

微生物による炭酸カルシウム析出速度が粘性土の強度増加に及ぼす影響

佐賀大学 ○学 船戸翔平 正 柴 錦春
正 根上武仁

1.はじめに

地盤改良技術の中には、バイオミネラリゼーションと呼ばれる生物による無機鉱物の生成を利用したものがある。尿素分解菌による炭酸カルシウムの析出促進効果で土の強度改良を行う^{1,2)}。バイオミネラリゼーションによる地盤改良は主に砂地盤を対象としている。本研究では、尿素分解菌を用いた地盤改良技術の粘性土への適用について検討した。2種類の尿素分解菌を用い、その炭酸カルシウムの析出促進効果について調べ、粘性土の強度増加における炭酸カルシウムの析出速度の影響について実験的に検討を行った。

2.尿素分解菌

本研究で用いた尿素分解菌は、パストゥーリ(外来種)と白ナタ豆由来(国産)のものである。パストゥーリの場合、蒸留水にトリス、硫化アンモニウム、酵母エキスを加えて作製した培養基にパストゥーリを加えた溶液“パストゥーリ溶液”、白ナタ豆の場合、豆を粉碎した後に脱脂処理した“ナタ豆粉末”実験に用いた。尿素分解菌の代謝によって尿素は NH_4^+ と CO_3^{2-} に分解される。つまり、尿素分解菌の活性は、生成された NH_4^+ の濃度を測定することで間接的に確認できる。図-1 に尿素溶液 0.4mol/l にパストゥーリ溶液 10ml/l (菌の濃度未測定)、ナタ豆粉末 0.4g/l をそれぞれ混合した場合の NH_4^+ 濃度の経時変化を示す。パストゥーリ溶液を用いたものはナタ豆粉末を用いたものに比べて、 NH_4^+ 濃度の増加は緩やかである。

3.炭酸カルシウムの析出

炭酸カルシウム(CaCO_3)の析出促進効果を確認するために、2つのパターンの試験を実施した。まず、蒸留水に尿素分解菌と尿素・ CaCl_2 を加えて作製した溶液(以後バクテリア改良溶液と呼ぶ)を3週間養生したものをパターン①とする。また、蒸留水に尿素分解菌と尿素を加えた後に1~14日養生し、その後 CaCl_2 を加えて更に3週間養生したものをパターン②とする。パターン①および②ともに、所定の期間養生して、各溶液をろ過し、ろ紙ごと炉乾燥して質量を測定した。測定した質量からろ紙の質量を除いたものを CaCO_3 の析出量、加えた CaCl_2 内の Ca^{2+} の量に対する析出した CaCO_3 内の Ca^{2+} の量の比を CaCO_3 の析出率とした。パストゥーリ溶液を使用したパターン①、②の試験結果を表-1、表-2にそれぞれ示す。図表中の“0.4mol-10ml”のような記載は、“尿素・塩化カルシウム 0.4mol/l - パストゥーリ溶液 10ml/l”を表している。

パターン①については、栄養塩濃度(尿素、塩化カルシウム)が低いほど CaCO_3 の析出率が高い結果となった。これは、パストゥーリの耐塩性が10%³⁾であることから、0.6mol-10ml, 0.8mol-10mlにおける析出率が低くなったと考えられる。パターン②については、0.4mol-10mlの条件で作製した溶液の事前養生期間(CaCl_2 を加える前の養生)が長くなると析出量が高い結果となった。事前養生期間が長いと尿

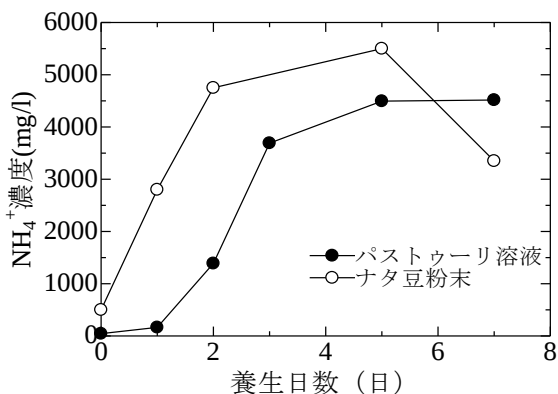


図-1 溶液の NH_4^+ 濃度変化

表-1 パターン①における析出量と析出率

	0.4mol-10ml	0.6mol-10ml	0.8mol-10ml
析出量(g)	1.439	0.969	1.564
析出率(%)	7.20	2.42	1.96
栄養塩濃度(%)	6.84	10.26	13.68

表-2 パターン②における析出量と析出率

	養生なし	1日	2日	3日	5日	7日
析出量(g)	0.994	1.127	1.42	1.681	1.566	2.029
析出率(%)	4.97	5.64	7.1	8.41	7.83	10.15

素分解菌の活性化によって、より多くの Ca^{2+} が生成されたためと考えられる。

4. 粘性土の強度増加に関する検討

CaCO_3 析出実験パターン①の条件で作製したパストゥーリによるバクテリア改良溶液を粘性土に混合した。これを一定期間養生した後、室内ベーンせん断試験を実施した。なお、溶液濃度は粘性土の間隙水も考慮して調整した。後述する CaCO_3 析出実験パターン②についても、溶液濃度調整は同様の条件で行った。図-2 に各ケースの S_u 値とパターン①での CaCO_3 の析出量を示す。供試体の強度増加の推移と CaCO_3 の析出量の推移が類似していることから、 CaCO_3 の析出量と改良粘性土の S_u とに相関関係があることがわかる。

