

六価クロム汚染地盤のファイトレメディエーション効果の実験・解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○古賀 泰史 九州大学大学院 正会員 古川全太郎
九州大学大学院 国際会員 笠間 清伸

1 はじめに

土壌汚染に対して、植物根を用い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。この工法を効率的・効果的に行うためには、地盤環境に対する植生生長の応答を事前に把握・予測した上、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、根の吸収を考慮した数値解析を行った。本文では、平面的形状の育苗装置を用いて様々な濃度の六価クロム汚染土壌でコマツナを用いた植生実験を行うことで、物質の二次元的な分布を計測し浄化効果を検討した結果と、本モデルによる解析値と比較した。

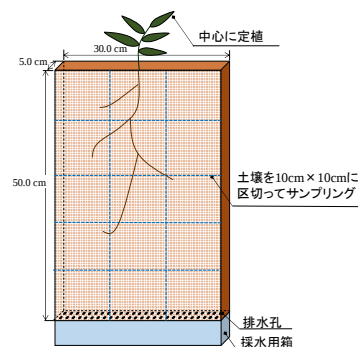


図1 育苗装置概念図

2. 実験概要と実験結果

表1 生育条件

植生	コマツナ (<i>Brassica rapa</i> <i>var. pervorodos</i>)
日照	明期16h, 暗期8h
照度	10000lx以上
灌水	200ml/2日
温湿度	25°C, 65%
実験期間	30日間

表2 土壌条件

条件	NaCl 添加量 (g/cm ³)	使用材料	乾燥密度 (g/cm ³)	初期体積含水率 (%)
case0	0	マサ土	1.3	11.2
case1	6.06×10^{-4}	牛糞堆肥 (500g/m ³)		
case2	1.23×10^{-4}	ぼかし肥料 (100g/m ³)		
case3	1.40×10^{-3}			

図1の育苗装置を用いて植生実験を行った。定植する際の根の最大長さを8cmで統一し、育苗装置の中心に苗を植えてから実験を開始した。表1に示す生育条件に基づき、4.75mm以下にふるったまき土を用いて表2に示す土壌条件より作製した模擬汚染土で30日間の実験をおこなった。土壌を図1のように10cm×10cmの計15個のメッシュに区切り、15、30日後に、それぞれのメッシュの土壌中の水溶性六価クロムイオン濃度を計測した。さらにその結果について、装置の右半分を10個のメッシュに分けて計算した結果を図2に示す。

3. 解析概要と解析結果、実験結果との比較

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¹⁾。以下に示す。

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

ここに、 θ は体積含水率 (cm³/cm³)、 C_w ¹⁾は水分容量 (cm⁻¹)、 k ²⁾は不飽和透水係数 (cm/s)、 ψ_{r1} は根中水ポテンシャル (cm)、 ψ_m は根の近傍の水ポテンシャル (cm)、 r_{ab} ³⁾は吸水根の単位長さ当たりの透過抵抗 (s/cm)、 θ_{sat} は飽和体積含水率 (cm³/cm³)、 L_{v2} は根長密度 (cm/cm³)、 R_{12} ³⁾は単位土壌体積当たりの根中水が受ける通導抵抗 (s・cm)を表す。

