

## 尿素分解菌を用いた地盤固化の栄養塩注入方法に関する実験的検討

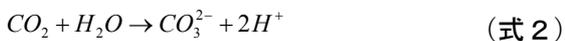
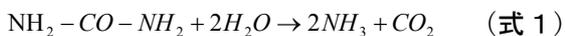
東京大学大学院 工学系研究科 学生会員 ○細尾 誠  
東京大学生産技術研究所 正会員 桑野玲子

### 1. はじめに

これからの地盤改良技術のひとつとして、微生物の機能を用いた地盤固化の可能性が報告されている<sup>1)</sup>。本研究では尿素分解に着目し、*Bacillus Pasteurii* (以下 *Pasteurii* と称す。)による地盤固化の効果をシリンジ試験により確認すると共に、栄養塩等の効率的な配合、注入回数を検討するための基礎実験を行った。

### 2. 地盤固化のメカニズム

土粒子間隙に炭酸カルシウム (以下  $\text{CaCO}_3$  と称す。)を析出させ、土粒子同士の固結を生成することで地盤の固化を図る。 $\text{CaCO}_3$ の析出のために土中の間隙水にカルシウムイオンと炭酸イオンを供給する(式3)。*Pasteurii*は、尿素をアンモニア( $\text{NH}_3$ )と $\text{CO}_2$ に分解する加水分解酵素のウレアーゼを持つので、尿素と *Pasteurii*の作用から炭酸イオンを得ることができる(式1, 2)。カルシウム源には塩化カルシウム溶液を用いた。



### 3. シリンジ試験の概要

土試料は豊浦砂を用い、 $\phi 29.5\text{mm}$ のシリンジに栄養塩 17ml と *Pasteurii* 培養液 3ml (約  $2\times 10^6\text{cells/ml}$ )を注入し、水中落下法で高さ 48mm, 相対密度約 90%を目標に供試体を作成した。栄養塩は、Case A に対して濃度 2 倍のものを Case B, 3 倍のものを Case C として 3 種類作成した(表1)。養生期間を最長 3 日間とし、Case A は 1 日 1 回 *Pasteurii* の混入していない栄養塩 20cc を注入した。栄養塩はシリンジ上部から 20cc を注入し、その後シリンジ下部から 20cc を排出することでシリンジ内に常に 20cc の栄養塩が保たれるようにした。Case B, C には供試体作成時以降栄養塩の注入を行っていない。したがって、添加した栄養塩の総量は、Case A の 2 日目と Case B の 2 日目、Case A の 3 日目と Case C の 3 日目がそれぞれ対応している。固化の程度を示す指標として、径 3mm の貫入針を作成し、深さ 45mm まで毎分 10mm で貫入させ抵抗を測定した。また、貫入試験後に供試体間隙水を採取し、カルシウムイオン濃度および pH を測定した。間隙水採取後の供試体は蒸留水を注入して残留栄養塩を十分洗い流した後、炉乾燥させ重量を測定した。なお、これらの測定は同じ条件に対して全て 2 本ずつ行った。

表1 栄養塩の組成

	A	B	C
ニュートリエントブロス	3	6	9
尿素	30	60	90
塩化カルシウム	70	140	210
塩化アンモニウム	10	20	30
炭酸水素ナトリウム	2	4	6

※配合量は全て g/L

### 4. 結果および考察

測定された貫入抵抗を図1に示す。飽和豊浦砂の貫入抵抗と比べて大きな抵抗を示していることは明らかであり、*Pasteurii*の効果が確認された。また、栄養塩濃度により大きな差が生じ、養生3日目ではCase Aの最大値が150~200Nであるのに対し、Case Bでは30N, Case Cでは10N程度と供試体作成時の栄養塩濃度が高いものほど小さな貫入抵抗を示している。間隙水のカルシウムイオン濃度および pH の推移を図2に示す。pH は、栄養塩濃度が高いCaseほど低くなる傾向を示している。カルシウムイオン濃度については、Case Aでは1日ごとに添加した量のほとんどを消費しているのに対し、Case B, Cは養生3日目でそれぞれ初期の1/2, 1/3を消費する程度にとどまっている。使用した砂の重量に対する試験後に増加した重量の割合を図3に示す。

キーワード 微生物機能,尿素,炭酸カルシウム

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6845

蒸留水による洗浄で残留栄養塩が全て洗い流されたと想定すると、増加した重量が  $\text{CaCO}_3$  によるものと考えられる。破線で示した理論最大値とは、添加したカルシウムイオンが全て  $\text{CaCO}_3$  として析出した場合の重量増加を示している。また、白抜き記号でプロットした計算値とは、図3で示した間隙水中の前後2日におけるカルシウムイオン濃度を考慮し、減少したカルシウムイオンが  $\text{CaCO}_3$  として析出していると考えて計算した。Case A では時間の経過とともに重量が増加し、養生3日目で6%程度となり、理論最大値に近い値となっている。Case B では約2%、Case C では約1%と貫入抵抗が大きいほど重量の増加も大きいことがわかる。

本実験では、濃度が低い栄養塩を頻回に注入する方が固化の発現に効果的という結果になった。栄養塩が高濃度になると微生物の活性が高まるのを鈍らせてしまうことが推察される。また、高濃度の栄養塩では pH が低下したため  $\text{CaCO}_3$  の析出が促進されなかったことも考えられるが、詳細は今後明らかにしていきたい。

