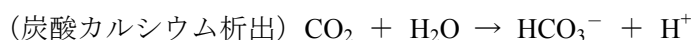


微生物の働きが地盤固化に与える影響についての基礎実験

独立行政法人土木研究所 正会員 ○稲垣由紀子 塚本 将康
同 上 森 啓年 佐々木 哲也
ケンブリッジ大学 正会員 曾我 健一 Ahmed Al Qabany
国立長野工業高等専門学校 正会員 畠 俊郎

1. はじめに

次世代の地盤改良の方法として、微生物代謝により二酸化炭素と土の間隙中のカルシウム源から炭酸カルシウムを析出させて土を固化させる方法（炭酸カルシウム法）が期待される¹⁾。著者らは、微生物として“*Bacillus Pasteurii*”（ATCC11859）を用い、その尿素分解作用による以下の反応を利用して、地盤中で炭酸カルシウムを析出させて地盤改良を行う技術について検討している。



ここで用いられるカルシウム源と尿素について、微生物を活性化させ、効率的に炭酸カルシウムを析出させる最適な濃度を把握する必要があると考えられる。そこで、シリンジ内の供試体で実験を行い、カルシウム源や尿素の濃度が地盤固化効果にどのような影響を与えるか調べた。

2. 実験方法

実験は、図-1 に示すような手順で行った。容量 60ml のシリンジに 25ml の蒸留水、試料土の豊浦砂 60g を投入し、微生物(*Bacillus Pasteurii* 培養液)を注入した後、栄養塩を試料土の上から毎回 25ml ずつ注入した。

栄養塩はカルシウム源（塩化カルシウム）と尿素の濃度を表-1 に示す組成とし、各組成の栄養塩の注入は、1日1回ずつを7日間、14日間の繰返し、1日2回ずつを4日間、7日間の繰返しの4条件で行った。試料土は飽和状態とし、このとき試料土の表面と排水側で水頭が等しくなり、次回栄養塩が注入されると、前回注入されて間隙中に存在していた栄養塩が押し出され、排水されるしくみとした(図-2)。

栄養塩の通水期間終了後、シリンジ内の試料土を取り出し、試料土の間隙中に析出した炭酸カルシウム(CaCO_3)の量を塩酸での酸分解により調べた。

3. 実験結果

実験結果は、 CaCO_3 析出量と CaCO_3 析出効率で比較した。

ここで、 CaCO_3 析出効率は、1. で示した化学反応式上、尿素と塩化カルシウム(CaCl_2) 1mol ずつから CaCO_3 1mol が析

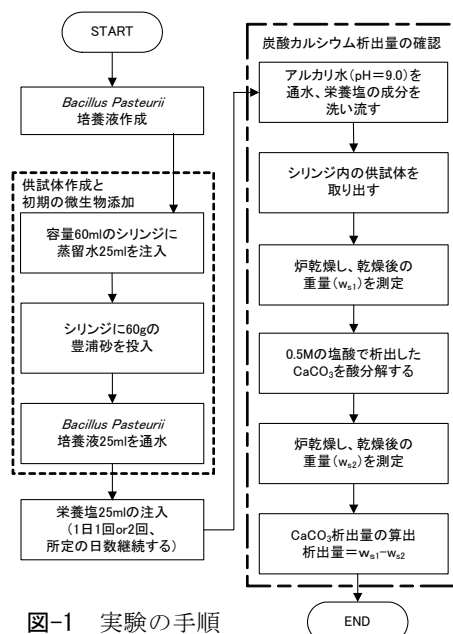


図-1 実験の手順

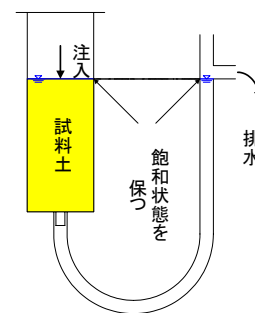


図-2 実験の概要

表-1 尿素およびカルシウム源の濃度と栄養塩の組成（蒸留水 1L 当り）

CaCl ₂ ・尿素濃度	0.25mol/L	0.5mol/L	0.75mol/L	1.0mol/L	1.5mol/L
ニュートリエントプロス	3g				
NH ₄ Cl(塩化アンモニウム)	10g				
NaHCO ₃ (炭酸水素ナトリウム)	2.12g				
CaCl ₂ (塩化カルシウム)	27.745g	55.49g	83.235g	110.98g	166.47g
CO(NH ₂) ₂ (尿素)	15.015g	30.03g	45.045g	60.06g	90.09g
蒸留水1L中の成分総重量	57.88g	100.64g	143.40g	186.16g	271.68g
塩類濃度(%)	5.788%	10.064%	14.340%	18.616%	27.168%

キーワード：地盤改良、微生物、栄養塩

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 （独）土木研究所土質・振動チーム TEL:029-879-6771

