

VII-286 地下水を汚染する窒素除去の効率化を目指した硝化・脱窒細菌相の制御

東北大学 学生員 小甲孝史 東北大学 学生員 藤井雄一郎
東北大学 正会員 福士謙介 東北大学 正会員 大村達夫

1. はじめに

わが国の水利用において、地下水は重要な役割を担っているが、近年、この地下水が様々な物質によって汚染されていることが明らかとなってきた。その中の一つとして硝酸性窒素による汚染が問題となっているが、その対策方法の一つとして原位置バイオレメディエーションの利用が注目されている。原位置バイオレメディエーションは維持管理の容易さ、広範囲への適用性、浄化期間中にも土地利用が可能など地下水の浄化対策として適した特長を有しているが、様々な問題点も残されており、また、地下水の硝酸性窒素汚染の改善もそれほど進んでいないのが現状である。

そこで本研究では、原位置バイオレメディエーションを利用した新たな地下水の硝酸性窒素汚染対策を提案し、その有効性を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 地下水の硝酸性窒素汚染対策の提案

地下水の硝酸性窒素汚染は、畑地において用いられる窒素肥料に由来すると考えられている¹⁾。つまり、汚染原因物質が継続的に供給されるという状況にあり、硝酸性窒素汚染の対策には、農地からの窒素成分の浸透流出を抑える観点が必要不可欠と考えられる。

そこで、本研究で提案する地下水の硝酸性窒素汚染防止対策のイメージを図1に示し、これをEnhanced In Situ Denitrification (EISD) と名付けた。EISDは、地下水面より上の土壤に有機物溶液を供給することによって土壤中の脱窒細菌を活性化し、地下水面上に人工的な脱窒層を形成させることを目的とする。これにより、窒素肥料由来の土壤浸透水中の硝酸性窒素は、地下水に到達する前に無害な窒素ガスとして土壤中から除去され、地下水の硝酸性窒素汚染が防止できると考えられる。

また、有機物を直接地下水に供給しないことから、原

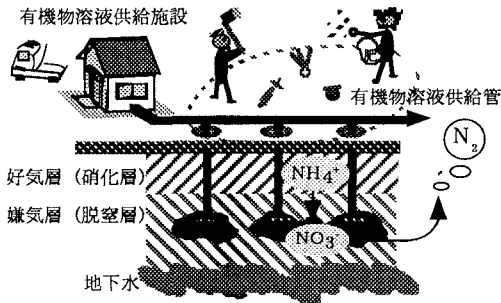


図1 Enhanced In Situ Denitrificationによる地下水の硝酸性窒素汚染防止対策イメージ

位置バイオレメディエーション問題点の一つである、有機物による地下水の副次的な汚染も防がれると考えられ、本対策方法の有効性を明らかにするために実験を行った。

3. 実験方法

実験には、粗砂および細礫を充填した直列二段の土壌カラム（長さ50cm、内径18cm）を二組用い、それぞれControl系、Test系と名付け、図2にはTest系実験装置の概略図を示した。Control系の実験装置は、Test系実験装置から下段カラムへの有機物供給設備を除いたものであり、これによりControl系は現状の農地を、Test系はEISDを適用した農地土壌を表した。

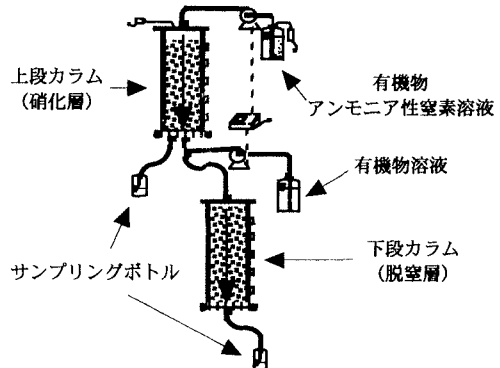


図2 実験装置概略図（Test系）

実験では、カラム内への硝化および脱窒細菌の接種を目的として、下水処理場の循環式硝化脱窒処理槽流下汚泥をそれぞれのカラムに添加後、上段カラムから有機物と100mg/lのアンモニア性窒素を主成分とする溶液を、タイマーによって制御したポンプによって800ml/日の流量、滞留時間約4日で供給し続けた。その後、Test系には、下段カラムへ化学量論的に対応する濃度の有機物溶液を供給し、それぞれの系のカラム流出水およびカラム内の微生物相を比較することによってEISDの有効性を検討した。

4. 実験結果および考察

a) カラム流出水の比較 上段カラム流出水中の硝酸性窒素濃度は、どちらの系においても約70mg/lであった。また、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、有機態窒素の蓄積は認められなかった。従って、流入した100mg/lのアンモニア性窒素は完全に硝化されており、それぞれの系の上段カラム流出水は、それぞれの下段カラムに同

様の窒素負荷量をもたらしていたものと考えられる。

そこで、図3に下段カラム流出水中の硝酸性窒素濃度の経日変化を示す。図3に示されるように、当初、どちらの系の流出水も上段カラム流出水と同等の硝酸性窒素濃度を含んでいるが、Test系においては有機物溶液の添加後に硝酸性窒素濃度が大幅に低下していることが明らかである。また、この間にも他の窒素成分の蓄積は認められなかった。

