

(様式第5号)

実施課題名

粘土空隙内を対象とした炭酸カルシウム結晶析出メカニズムの解明
Explication of the calcite precipitation mechanism into the clay pore

著者・共著者 氏名

畠 俊郎(Toshiro HATA), 生駒 聖(Satoru IKOMA)

著者・共著者 所属

広島大学 (Hiroshima University)

1. 概要 (注：結論を含めて下さい)

微生物機能を活用した地盤改良技術の開発にあたり、粘土の空隙内に触媒反応を利用して析出させた炭酸カルシウムの空間分布状況を X 線 CT により可視化する手法の有効性について検討した。検討の結果から、液相で反応させた場合と比較して粘土空隙内で析出する炭酸カルシウムは周辺からの拘束による影響を受け結晶サイズが小さくなるとともに、液の浸透道に沿って析出が進むことが明らかとなった。

一方、蛙目粘土自体を対象とした X 線 CT 観察の結果でも輝度の高い（密度の高い）領域が確認されたため、純粋に生物触媒より析出した炭酸カルシウムのみを画像から得る方法について今後も検討が必要であることが明らかとなった。

(English)

In this experiment, the effectiveness of a technique to visualize the spatial distribution of calcium carbonate precipitated by biocatalytic agents in the clay pore was observed with the BL07 X-ray CT imaging channel. The main results suggested that the size of calcium carbonate precipitation has the relationship between the annual void was smaller than that in the liquid phase, due to the constraint from the surroundings. On the other hand, the X-ray CT images of the frog-eye-clay situation also showed dense areas of high brightness. This result suggests that the method of obtaining purely biocatalytic precipitated calcium carbonate from the pictures should be studied in the future.

2. 背景と目的

近年、環境に配慮した新しい地盤改良技術として生物由来の酵素反応を利用して炭酸カルシウムの析出を促進させる技術に関する関心が高まっている。この Enzyme Induced Calcite Precipitation(EICP) もしくは Microbially Induced Calcite Precipitation(MICP) と呼ばれる技術は主に砂質土を対象として研究開発が進められてきた。一方、本研究課題で対象としている粘性土については、透水係数が低く浸透に時間がかかること、砂質土地盤内に析出させた炭酸カルシウムのサイズが対象とする粘土粒子、粘土地盤内の間隙サイズより大きいことから炭酸カルシウムの析出により地盤が膨張する方向に働き強度の低下や透水性の向上が起こる可能性が指摘されていた。しかしながら、従来の産業用やマイクロフォーカス X 線 CT ではこの現象を可視化することが困難であり、実際に供試体内で膨張が起こっているのか？粘土の空隙内に析出している炭酸カルシウムの形状や空間分布状況など明らかにしなければならない課題が多い。そのため、本研究課題では蛙目粘土中に酵素反応を利用して炭酸カルシウムの結晶を析出させ、この析出状況や析出物の空間分布状況をシンクロトロン光を利用して可視化する手法の有効性について検討することとした。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

試料は市販のPEEKチューブ (外径1/16) を用いることとした。このチューブ中に酵素触媒反応により炭酸カルシウムの結晶化を促進させた溶液を注入して結晶を析出させた試験区 1 (液相反応区)、粉体状の蛙目粘土のみを充填させた試験区 2 (未反応区)、蛙目粘土と試験区 1 で用いた溶液を混合し、スラリー上で充填させPEEKチューブ内にて炭酸カルシウムの結晶を析出させた試験区 3 (反応区) の 3 ケースについてBL07を用いたX線CT撮影を行った。これら試験区一覧を表-1に示す。

表-1 試験区一覧

試験区名称	反応系	内容物	処理条件	備考
試験区 1	液相	固化溶液	固化溶液 2 回通水	
試験区 2	固相	蛙目粘土	粉体にて充填	
試験区 3	固相	蛙目粘土+固化溶液	蛙目粘土と固化溶液を混合したスラリーを 1 回充填	

4. 実験結果と考察

CT 撮影のデータをもとに作成した 3 次元画像を図-1 に示す。

a)に示した PEEK チューブ中に粉体状の蛙目粘土を充てんした試験区 1 についても若干ではあるが高輝度領域が確認された。蛙目粘土中に含まれている高密度粉体を反映したと考えられるため、蛙目粘土中に含まれる元素組成分析などを別途行い事前に影響を把握しておく必要があることが明らかとなった。

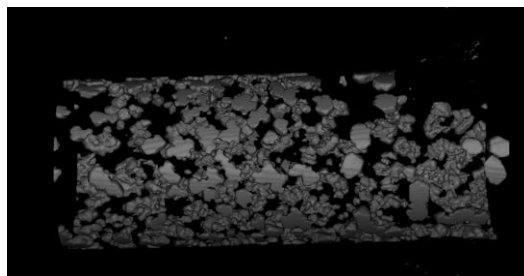
次に、PEEK チューブ内で液相反応させた試験区 2 の結果を図-1b)に示す。PEEK チューブの壁面に沿って析出した炭酸カルシウムが付着している状況を可視化することができた。以上より、液相での結晶析出状況の可視化には十分な解像度を有することを明らかにすることができた。

両者を組み合わせた c)では、a)と比較して高輝度領域が増加するとともに、検出された高輝度析出物のサイズが b)よりも小さくなる傾向を可視化することができた。

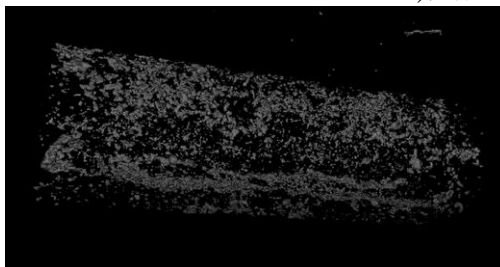
以上の結果は、固化溶液由来で析出する炭酸カルシウムの結晶サイズが析出可能な空隙のサイズから影響を受けることを表していると考えられる。この空隙サイズについては別途ポロシメーターによる最高分布測定などを通じて関連性を確かめていきたいと考えている。



a)蛙目粘土のみ



b)炭酸カルシウムのみ



c)粘土空隙中に析出した炭酸カルシウム

図-1 再構成後の空間分布状況

5. 今後の課題

今回の結果から、FS 利用で課題となった供試体の作成方法については改善が進みより均質な状態で作成した供試体の撮影が行えるようになった。

一方、蛙目粘土そのものを粉体状で充填したケースにおいても X 線 CT 画像から高輝度を示す領域が存在することが明らかとなった。生物触媒による結晶析出を組み合わせたケースはより高密度 (高輝度) 領域が存在することを確認できたため、生体触媒により生成される炭酸カルシウムを X 線 CT

により把握することはできるが、「いつ」、「どこに」析出したかまでを把握することは困難な結果となった。そのため、蛙目粘土の粉体を充填したカラムを装置内に設置し、溶液浸透前の空間分布を撮影した後に固化溶液を浸透、透過画像により2次元での結晶析出状況を確認したうえで最後に X 線 CT による詳細な空間分布を把握する等の方法を検討する必要があると考えている。

6. 参考文献

梶俊郎, 米田純, 山本浩司: 微生物応用工学, 資源工学との連携による海底資源開発分野における地盤工学の展開について (仮称): 他分野とのコラボレーション, 地盤工学会誌, 2019 年 3 月号

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

現在のところ特許出願は行っていない

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を 2~3)

蛙目粘土, カルサイト, X 線 CT

9. 研究成果公開について

① 論文 (査読付) 発表の報告 (報告時期: 未定)