

植物根の成長速度を考慮した地盤内化学物質移動モデルの開発

九州大学 学〇直塚彦太郎 九州大学大学院 工学研究院 正 古川全太郎 正 笠間清伸

1. はじめに

現在、世界規模で砂漠化が進んでおり様々な問題を引き起こしている。砂漠化進行地に植栽を施す砂漠緑化を行うことは最も有用な対策のひとつである。しかし、不適切な水管理、砂漠緑化計画により塩類集積等が発生し、健全な緑化が不可能となる事例がある。乾燥地において健全に植物を生育させるためには、対象地域の水分・化学物質保持特性などの地盤環境を把握し、植物の生長を考慮した適切な水管理、施肥を行う必要がある。しかしながら、これまで植生を含めた地盤環境を定量的に把握し予測する手法はほとんどなく、定性的な経験則による地盤環境評価に依存してきた。本文は、施肥量、散水量を把握して適切に緑化を行うことを目的とし、植物の成長速度および水分・化学物質の吸収速度を考慮した地盤内化学物質移動モデルを開発した。また、このモデルにおいて植物の成長速度、吸収量をパラメーターとして飽和・不飽和浸透分散解析を行い、モデルの有意性を確認した。

2. 解析概要

今回モデル化に用いた移流分散方程式は、以下の(1)式に示す¹⁾。

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} + V \frac{\partial C_l}{\partial z} = D \frac{\partial^2 C_l}{\partial z^2} - 2\pi r_0 q_{c0} L_{v2} / \theta \quad (1)$$

ここに、 C_l : 溶質濃度(mg/cm³), V : 間隙流速(cm/sec), D : 分散係数(cm²/sec), r_0 : 平均的な根の半径(cm), q_{c0} : 根の吸収フラックス(mg/cm² sec), L_{v2} : 根長密度(cm/cm³), θ : 体積含水率(%)である。

根による吸収は、仮想的な根の表面積に、吸収フラックスを乗ずることで表現した。

根の吸収フラックスは、(2)式のように表される²⁾。

$$q_{c0} = \frac{K_p C_l}{1 + K_p C_l / F} \quad (2)$$

ここに、 K_p : 根の吸収力(cm/sec), F : 根の最大溶質吸収速度である。

根による栄養塩の吸収力 K_p は、植物の種類、根の生理状態、土壌水分により異なる。ここで、溶質濃度が低い場合(2)式を以下のように近似することができる。

$$q_{c0} = K_p C_l \quad (3)$$

(3)式を(1)式に代入して

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} + V \frac{\partial C_l}{\partial z} = D \frac{\partial^2 C_l}{\partial z^2} - 2\pi r_0 K_p C_l L_{v2} / \theta \quad (4)$$

今回は、(4)式を陽解法により差分化³⁾を行って1次元解析を行った。

非定常項には前進差分(陽解法)、移流項には、後

退差分(風上差分)を用いた。また、分散項、吸収項については中央差分を用いて離散化を行った。

(4)式を離散化すると

$$\frac{C_{l(i)}^{(k+1)} - C_{l(i)}^{(k)}}{\Delta t} + V \frac{C_{l(i)}^{(k)} - C_{l(i-1)}^{(k)}}{\Delta z} = D \frac{C_{l(i+1)}^{(k)} - 2C_{l(i)}^{(k)} + C_{l(i-1)}^{(k)}}{\Delta z^2} - \frac{\lambda}{\theta} C_{l(i+1)}^{(k)} \quad (5)$$

(5)式を整理して

$$C_{l(i)}^{(k+1)} = (1 - C_1 - 2C_2 - \lambda \Delta t) C_{l(i)}^{(k)} + (C_1 + C_2) C_{l(i-1)}^{(k)} + C_2 C_{l(i+1)}^{(k)} \quad (6)$$

ここに、 $\lambda = 2\pi r_0 K_p L_{v2}$, $C_1 = V \Delta t / \Delta z$, $C_2 = D \Delta t / \Delta z^2$

(6)式をエクセルを用いて解析を行った。根による吸収は、植物の成長速度を仮定して非定常として導入した。

3. 解析条件

本解析は、表-1のような条件で解析を行った。

表-1. 解析に用いた条件

Index	D	V	θ	k
Unit	cm ² /sec	cm/sec	%	cm/day
Saturated	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	0.6	1
Unsaturated	1.0×10^{-4}	-	図-5	-

ここに、 k : 飽和透水係数(cm/day)

ただし不飽和状態においては、体積含水率が非定常であり、それに伴い移流速度 V も非定常となる⁴⁾。不飽和浸透・分散解析では、不飽和透水係数に Van Genuchten モデルを用い、ダルシー則を基本とした⁵⁾。これらの条件の下、いくつかの異なる根系吸収量に対する、栄養塩濃度分布の応答変化をみることで、その

特徴を考察した。また、根の伸長速度は時間に比例すると仮定して z 方向の 1 次元解析を行った。 λ は根の吸収量を表す。 図-1 に根系成長を考慮した解析のイメージ図を示す。

