

生体触媒反応を活用した砂供試体固化効果の実験的検討

愛媛大学 学生会員 ○鹿渡 洸一 和歌山工業高等専門学校 正会員 林和幸
愛媛大学 正会員 安原英明 愛媛大学 正会員 木下尚樹

1. はじめに

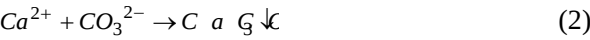
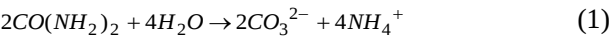
土木工事では地盤が軟弱な場合地盤改良を施す。しかし、これまでの技術では再利用不可能な汚泥の発生、重金属の溶出がみられるなど環境負荷が懸念される。そこで微生物の代謝を利用したバイオグラウト¹⁾の研究が近年進んでいる。しかし、この技術も微生物の死滅・生成などの不確定要素が多く制御が困難である。そこで微生物の代謝に直接関わる生体触媒を人為的に地盤内に与え地盤を改良する方法が検討されている。生体触媒であるウレアーゼの尿素加水分解作用を用いて炭酸カルシウムを析出させた地盤の強度増加について研究した結果を報告する。

2. ウレアーゼ

ウレアーゼとはタチナタマメより結晶化され、タンパク質であることが証明された生物学史上著名な酵素である。性質としては、至適 pH は中性から弱アルカリ性で、ウレアーゼの活性は 2950u/g である。1u とは、1 分間に基質の 1μmol を変換する酵素量である。ただし、至適 pH, 30℃ になる。また、この酵素は尿素以外の物質に対しほとんど反応することがない。

3. 実験概要

本研究で利用する化学反応式を以下に示す。



(1)式は尿素の加水分解反応である。この反応の触媒としてウレアーゼを用いる。これにより発生する炭酸イオンとカルシウムイオンの結合により炭酸カルシウムが析出される。本研究ではカルシウムイオン源として電離度の高い塩化カルシウムを用いた。実験条件、実験概要をそれぞれ図 1, 2 に示す。供試体は豊浦砂にウレアーゼの粉末を混入し、よく混ぜた状態で三軸セル内に作製した。作製後塩化カルシウム－尿素溶液を注入した。注入は供試体を飽和状態にするために供試体下部から注入した。最後の溶液注入後 24 時間養生し、精製水で副産物の塩化アンモニウムなどを除去する。その後セル内から供試体を取り出し 48 時間炉乾燥し、一軸圧縮試験を行った。乾燥質量 M_p は砂供試体質量と炭酸カルシウム析出量の合計だとすると炭酸カルシウム析出量は乾燥質量から実験前の供試体質量 M_s を引いたものとなる。

case-1 をベースとして溶液濃度, ウレアーゼの混入量による影響をみるために表 1 の配合条件を定め、ケースごとに 2 つ供試体を作製した。一軸試験後の供試体の一部を採取し、X 線回折を行い析出物は炭酸カルシウムであることを確認した。また走査型電子顕微鏡 (SEM) で結晶の砂粒子への付着の仕方、結晶の構造などの微視的観察も行った。図 1 は結晶析出後の砂粒子である。きれいな形をした結晶が多量に析出している。

表 1 配合条件

実験ケース	溶液濃度	注入回数	ウレアーゼ混入量
case-1	0.5mol/L	8 回	1.0g/砂 300g
case-2	1.0mol/L	4 回	1.0g/砂 300g
case-3	0.5mol/L	8 回	0.5g/砂 300g

表 2 実験概要

砂	豊浦砂
供試体作成方法	空中落下法
相対密度 D_r	50%
有効拘束圧 σ_c'	50kPa
供試体直径 ϕ	5cm
供試体高さ h	10cm
供試体質量 M_s	300g

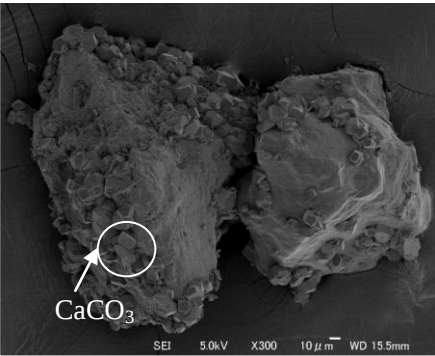


図 1 SEM 画像 (改良後の砂)

3. 一軸圧縮試験結果

一軸圧縮試験の結果を図2, また一軸圧縮強さと炭酸カルシウム析出量の関係を図3に示す. 図1より明らかなように, 1.0mol/L の溶液を4回注入するcase-2の①が最も大きな一軸圧縮強さ($q_u=1620\text{kPa}$)となっている. この曲線のみ応力値は2段階で大きくなっている. ところが, もう一方の②曲線を見てみると同じ注入条件にもかかわらず, 約半分の一軸圧縮強さとなっている. 同様にcase-1でも一軸圧縮強さはばらつきがでている. case-3はともに小さな値になっているが, これはウレアーゼの混入量が相対的に少ないことが原因であると考えられる.

