

土中微生物の代謝を利用した土の力学・透水特性の改良効果に関する基礎実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○林 和幸

愛媛大学大学院 正会員 安原 英明

愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対

1.はじめに 海水中で炭酸カルシウムが作られるメカニズムを人為的に土中で再現し、土粒子表面に炭酸カルシウムを析出させることができれば、極めて自然環境に優しい地盤改良が可能になると言える。既往の研究では¹⁾、微生物を含む砂の供試体にカルシウムおよび微生物の栄養を含むアルカリ性の水溶液を注入することで炭酸カルシウムが析出し、土の透水性が改良されることが透水試験およびX線回折分析結果を基に示されている。一方、微生物の有無による力学特性の改良効果や透水性の経時変化の違いは明らかにされていない。そこで、微生物の有無について条件を変え、圧密排水条件で三軸圧縮試験を行い力学特性の違いを把握するとともに、その有無による透水性の経時変化の違いについて実験的に検討した。

2.実験概要

微生物を利用した地盤改良工法の基本的なメカニズムは以下のとおりである。すなわち、グルコースなどの栄養を与えられた飽和土中の微生物は、嫌気呼吸により体外に二酸化炭素を放出し(式(1))、間隙水中に炭酸イオンが生じる(式(2))。この時、間隙水がカルシウムイオンを有し、かつアルカリ性であれば炭酸カルシウムが生成され(式(3))、これが土粒子間の接着剤としての役割を果たすことで土の強度や剛性が増加することとなる。基本メカニズムの概要を図1に示す。

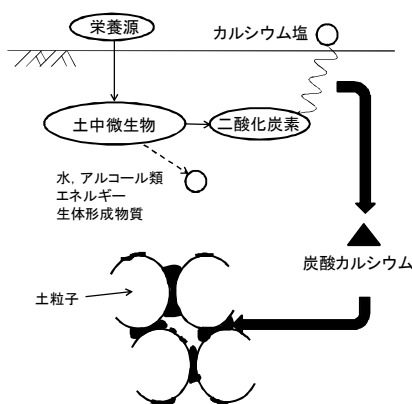


図1 基本メカニズム

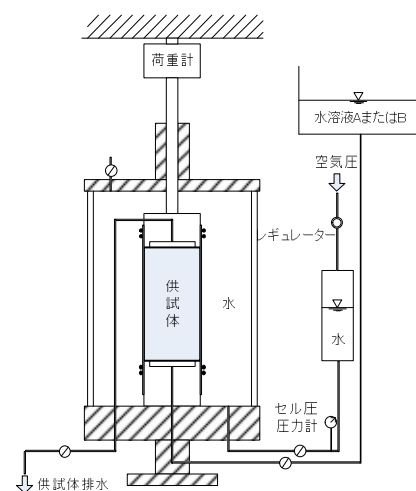
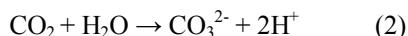
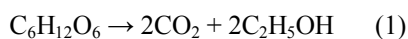


図2 実験装置概要



本研究の一連の実験では、図2に示す三軸圧縮試験用セルを用い、透水性の経時変化および三軸圧縮試験を行った。乾燥した東北硅砂7号に対し質量比0.5%の粉末酵母菌を砂に均等に混ぜ合わせ空中落下法で供試体を作成し、これに①カルシウム濃度、pHを海水に合わせ成分配合した水溶液A (Ca^{2+} : 0.01mol/L, pH8.0, 1次透水) → ②酵母菌の栄養源であるグルコースを含む水溶液B (2次透水) → ③水溶液A (3次透水)の順で注入した。グルコースを含む水溶液Bの注入後、流量が概ね1.8ml/minとなるように供試体上流側のコックの開度を調整し、コックの開度および水頭差一定の状態で2~3時間ごとに流量を計測するとともに、排水のpHを計測した。流量

表1 注入材成分構成(質量比)

成分	水溶液A	水溶液B
硝酸カルシウム四水和物	0.23%	0.23%
グルコース	—	1.00%
pH8.0 Tris 緩衝溶液	21.22%	21.01%
精製水	78.55%	77.76%

表2 実験ケース

実験ケース	相対密度	酵母菌	水溶液	
			A	B
CASE1	36%	有	有	有
CASE2	37%	無	有	有
CASE3	44%	無	精製水	

キーワード：微生物、地盤改良、炭酸カルシウム

連絡先：愛媛大学大学院 理工学研究科 地盤工学研究室 〒790-8577 松山市文京町3 TEL・FAX 089-927-9817

が安定した時点で炭酸カルシウムの析出が完了したと判断し、三軸圧縮試験に移行した(側圧 30kPa)。注入した各水溶液の成分を表 1 に示す。実験は、酵母菌と溶液 A、B の有無を変え、表 2 に示す 3 ケース実施した。