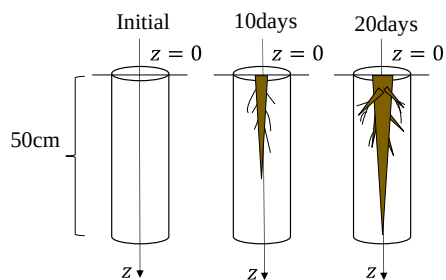


図-1. 解析イメージ図

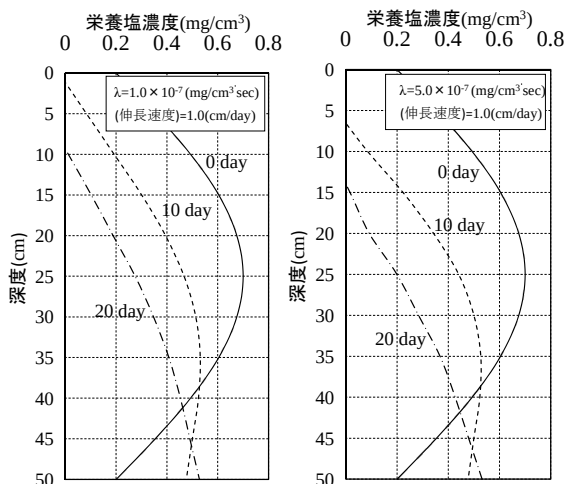


図-2. 栄養塩濃度(標準状態)

図-3. 栄養塩濃度(吸収量大)

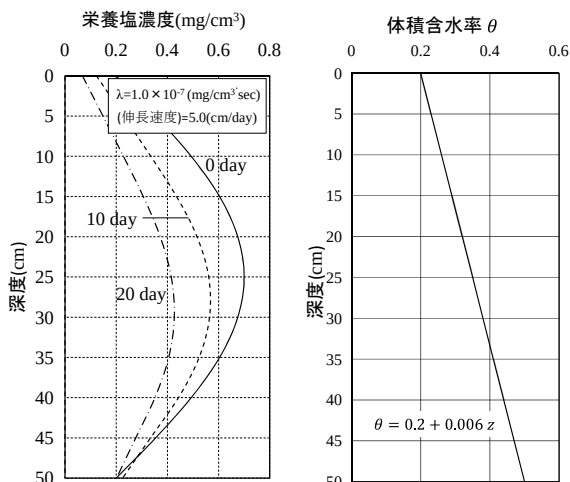


図-4. 栄養塩濃度(伸長速度大)

図-5. 初期体積含水率分布

図-2～4 に飽和地盤を仮定した場合の栄養塩濃度の分布状態の 1 次元解析結果を示す。これらのグラフから 3 つの異なる条件において濃度がピークとなる位置と値はほぼ等しいことがわかる。しかし、栄養塩が存在する最少深度は、図-3 が大きく栄養塩の減少が大きいことが読み取れる。

次に図-6～8 不飽和地盤を仮定した場合の解析結果を示す。初期の体積含水率の分布 ($\theta=0.2+0.006z$) を図-5 に示す。グラフより標準状態である図-6 と図-7

はピーク濃度の値と深度はほぼ等しいが栄養塩が存在する最少深度は大きくなることがわかる。また、図-8 は、他の 2 条件と比較してピーク濃度が小さいことがわかる。

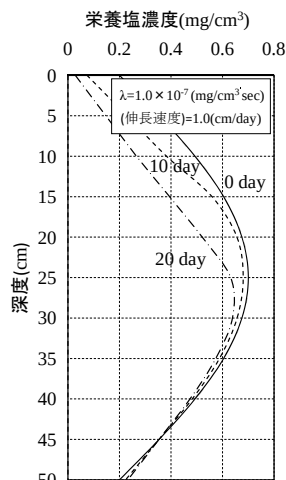


図-6. 栄養塩濃度(標準状態)

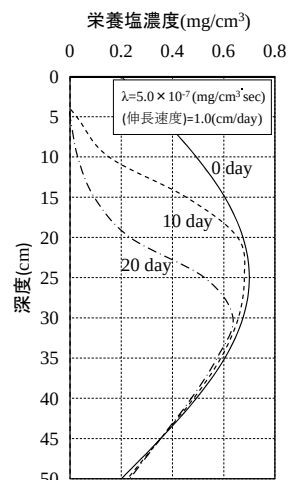


図-7. 栄養塩濃度(吸収量大)

4. まとめ

本論文では、根の吸収と地盤内栄養塩濃度の応答から、その特徴を理解することを目的とした。解析では、標準状態と吸収量、伸長速度のそれぞれを 5 倍としたものを初期、10 日後、20 日後を比較している。どのグラフも日

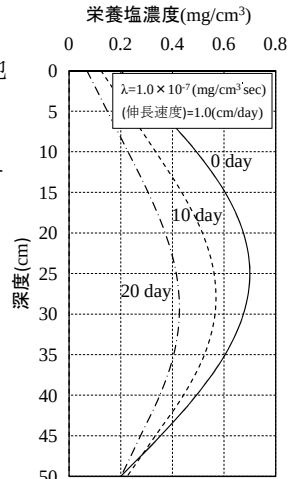


図-8. 栄養塩濃度(伸長速度大)

数が経過するほどピーク濃度が深さ方向に遷移し、濃度が減少していることが読み取れた。以上の結果から深さ方向に均一な根と仮定した場合、1) 飽和状態では根の吸収量(λ)による影響が大きいこと。2) 不飽和状態では、移流速度(V)が小さいため、根の吸収(λ)の影響が大きくなること 3) 不飽和状態において根の伸長速度はピーク濃度に影響を与えることがわかった。実際の地盤は不飽和であり、根の吸収による地盤内栄養塩濃度への影響は大きいと考えられる。

謝辞：本研究は、九州大学工学部 P&P 研究の支援を受けて行われたものであり、ここに感謝の意を表します。

【参考文献】：1) 土壌物理学, ウィリアム・ジュリー・ホートン著, pp223-231 2) 中野政詩ら, 土の物質移動学, 東京大学出版, pp16-22, pp75-79, pp120-129 3) 神野健二ら, 粒子移動による移流分散方程式の数値解法の検討, 1978 4) 荒木英樹ら, 根研究学会, 根の研究の最前線, 耕地における作物根系の吸水と水輸送, 2002 5) 坂井勝ら, 水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動モデル, 2009