃度は解析場全体で1%程度減少することが明らかとなった。従って、その他の根の生長に関する地盤環境への影響については、本報のその(2)を参照されたい。

4. まとめ

地盤環境-根系生長モデルの有用性を検証するため、二次元解析場において単一根の半径を異にした場合の地盤環境の経時変化を把握した。その結果、

- 1) 根の半径を2倍にすると、28日後には解析場全体で約1%体積含水率が減少することが明らかとなった。
- 2) 根の半径を2倍にすると、小さい径の場合と比較して、28日後の栄養塩濃度は解析場全体で1%程度減少することが明らかとなった。

参考文献 1) Bai ZG, Dent DL, Olsson L and Schaeppman ME 2008:Global assessment of land degradation and improvement 1: identification by remote sensing, Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, pp.2, 36-37, 2008 2) 吉田光毅, 秋吉美穂, 藤原靖: ファイトレメディエーションの現状と課題, 大成建設技術センター報, pp. 06-1 – 06-4, 2005 3) 藤澤朱音, 古川全太郎, 笠間清伸: 地盤内水分と化学物質の移動を考慮した根系生長モデルに関する数値解析的検討, 平成27年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 397-398, 2016 4) 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.

表-1. 解析条件

Case	Speed of root absorption K_p g/cm ² ·s	Speed of root elongation L_p/t cm/day	Root radius r cm	Root length density L_{v2} cm/cm ³	Volumetric water content θ cm ³ /cm ³
A-1	1.5×10^{-5}	1	$1.0 \times (1 - z/L_p)$	$5^{1-z/L_p}$	$0.4 + 0.005 z$
A-2			$0.5 \times (1 - z/L_p)$		

L_p : Length of root at arbitrary time

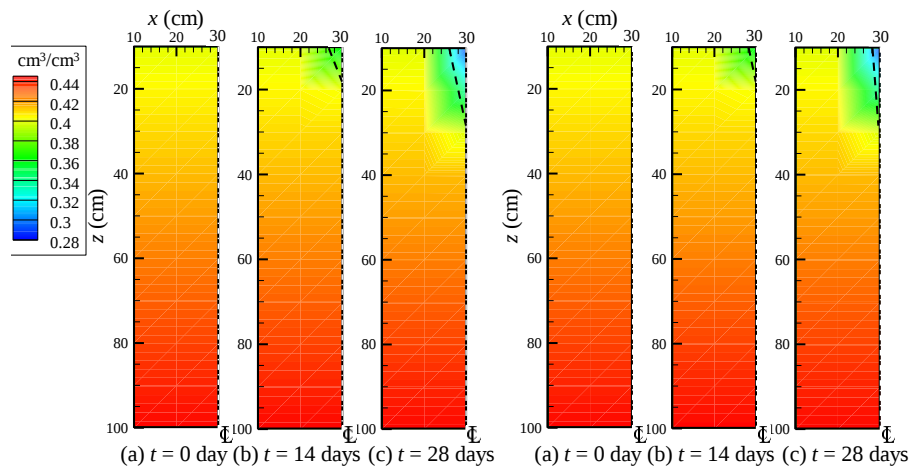


図-3. CaseA-1 (根の半径大) の θ の経時変化

図-4. CaseA-2 (根の半径小) の θ の経時変化

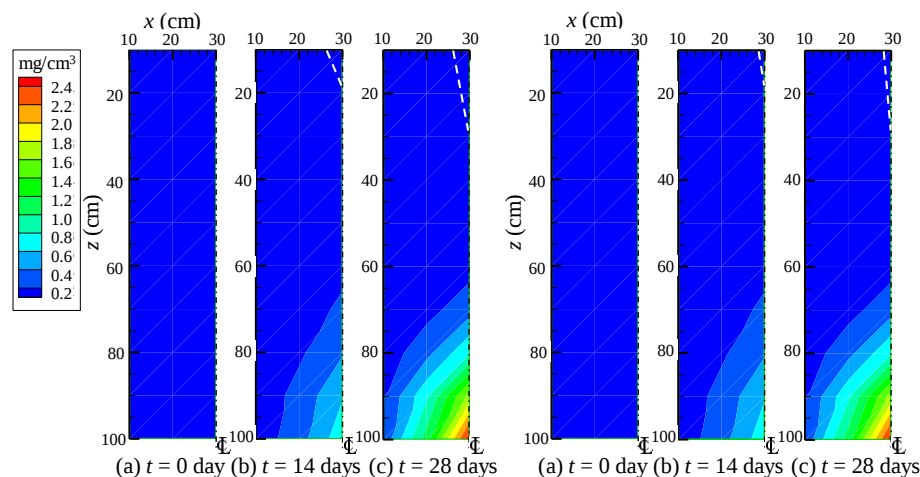


図-5. CaseA-1 (根の半径大) の C_I の経時変化

図-6. CaseA-2 (根の半径小) の C_I の経時変化