出されるため、栄養塩の成分として注入された尿素と CaCl_2 のモル数に対する析出した CaCO_3 のモル数の百分率とした。 CaCO_3 析出効率が低いほど、注入された尿素やカルシウム源が CaCO_3 の析出に有効利用されたといえる。

CaCl_2 と尿素の濃度（以下、注入濃度）と CaCO_3 析出量、 CaCO_3 析出効率の関係をそれぞれ、図-3、図-4 に示す。実験結果は、栄養塩の注入条件（1 日当りの栄養塩注入回数と通水日数）毎に整理している。図-3、図-4 中の各プロットの値は、各注入濃度と注入条件の組合せ毎に供試体 3 本ずつで試験を行った結果の平均値としている。

いずれの注入条件でも、注入濃度を 0.5mol/L とした場合に CaCO_3 析出量が最も多くなり、 1.0mol/L や 1.5mol/L にすると CaCO_3 の析出がほとんど見られなかった。また、注入条件別に比較すると、注入濃度が 0.25mol/L 、 0.5mol/L では、 CaCO_3 析出量が注入回数や通水日数とほぼ比例関係となった。 0.75mol/L における CaCO_3 析出量は通水日数とほぼ比例関係であったが、 1.0mol/L 、 1.5mol/L では析出量そのものが少なく、注入条件による析出量の違いもほとんど見られなかった。（図-3）

CaCO_3 析出効率は、いずれの栄養塩の注入条件においても、注入濃度が 0.25mol/L や 0.5mol/L の場合が高く、注入濃度が 0.5mol/L 以上になると、注入濃度の増加につれて CaCO_3 析出効率が下がり、 1.5mol/L ではほぼ 0 になった。全体的に注入条件による CaCO_3 析出効率の違いは、あまり顕著ではなかった。（図-4）

以上のような結果から、 CaCl_2 や尿素の濃度を多くすることが必ずしも CaCO_3 析出量の増加にはつながらなかったといえる。微生物の代謝による CaCO_3 析出の反応の進み具合に限界があり、 CaCO_3 析出量を増やすのに最適な濃度があると考えられる。

最適な濃度を決める要素の 1 つとして、微生物の耐塩性（耐えることのできる塩類濃度）が考えられる。塩類濃度を、蒸留水に溶かした栄養塩の成分総重量の蒸留水重量に対する比率と仮定すると、注入濃度を 1.0mol/L や 1.5mol/L とした場合、塩類濃度が 20% 前後にもなり、“*Bacillus Pasteurii*” がほとんど活動できず、 CaCO_3 析出の反応が進まなかったことが考えられる。

4. まとめ

豊浦砂に微生物を *Bacillus Pasteurii* 培養液として添加し、その尿素分解作用を利用する場合について、シリンジ内の供試体で実験を行い、試料土へ注入する栄養塩に含まれるカルシウム源と尿素の濃度の違いが炭酸カルシウムの析出に与える影響を調べた。

その結果、カルシウム源と尿素の濃度には、炭酸カルシウムを多く析出させるための最適な濃度があることが示唆され、これには、要因の 1 つとして微生物の耐塩性が関係しているものと考えられる。

5. 今後の課題

今回、地盤固化の効果は CaCO_3 析出量で評価したが、今後は炭酸カルシウム析出量と強度の相関を調べ、より定量的な評価を行っていきたい。

<参考文献>

- 1) Victoria S. Wiffen, Leon A. van Paassen and Marien P. Harkes: Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique, Geomicrobiology Journal, 24, pp.417-423, 2007

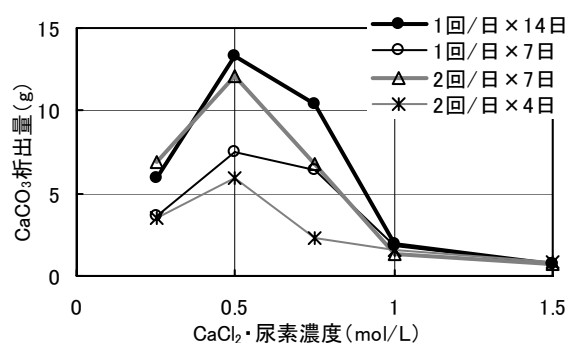


図-3 塩化カルシウム、尿素濃度と CaCO_3 析出量の関係

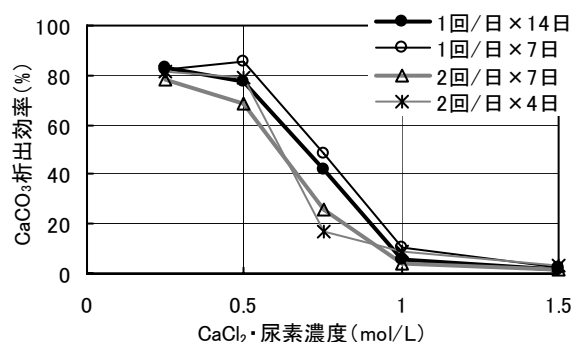


図-4 塩化カルシウム、尿素濃度と CaCO_3 析出効率の関係