微生物機能の活用による酸性土壌の中和処理に関する研究

長野高専　学生会員　○吉岡久美子
長野高専　正会員　酒井美月

1. 目的

道路の造成や切土法面の施工など建設の現場において酸性土壌が露出する事例がある．日本においては切土法面の約 2 割が pH4.9 以下の強い酸性を呈するという報告がある[1)]．強酸性を示す土壌では法面緑化の失敗，コンクリート基礎の劣化崩壊などの問題が発生するため，様々な場面で酸性土壌の中性化が必要とされており，より適切な中性化対策および処理の方法を検討・開発することが重要である．現在，酸性土壌の中和処理として石灰などを土壌中に混合し pH を上昇させる方法が用いられている．しかしながら，石灰による中和処理では，pH が 8.0 以上になる場合があり，植生に影響を与える問題も起こる．近年，環境負荷の小さい新しい環境汚染浄化の技術として微生物機能を利用するバイオレメディエーションが注目されている．この技術は多様な汚染物質への適用可能性を有し，投入コストが理論的には少なく，一般的に浄化費用も低く済むと考えられている．そこで本研究では，尿素の加水分解酵素(ウレアーゼ)を持つ微生物を用い，尿素との反応を利用して酸性土壌を中和する技術の検討および適用を目的とし試験を行った．

2. 試験の概要

2-1. 微生物による中性化試験の概要

土壌中に尿素，およびウレアーゼ産出微生物（*l. Fusiformi*）を添加し土壌の化学的性質の改善効果（pH の上昇）が得られるかどうか検討した．あわせて，植生の復元に関連して種子の発芽効果についても検討する．本研究において着目したウレアーゼ産出微生物による酸性土壌の中和メカニズムを(式－1)(式－2)に示す．

$$NH_2(urea) + 2H_2 \rightarrow 2NH_3 + H_2CO_3 \quad (式\ 1)$$

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^- (\mathrm{pH}\uparrow) \quad (式\ 2)$$

2-2. 本研究での検討項目

本研究ではまず，酸性土壌を用いた室内試験（①）において，尿素と微生物培養液を添加する中性化試験とそれに伴うパラメータ（pH、アンモニア態窒素）の測定を行い，その結果を受けて実際の酸性土壌地帯を対象とした現地実証試験（志賀高原）を行った．それぞれにおいて植物の種子を用いた発芽試験を行い，また発芽試験の結果検討のため，再度室内試験（②）を行い関連パラメータの収集を行った．それぞれの実験に関する実施内容を表 1 に示す．すべての試験区で区画は 30×30cm とし，微生物培養液はコロニーカウントにより機能評価を行い十分に菌数の増加が確認された培養液を、対象区を除きすべての区画に同量用いた．

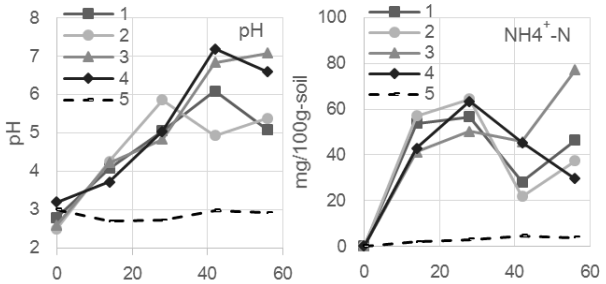
表 1　各実験の試験条件

	試験内容	試験区数	対象区	尿素条件	分析項目	緑化試験	結果
室内試験（①）	中性化機能の確認	n=1	n=1	初期 15ｇ	pH、NH_4^+-N	コマツナ 50 粒	1
		n=1		初期 15g		なし	2
		n=1		15g/2 週・3 回		コマツナ 50 粒	3
		n=1		15g/2 週・3 回		なし	4
現地実証試験	現地における中性化および緑化機能の確認	n=3	n=1	初期 15g	pH、NH_4^+-N	なし	1
		n=3		初期 15g	気温、地温	コマツナ 50 粒	2
		n=3		初期 15g	（2 期間）	野芝 50 粒	3
室内試験（②）	植生に関係する要因の確認	n=1	なし	初期 15g	pH、NH_4^+-N、NO_3^--N	なし	1
		n=1		初期 5g			2