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

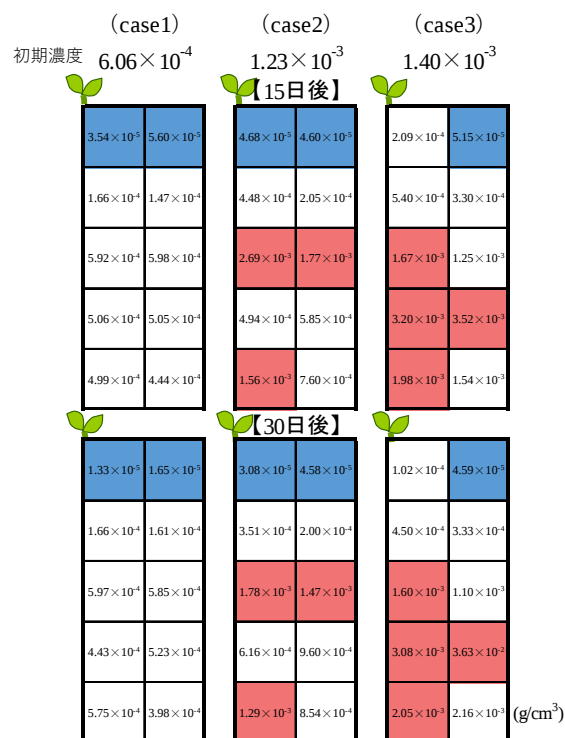


図2 【実験】水溶性六価クロムイオン濃度

ここに、 C_i は化学物質濃度 (g/cm^3)、 D^4 は分散係数 (cm^2/s)、 r_0 は根の半径 (cm)、 K_p は根の吸収速度 (cm/s)を表す。これら2つの式を、保存形を考慮した有限体積法に基づく差分形式⁵⁾を採用し、陽解法を用いた。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⁶⁾を用いて算出した。根は実験で用いたコマツナと同様の 8cm の単一根と見立て、初期濃度、初期体積含水率共に実験時と同様に設定し、初期濃度、初期体積含水率を標準偏差 5×10^{-6} 、 5×10^{-4} でばらつきを与えた初期条件下で解析を行った。図3に図2と同様の方法(解析場の右半分を10個のメッシュに分けた方法)で解析した結果を示す。また、case2、case3 についての化学物質濃度と深さの関係に関する経時変化を図4に示す。これらは根に近い左側のメッシュの値を採用した。解析結果について左上のメッシュの濃度は徐々に減少していったもののその他のメッシュではほとんど変化が現れなかった。また、根の存在するメッシュでの減少量は実験値より極端に少なかった。これらの原因としては、根の存在領域が小さく、狭い範囲でしか根の影響を与えることが出来なかったことが考えられる。また、重力による影響がなかったのは解析領域下部での境界条件をノイマン条件にしたからだと考えられる。また、全体の平均濃度が上昇してしまっているのがわかるが、これは差分式の計算過程における誤差が原因だと推測できる。30日後の全体の平均濃度として、case1、case2、case3 すべてで解析値は実験値の1.04倍を示した。根が存在する左上のメッシュでは、解析値はcase2で25.8倍、case3で8.88倍の値を示した。また図4における30日後の上5cmから15cmの濃度差(グラフ上の傾き)はcase1、case2、case3 すべてで解析値は実験値の1.7倍を示した。

4. まとめ

本検討における成果を以下に示す。

- 1) 30日後の全体の平均濃度は、すべての case で実験値の1.04倍の値を示した。
- 2) 今後は単一根ではなく、根があらゆる方向に育つようなプログラムを構築することが出来ればより精度の高い予測が出来ると考える。

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) 竹下祐二・八木一雄・森井俊広・井上光弘, 2002, 原位置透水試験による砂質土地盤の不飽和浸透特性の測定法, 地下水学会誌, 44-1, pp21-33
- 3) 中野政詩, 土の物質移動学, 東京大学出版会, pp124, 1991
- 4) 竹下祐二・西垣誠・河野伊一郎, 1990, 負圧帯水層での用水試験結果による不飽和浸透特性の算定方法, 土質工学会論文報告集, Vol.30, No.2, p199-210
- 5) 大野亮一・鈴木雅一・太田猛彦, 1998, 最近の動向をふまえた飽和不飽和浸透数値計算法の検討, 砂防学会誌, Vol.51, No.4, p.3-10
- 6) 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.

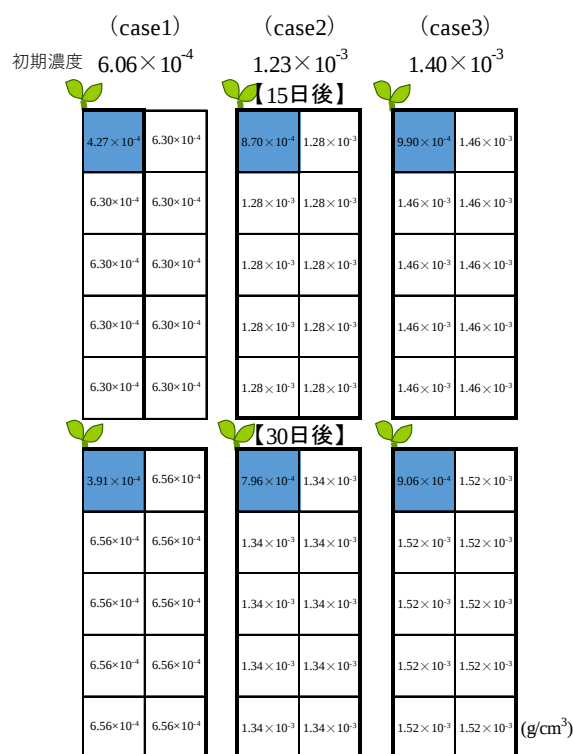


図3 【解析】水溶性六価クロムイオン濃度

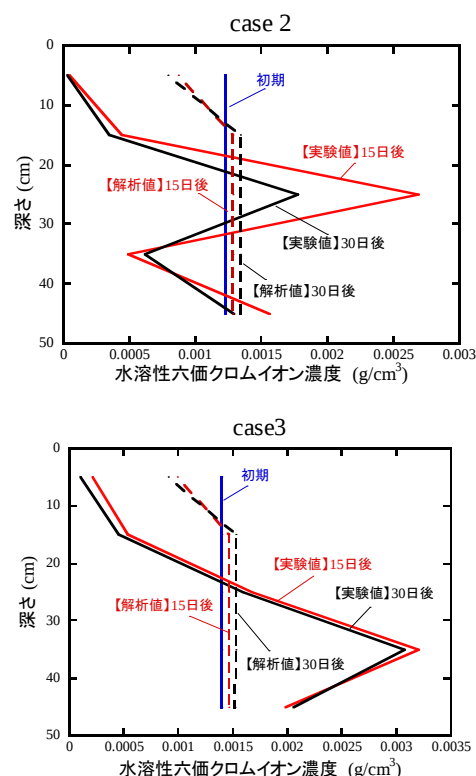


図4 水溶性六価クロムイオン濃度と深さの関係