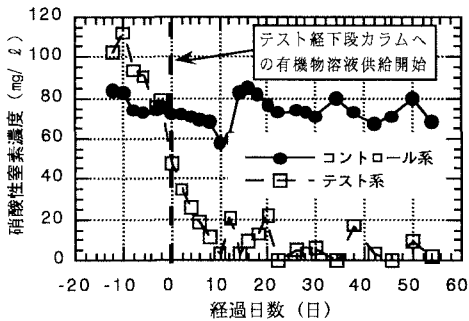


図3 下段カラム流出水中の硝酸性窒素濃度の経日変化

これは、好気的な上段カラムにおいて大部分の有機物が好気性細菌によって消費されたが、土壌下に供給した有機物が優先的に脱窒細菌に利用され、人工的に脱窒層の形成を促進させたことによって、浸透水中の硝酸性窒素が脱窒によって土壌中から除去されたものと考えられる。対照的に、Control系では有機物の枯渇に伴い、高濃度の硝酸性窒素を含む浸透水が流出し続けており、EISDの効果の高さが示された。

また、原位置バイオレメディエーションには、有機物の供給が副次的な地下水の汚染を引き起こすことがあるため、本実験ではカラム流出水のCOD_{Mn}を測定したが、問題となるようなCOD_{Mn}の上昇は認められず、EISDの安全性も示されたと考えられる。

b) カラム内微生物相の比較 表1に下段カラム内の全菌密度をDAPI染色によって、脱窒細菌密度をFISH法によって測定した結果を示す。この結果、Control系に対してTest系内土壌における脱窒細菌数の大幅な増加が認められ、有機物の供給がEISDの目的通りに土壌中の脱窒細菌数を増加させ、脱窒層の形成を促進していることが示された。

表1 下段カラム内の微生物数

カラム 深さ (cm)	全菌密度 (cells/g dry soil)		脱窒細菌密度 (cells/g dry soil)	
	Control系	Test系	Control系	Test系
1	3.0×10^6	1.1×10^8	不検出	0.4×10^6
10	1.0×10^6	2.7×10^6	不検出	0.1×10^6
20	0.7×10^6	1.2×10^6	0.2×10^6	0.1×10^6
30	0.4×10^6	1.5×10^6	不検出	不検出
40	0.3×10^6	0.6×10^6	不検出	不検出

5. 窒素成分変化のモデル化

本研究で提案するEISDは、土壌中で有機物を用いて微生物相を強化し、浸透水中の窒素成分濃度を制御するものである。そこで、硝酸性窒素汚染へのEISDによるアプローチの妥当性を評価するために、EISDを適用した土壌における窒素成分変化のモデル化を行った。具体的には、以下に示すアンモニア性窒素濃度と硝化細菌密度の土壌深さ方向への増減を表す式と、同様な有機物、硝酸性窒素濃度および脱窒、従属栄養細菌密度に関する6つの式によって構成されるモデルを構築し²⁾、初期値および境界条件を与えて解き、その結果を実験結果と比較した。なお、各動力学定数は文献値を参考に決定した。

$$\frac{dN_A}{dz} = -\frac{A \mu_{maxA}}{QY'_{NA}} \cdot \frac{N_A}{K_{SA} + N_A} X_A \quad (1)$$

$$\frac{dX_A}{dz} = \frac{A \mu_{maxA}}{Q} \cdot \frac{N_A}{K_{SA} + N_A} X_A - \frac{AK_{DA}}{Q} X_A \quad (2)$$

N_A =NH₄-N濃度 (mg/l), Z =土壌深さ (cm)

X_A =硝化細菌密度 (cells/cm³), A =断面積 (cm²)

Q =流量 (cm³/day), μ_{maxA} =最大比増殖速度 (day⁻¹)

K_{SA} =飽和定数 (mg/l), K_{DA} =死滅速度定数 (day⁻¹)

その結果を表2に示す。表2には示されていないが、モデルは土壌表層での硝化反応および有機物の供給による脱窒反応の促進などの現象が表現されており、また表2に示されているように、モデルによって求めた物質濃度はそれぞれTest系のカラム流出水中の濃度と一致しているものと考えられることから、EISDによる硝酸性窒素汚染へのアプローチの妥当性が評価されると思われる。

表2 実験結果と計算結果の比較

土壌深さ (cm)	測定項目	物質濃度 (mg/l)	
		実験結果	計算結果
40 (上段カラム 流出水)	NH ₄ -N	0.1	0.0
	COD	2.7	0.0
	NO ₃ -N	70.8	69.7
90 (下段カラム 流出水)	NH ₄ -N	0.1	0.0
	COD	4.3	0.0
	NO ₃ -N	7.2	13.0

6. おわりに

本研究は、原位置バイオレメディエーションを用いた新たな地下水の硝酸性窒素汚染対策の提案・有用性の評価を目的とし、その有用性を物質変化、微生物相の変化およびモデルによる理論的な観点から示すことができた。

参考文献

- 1) 早瀬達郎：米国・ECにおける地下水硝酸性窒素汚染の現状 (1) 農業および園芸, Vol.68, NO.5, pp.8-12, 1993.
- 2) George Tchobanoglous, Franklin L.Burton: WASTEWATER ENGINEERING Treatment, Disposal, and Reuse, McGraw-Hill, pp.403-409, 1991.