

微生物代謝を利用した地盤改良工法に関する実験的研究

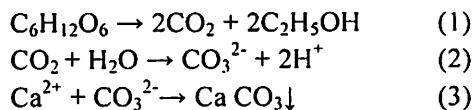
愛媛大学大学院 学生会員 ○林 和幸
 愛媛大学大学院 正会員 安原 英明
 愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対
 愛媛大学 非会員 杉本 知弘

1.はじめに

地球上に広く存在する石灰岩は、原始海水に溶け込んだカルシウムと二酸化炭素を基に微生物などが作った炭酸カルシウムの殻が堆積してできたものである。このメカニズムを地盤改良工法として応用し、土中微生物の代謝を利用して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⁾、透水係数の改良効果は確認されているものの、工学的利用において最も重要な力学特性の改良効果は明らかにされていない。そこで本研究では、これを解明するための基礎的検討として、微生物を混入させた砂の供試体にカルシウム源および代謝に必要な栄養源を注入し三軸圧縮試験(CD 試験)を行い、砂のみの供試体の三軸圧縮試験結果と比較し、本工法による力学特性の改良効果について検討した。

2.実験方法

本工法を概念を図1に示す。また、着目する化学反応式を以下に示す。



栄養を与えられた土中微生物は、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る(式(3))。本研究では、①カルシウム源として硝酸カルシウム四水和物、②微生物とその呼吸に必要な有機栄養源として、両者を兼ね備えた市販のドライイーストおよび③アルカリ環境保持のため pH8.0 のトリス緩衝溶液の混合溶液をグラウト剤として砂の供試体に注入し三軸圧縮試験を行った。炭酸カルシウムは、前述のようにアルカリ性の環境下で析出される。そこで本研究では、一連の反応過程でアルカリ性が保たれるグラウト剤の成分比を試験管内であらかじめ検討し、供試体に与えた。グラウト剤の配合比を表1に示す。

実験には、110℃の高温乾燥炉で12時間乾燥させた東北硅砂7号($\rho_s=2.64$, $e_{\max}=1.11$, $e_{\min}=0.651$, $D_{50}=0.13\text{mm}$)を用い、デシケーター内で冷却後、直径 ϕ 50mm×高さ H=100mm の供試体を空中落下法で作成した。実験ケースの概要を表2に示す。CASE1では、脱気した精製水で供

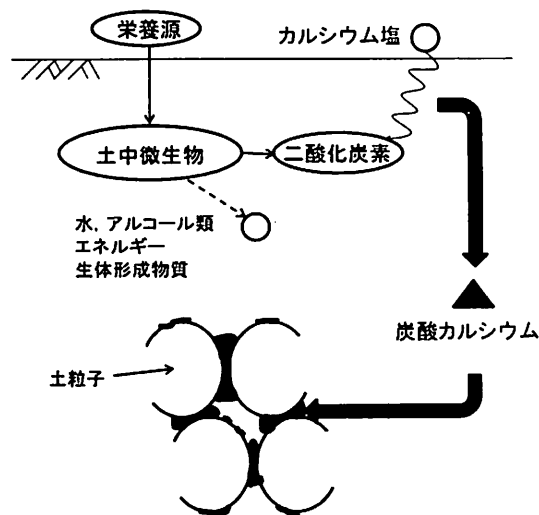


図1 工法の概念

表1 グラウト剤配合比

成分	質量
硝酸カルシウム四水和物	6.5g
ドライイースト	0.2g
トリス緩衝溶液	263.3g
配合後の pH	7.80

表2 実験ケース

実験ケース	CASE1	CASE2
グラウトの有無	有	無
使用する砂	東北硅砂7号	
相対密度 Dr	21.6%	21.9%
試験方法	CD 試験	

試体を飽和させ 100kPa で圧密後、グラウト剤を供試体下部から浸透させた。供試体の排水がアルカリ性であることを pH 計で確認後供試体へのグラウト剤供給を止め、炭酸カルシウム結晶析出時間として 24 時間静置した後、三軸圧縮試験を行った。グラウト剤を使用しない CASE2 では、圧密後、三軸圧縮試験に移行した。CASE1 については、三軸圧縮試験後の供試体の X 線回折分析を行い、間隙における炭酸カルシウムの析出の有無を確認するとともに、供試体注入前のグラウト剤と注入後 24 時間経過した供試体の排水について ICP 発光分析を行い、供試体上下流のカルシウムイオン濃度を定量評価した。