5. まとめ

*Bacillus Pasteurii* の持つウレアーゼを利用し、シリンジ内で豊浦砂の固化を試みた。カルシウム源および栄養塩の最終的な添加量が同一でも、低濃度で分割して注入する方が効率的に固化を図れることが確認された。また、間隙水のカルシウムイオン濃度を測定することで供試体の固化状況を推測できる可能性も示唆された。なお、本実験の供試体では固化の発現が不均質であった。今後はより最適な栄養塩濃度および注入間隔を検討すると共に、供試体を一様に固化させる方法についても考慮する必要がある。

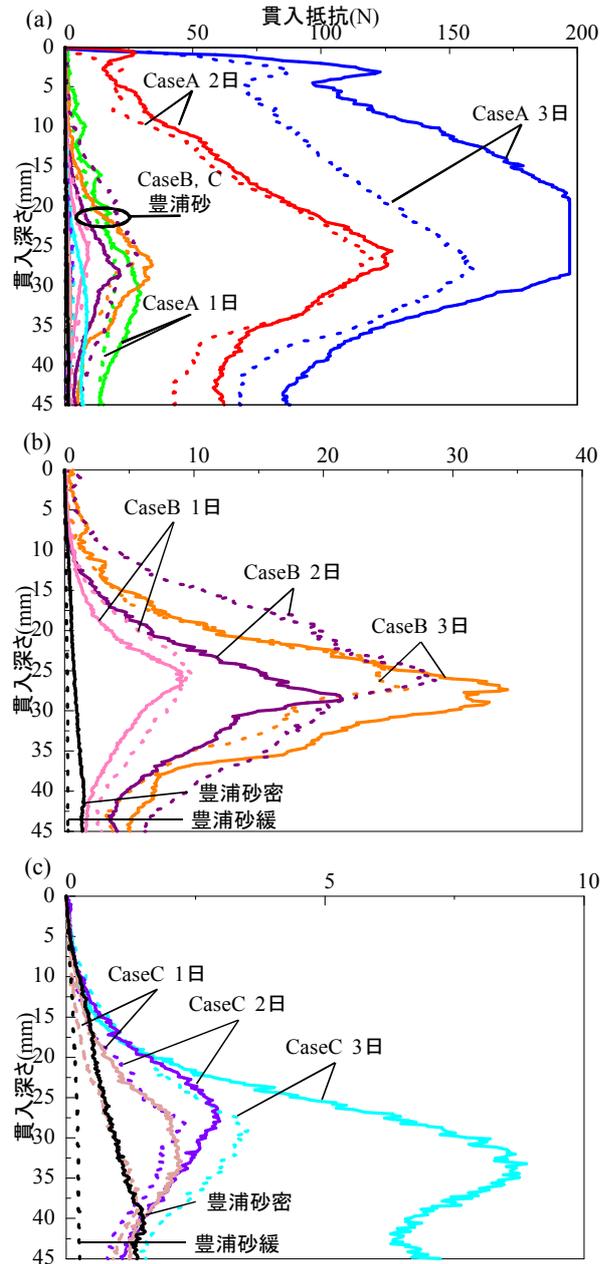


図1 CaseA(a), CaseB(b)および CaseC(c)の貫入抵抗

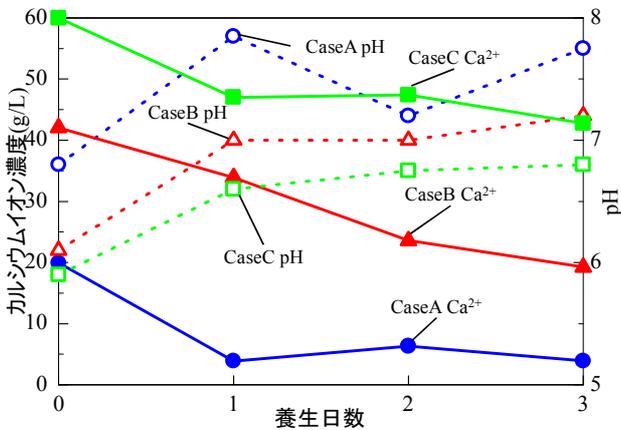


図2 カルシウムイオン濃度と pH

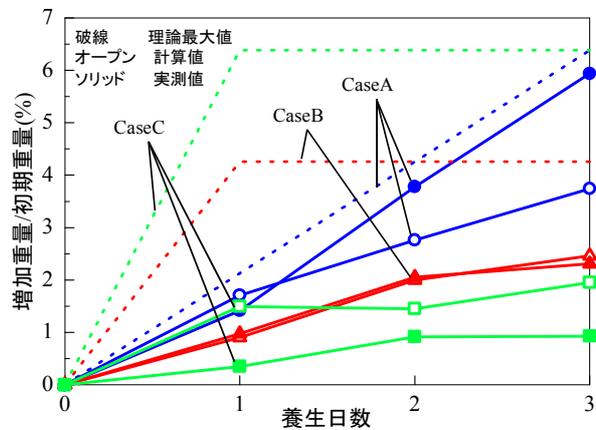


図3 増加重量比

参考文献：

1) Jason T. DeJong, Fritzges, M.B. and Nüsslein, K. (2006), "Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.132, No.11, pp.1381-1392.