

## ナノ X 線 CT を用いた微生物代謝による改良地盤材料の内部構造の可視化

熊本大学 (学) 新山裕介 (正) 椋木俊文 熊本大学院 阪本凌雅 羊嘉儀  
 琉球大学 (正) 松原仁 琉球大学大学院 屋比久雄斗 明和製紙原料株式会社 駒津慎

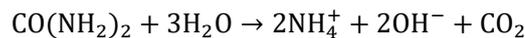
### 1. はじめに

21世紀にはいると微生物代謝を利用した改良地盤材料 (MICP) の開発に関する実験的研究が注目されるようになった。適切なpH環境下であれば、カルシウム源と微生物代謝によって炭酸カルシウムを析出するという手法はほぼ確立されており、さらに近年はそれを数値シミュレーションする研究も登場している<sup>1)</sup>。数値モデルの検証には実験データが不可欠であるが、電子顕微鏡による表面観察だけでは構造全体を評価することは困難である。そこで本研究では、熊本大学に導入されたナノX線CTスキャナを用いてMICP供試体を撮影し、その内部構造を可視化することにより、検証画像データの作製を試みたので報告する。

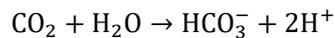
### 2. MICP供試体の作製

本研究の固化処理土は、尿素分解菌<sup>1)</sup>の代謝により生じた二酸化炭素と砂質土内に注入したカルシウム源の化学反応から炭酸カルシウムを析出させた試料である。化学反応式については以下のとおりである。

a: 尿素分解反応式<sup>2)</sup>



b: 炭酸カルシウム析出反応式



母材には珪砂5号を使用し、24日間の気中養生を実施した。本実験では、1画素500 nmで撮影するために、母材の平均粒径を考慮して内径5 mmのストロー内部に供試体を作製した。また、本研究では固化処理土に靱性特性を具するための研究も進めており、古紙繊維を混入させた試料も作製した。

### 3. X線CT

#### 3.1 Skyscan2214

Skyscan2214は、2021年に熊本大学に新規導入されたナノフォーカスX線CTスキャナである。Skyscan2214では、質量20 kgまで試料台に搭載可能で、最大スキャン範囲は、直径300 mmである。試料直径が2 mmの時、ピクセル分解能500 nmを発揮し、高分解能測定を行うことが出来る。X線起電圧と管電流はそれぞれ20 kVから160 kVまで、最大200 mAまで可変できる。本撮影では電流：80 mA、電圧：100 Vとした。

#### 3.2 画像処理・解析

ノイズ除去には対象画素からの距離に応じて近傍画素値に重みをかけるGaussianフィルタを適用した。土粒子、炭酸カルシウム、空隙の領域分割には、X線CT画像のヒストグラムから試行錯誤的に閾値を決定し諧調変換を行うことにより、最適な表示閾値を決定した。

### 4. ナノCT画像

#### 4.1 固化処理土

図1は、珪砂5号を母材とする炭酸カルシウム固化処理土の断面画像である。黒い領域が空隙、暗めのグレーの色の部分が珪砂5号、明るいグレーの色の部分が析出した炭酸カルシウムである。マイクロフォーカスX線CTスキャナでは捉えることが困難であった炭酸カルシウムの析出が明確に可視化できている。これまでは

電子顕微鏡で確認されてきた析出パターンには2つあるとされてきた<sup>1)</sup>。一つは土粒子表面に小さく点在する析出パターンであり、もう一つは土粒子間を接続するようないわゆるブリッジングタイプである。図1は、いずれもが観察できている。また図1は一断面だけの画像であるが、図2は固化処理土内部の三次元画像である。Nishimuraらは3次元シミュレーターを開発しており<sup>1)</sup>、CT画像を用いたいわゆるIn-situ数値解析を実施することにより、モデルのさらなる検証が期待できる。