3.実験結果

各ケースの軸差応力-軸ひずみ曲線を図 2 に、体積ひずみ-軸ひずみ曲線を図 3 に示す。グラウト剤を供試体に供給した CASE1 の最大軸差応力は 310.4kPa であり、CASE2 の 269.2kPa と比べ 15%高い値を示した。軸ひずみ初期の接線勾配は、グラウトを供給した CASE1 の方が CASE2 より大きい。また、グラウト剤を供給した CASE1 における軸ひずみ初期の体積圧縮は 0.31%であり、CASE2 の 1/2 程度であった。

図 4 に、CASE1 の X 線回折分析結果を示す。図中の 40° 付近に Calcite のピークがあることから、CASE1 の供試体内には炭酸カルシウムが析出していたことが分かる。また、ICP 発光分析では、供試体上流のグラウト剤のカルシウムイオンが 2503ppm であるのに対し、下流の排水では 2462ppm と 41ppm 低下した。これら 2 つの分析結果から、供試体内ではグラウト剤に含まれるカルシウム成分が消費され、炭酸カルシウムが析出していたと言える。

4.まとめ

三軸圧縮試験および X 線回折分析結果から、微生物を含む砂の強度は、カルシウム、微生物の栄養源およびアルカリ成分を含む環境下で大きくなることが明らかとなった。本実験では、グラウト剤供給停止 24 時間後を試験的に三軸圧縮試験開始時間としたが、静置時間とともに炭酸カルシウムが増加し、より大きな強度や剛性が得られた可能性がある。今後は、強度特性の改良のメカニズムや、配合成分比による発現強度の違いあるいは強度発現の経時変化など、詳細な検討を進める予定である。

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。

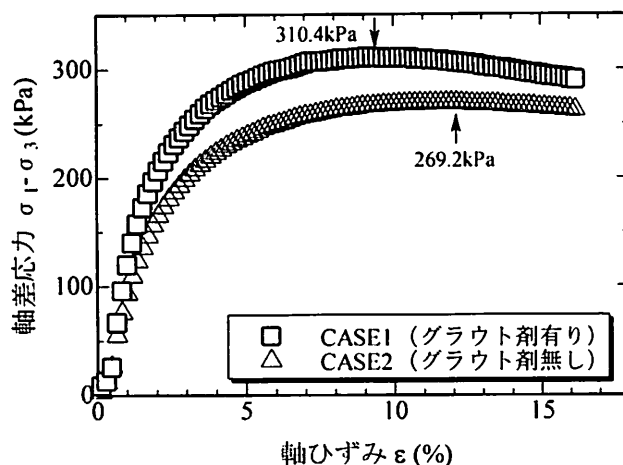


図 2 軸差応力-軸ひずみ曲線

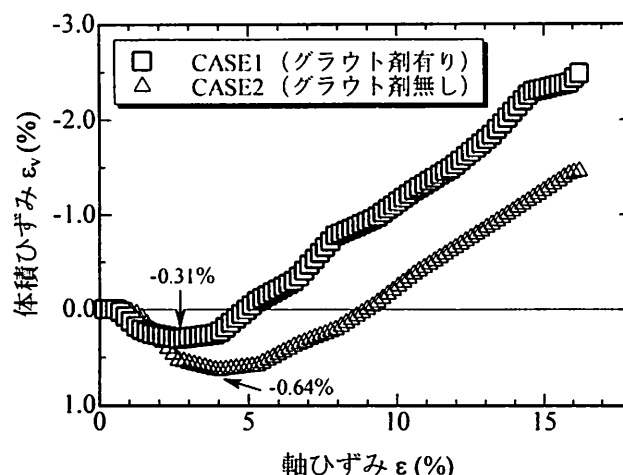


図 3 体積ひずみ-軸ひずみ曲線

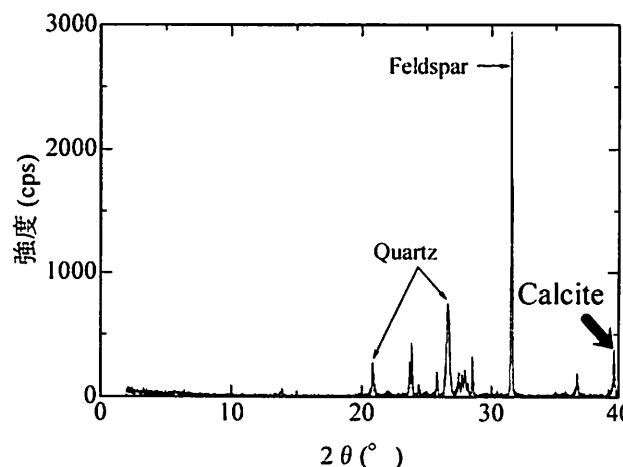


図 4 X 線回折分析結果