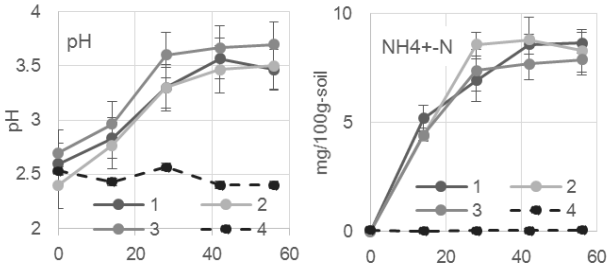
3. 結果

3-1. 室内試験

木枠を用いた室内での中和および発芽実証試験の結果，pH は最終的に平均値で 7 付近まで上昇した試験区もあり，降雨などの自然的要因がない状況での，中性までの中和の処理効果が確認できた（図 1）．また，尿素の添加方法を複数回添加とした場合でも，pH の上昇率に著しい変化はなかった．目視による観測で，種子は 3 日目ごろから発芽の兆候が見られたが，そのまま腐敗し，成長しなかった．室内試験では，微生物培養液の降雨等の影響による地下浸透がないため，試験区に窒素が残留し続け，アンモニア態窒素あるいは硝酸に起因する窒素過剰の状態になってしまったのではないかと考えられる．



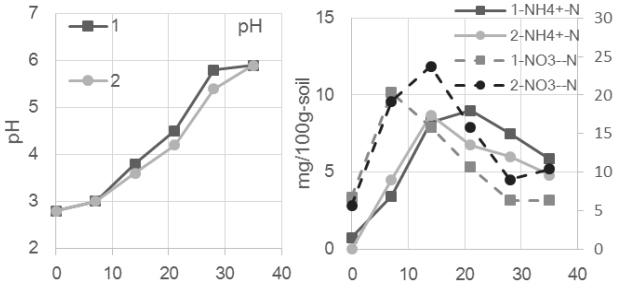
図－1 室内試験結果①



図－2 現場実証試験結果

3-2. 現地実証試験

種子の播種から約 1 週間測定した気温・地温測定結果から現地の温度は 15℃から 30℃の間で推移しており，コマツナの発芽適正温度内であることを確認した。pH は初期値 2.5 前後から 28 日後にはおよそ 1 上昇し，3.5 前後に達した（図 2）．種子の添加は初期添加時から一週間の期間および pH がある程度上昇した後の添加の二度に分けて行ったが，発芽および生長は確認できなかった．pH の上昇が進みにくい、アンモニア態窒素濃度が低い、など室内試験における結果と異なった理由として，降雨による表面流出や地下浸透など自然的な要因による尿素，および微生物培養液の物理的な不足，流亡などが考えられる．



図－3 室内試験結果② 発芽試験関連の検討結果

3-3. 発芽試験関連の検討項目－室内における硝酸分析試験

上記の室内試験において種子の発芽が確認されたもののその後の生長が見られなかった理由として窒素過剰が疑われたため，アンモニア態窒素に加え，硝酸性窒素の濃度を確認するために，再度室内試験を行った．結果を図-3 に示す．pH は微生物培養液の添加とともに上昇し，最大で 6 程度まで上昇した．アンモニア態窒素濃度も pH と同様の傾向にて上昇し，そのピーク濃度に尿素の添加量による差異は見られなかったが，尿素の添加量が 5g の試験区で 15g の試験区より濃度の減少が大きいことがわかった．硝酸濃度の推移は，両試験区ともに微生物培養液添加後 1 週間程度の間に急激に上昇し，その後減少の傾向を示した．またアンモニア態窒素に比べ初期濃度は高く減少傾向が著しい結果となった．微生物の初期添加からある期間が経過した後ではアンモニア態窒素，硝酸態窒素ともに減少傾向に至るため，今後の実験において，窒素過剰が懸念される状況下では，植生検討は微生物添加後 1 か月程度の期間を置いてから行うことが好ましいと考えられる．

4. 結論

ウレアーゼ産生菌は，尿素の加水分解によってアンモニウムイオンの生産速度を速めることが確認出来た．また，室内試験及び現地実証試験の結果以下のことが分かった．室内での実証試験の結果，pH は 7.0 付近まで上昇し，中和に成功した．現地実証試験では，上昇効果は確認できたものの，pH は 3.5 から 4 程度にとどまった．現地において，pH4.5 程度の土壌からは植生が確認できているため，更なる条件検討が必要である．

5. 参考文献 1)鈴木素之，横矢直道，西村昌也，都築俊輔，岡本憲治，山本哲朗、「法面工の劣化を生じた酸性土の工学的性質とその残土改良」、土木学会論文集Ｃ Vol. 64 (2008) No. 2 P 327-339

6. 謝辞 志賀高原を管理する財団法人和合会から試験地をご提供いただいた．ここに記して謝意を表する．