4.2 古紙を含むMICP供試体

図3は、MICP供試体作製材料に古紙を混入したナノCT画像である。図1と比較すると炭酸カルシウムが粒子表面に析出した状況が図1の画像ほど容易に観察できない。今回、土粒子と古紙のみを混入した供試体を撮影していないため、断定はできないが、水分を保水可能な古紙の方が尿素分解菌の生育条件に適していると考えられ、炭酸カルシウムは古紙繊維を中心に析出していることが考えられる。そのため炭酸カルシウムの形状も繊維のように細長くなったと考えられる。図4は図3を三次元で表したものである。同図より、古紙繊維の周りに析出した炭酸カルシウムを可視化できていることが分かる。このように古紙繊維を加えることにより炭酸カルシウムの析出場所、形状が大きく変化することが確認できた。

5. おわりに

ナノX線CT撮影条件をさらに精度を向上させることにより、古紙を含むMICP供試体のCT画像において明確な領域分割が可能となることから、今後はさらに撮影条件を検討していく所存である。

参考文献

- 1) Nishimura, I., Matsubara, H. Coupling simulation of microbially induced carbonate precipitation and bacterial growth using reaction-diffusion and homogenisation systems. *Acta Geotech.* **16**, 1315-1330 (2021).
- 2) 屋比久雄斗ほか, 浜比嘉島より採取した微生物による砂質土固化実験, 環境地盤工学シンポジウム論文集, 423-428(2021).

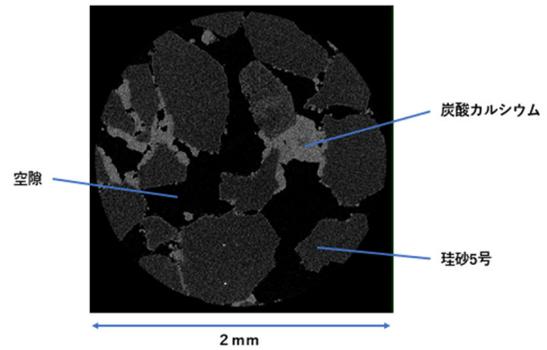


図1 MICP 供試体のナノ CT 画像

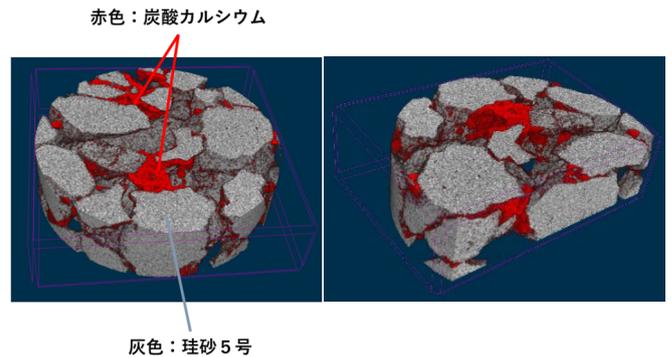


図2 MICP 供試体の三次元ナノ CT 画像

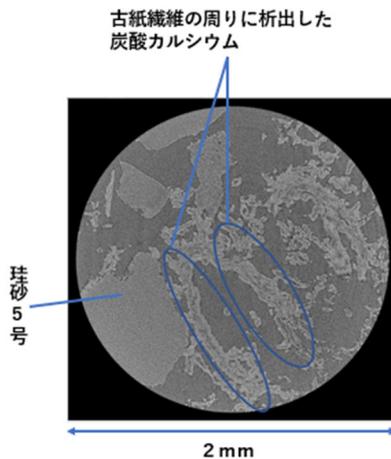


図3 古紙を混入させた MICP 供試体のナノ CT 画像

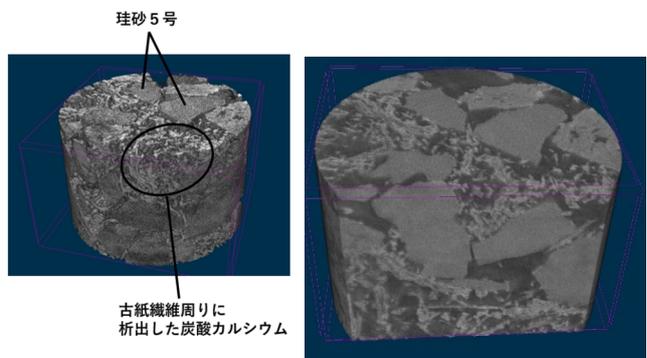


図4 古紙を混入させた MICP 供試体の三次元ナノ CT 画像