3.実験結果と考察

図 3 に、水溶液 A および B を注入する CASE1 と CASE2 について、3 次透水時の流量の経時変化を示す。砂に酵母菌を含む CASE1 の流量は時間とともに低下し、透水開始 1000 分後以降は初期流量の概ね 20% で安定した。酵母菌を含まない CASE2 では、CASE1 と同様に時間とともに減少するが、透水開始 300 分後には流量が安定し、最終的な流量は初期流量の 64% と、CASE1 と比べ高い値を示した。図 4 に、CASE1 と CASE2 の 3 次透水時の pH の経時変化を示す。CASE1 の初期 pH は 5.4 であり弱酸性を示した。これは、2 次透水時に供試体に注入されたグルコースにより酵母菌が呼吸を行い、排出された二酸化炭素が間隙水に溶解した結果、pH が酸性を示したと考えられる。一方、CASE2 の pH は初期値が 7.7 と高いことから、炭酸カルシウム析出に必要な二酸化炭素の濃度は CASE1 と比べ低いと考えられる。

図 5 に、CASE1~3 の三軸圧縮試験結果を示す。最大軸差応力は、酵母菌を含み二酸化炭素の供給を図った CASE1 で最も大きく、その値は酵母菌を含まずカルシウム、グルコースを含む水溶液 A、B とも注入していない CASE3 と比べ 64% 大きい。一方、酵母菌は混入していないものの水溶液 A、B のみ供給した CASE2 では、CASE3 と比べ最大軸差応力が 37% 大きくなった。これは、①炭酸カルシウムは pH が高いほど析出されやすく、CASE2 では透水中を通して常に高い pH を保っていたこと、および、②pH8.0 となるように配合した溶液の pH が、実験では 0.3 ほど低下しており溶液の気液界面で大気中の二酸化炭素が微量に溶解したことから、炭酸カルシウムが析出される条件が整い間隙中に析出した可能性が考えられる。

4.まとめ

酵母菌の有無を変えた透水試験および三軸圧縮試験結果から、以下のことが明らかとなった。

- 1) 本工法を実施することで、透水性が 1/5 に低下する。
- 2) 最大軸差応力は、30kPa 下において無処理の砂と比べ 6 割ほど大きくなる。
- 3) 砂の力学・透水特性の改良効果は、土中微生物の存在下で大きくなる。

5.参考文献

- 1) 川崎ら：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

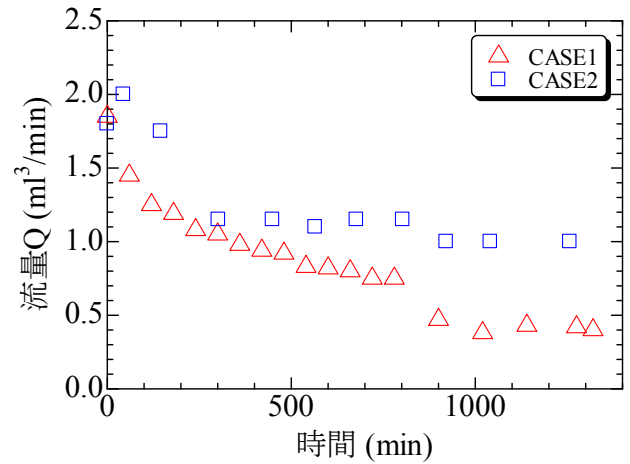


図 3 流量の経時変化

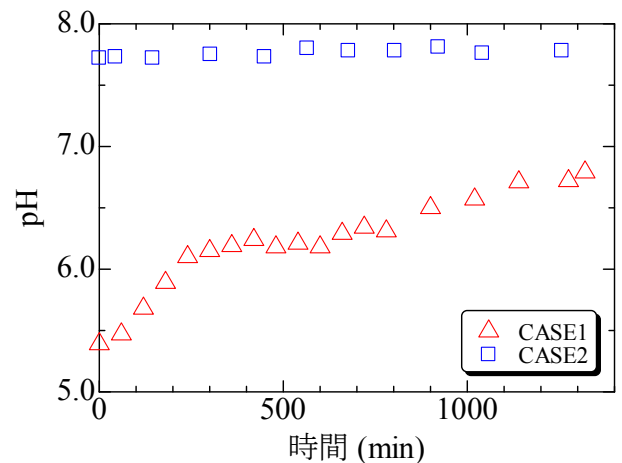


図 4 pH の経時変化

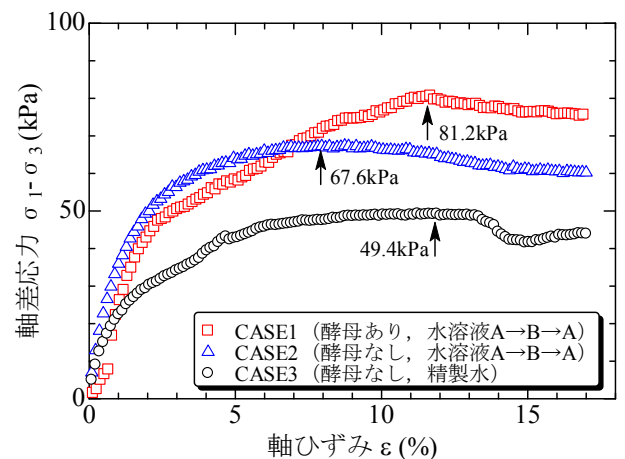


図 5 軸差応力-ひずみ関係