次に、 CaCO_3 析出実験パターン②の条件で作製したパストゥーリ溶液によるバクテリア改良溶液を粘性土に混合した。これを一定期間養生した後、室内ベーンせん断試験を実施した。図-3 に各ケースの S_u 値とパターン②での CaCO_3 の析出量を示す。事前養生することで CaCO_3 の析出量が高くなり、それにほぼ比例して強度も高くなった。しかし、ナタ豆粉末を用いた場合、事前養生により CaCO_3 の析出量は高くなる傾向があるにも関わらず、養生していない溶液を加えた供試体の強度が高くなった（図-4）。これらの違いは、ナタ豆粉末の活性速度が、パストゥーリ溶液よりも速いことが影響している（図-1）。尿素とナタ豆粉末の溶液を数日間養生した後、 CaCl_2 を加えた場合、数分間で CaCO_3 が粉体として析出した。 CaCO_3 が土粒子やその集合体間のセメンテーション物質として機能せず、強度が低くなったと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下のようである。

- ・白ナタ豆由来の尿素分解菌は、パストゥーリに比べて活性速度が速く、事前養生した尿素とナタ豆粉末の溶液に CaCl_2 を加えた場合、粉体の CaCO_3 が析出した。
- ・白ナタ豆由来の尿素分解菌の場合、菌の活性速度が速いので、事前養生なしの溶液（尿素・ナタ豆粉末・ CaCl_2 を同時に混合したもの）を粘性土に混合、パストゥーリの場合、菌の活性速度が遅いので、尿素・パストゥーリ溶液を事前に養生した後、 CaCl_2 を加えることが粘性土の強度改良の効率が良い。

謝辞： 本研究を行うに際し、佐賀大学農学部小林元太教授には実験装置の便宜を図っていただいた。記して、感謝します。

参考文献： (1) Mitchell, J. K. and Santamarina, J. C.: Biological Considerations in Geotechnical Engineering, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Eng., 131(10), pp.1222-1233, 2005. (2) 寺島麗、島田俊介、小山忠雄、川崎了：微生物代謝により固化するシリカ系地盤注入材バイオグラウトの基礎的研究、土木学会論文集C、Vol.65、No.1、pp.120-130、2009. (3) 稲垣由紀子、佐々木哲也、川崎了：微生物の種類による土の固化効果の違いに関する実験的検討、土木学会第 68 回年次学術講演会（平成 25 年 9 月）

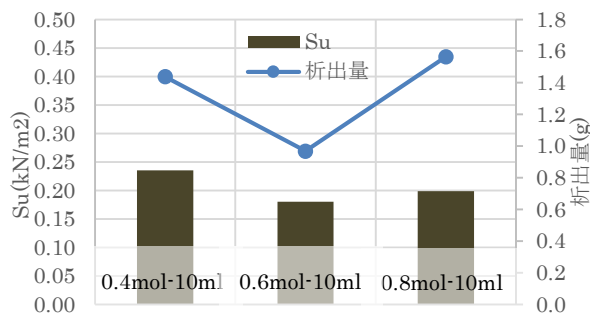


図-2 パターン①のバクテリア改良溶液を用いた析出量と S_u の関係

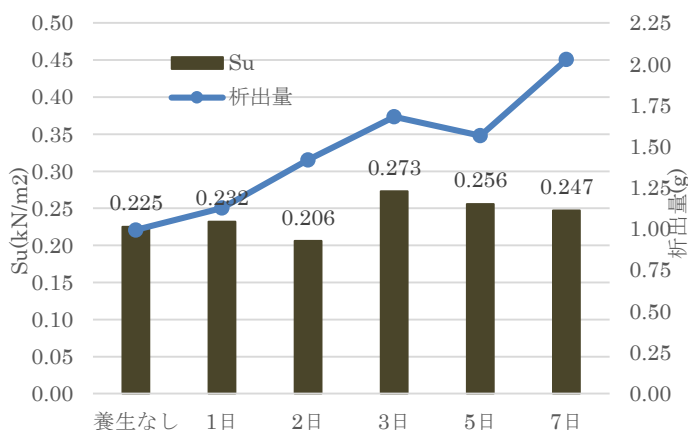


図-3 パターン②のバクテリア改良溶液を用いた析出量と S_u の関係

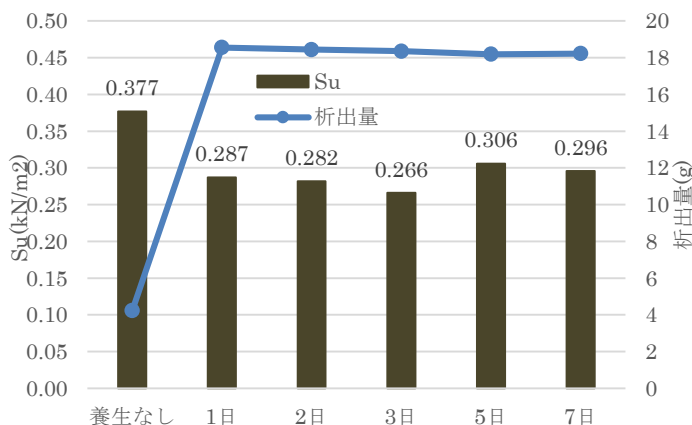


図-4 ナタ豆粉末を用いた析出量と S_u の関係