次に図3を見てみると低濃度で注入回数を増やした方が炭酸カルシウムの析出量が多い. またウレアーゼの量により炭酸カルシウムの析出量が減少していることも分かる. 図3より①は②より炭酸カルシウムの析出量が少ないのにもかかわらず, 一軸圧縮強度が大きくなっている. また, case-2は炭酸カルシウムが多く析出しているにもかかわらず強度は出していない. このことから炭酸カルシウム析出量のみが一軸圧縮強さに関係しているわけではないことがわかる. 以上のことから炭酸カルシウム析出量を制御するだけでは, 関係改良される地盤の強度特性を精度よく推定することは困難であることが判明した.

4. まとめ

本研究では, 生体触媒であるウレアーゼの尿素加水分解作用を用い, 炭酸カルシウムを砂供試体内に析出・定着させ固化した供試体の強度特性の検討として一軸圧縮試験を実施した. 最も固化した供試体の一軸圧縮強さは1.6MPaとなった. これは軟岩程度の強さであることから今回の実験による改良効果は十分得られたと考える. 再現性を得るために同様の実験条件で行ったが, 一軸圧縮強さは弱く同等の強度を持つ供試体は作製することはできなかった. また, 炭酸カルシウム析出量と一軸圧縮強さを比較すると, 析出量が多くても強度に結びついていないことがわかった. しかし, 溶液濃度を変えることにより炭酸カルシウム析出量はある程度制御はできる. 炭酸カルシウム析出による強度発現メカニズムについては, 炭酸カルシウムの析出量だけでなく, 析出している場所やその構造について検討する必要がある.

【参考文献】

- 1) 川崎了, 村尾彰了, 広吉直樹, 恒川直美, 金子勝比古: 微生物の代謝活動により固化する新しいグラウトに関する基礎的研究, 応用地質, 第47巻, 第1号, pp.2-12, 2006
- 2) Nemati, M., Greene, E. A. and Voordouw, G.: Permeability profile modification using bacterially formed calcium carbonate: comparison with enzymic option, Process Biochemistry, No.33, pp.925-933, 2005.

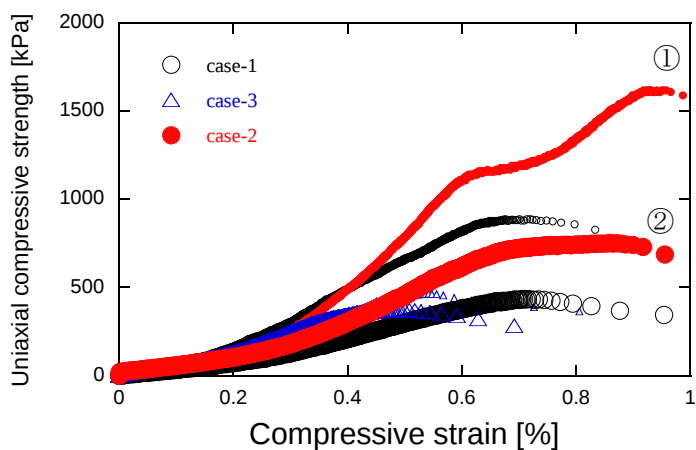


図2 応力-ひずみ曲線

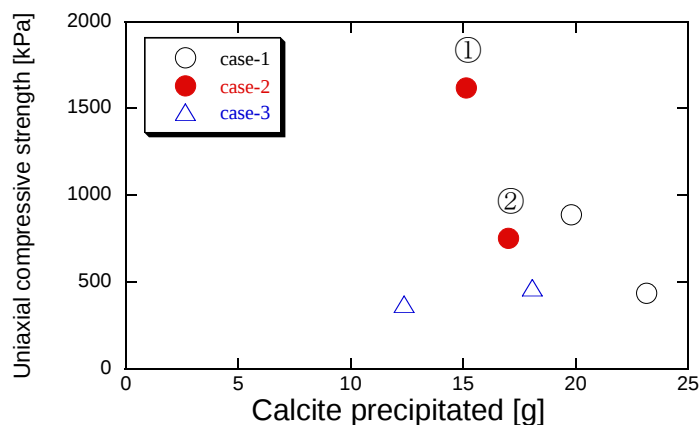


図3 炭酸カルシウム析出量と一軸圧縮強さの関係