

栄養塩の供給状況および微生物の残留が砂の固化状況に与える影響

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○稲垣 由紀子 正会員 加藤 俊二  
正会員 佐々木 哲也

1. はじめに

微生物代謝による二酸化炭素と土の間隙中のカルシウム源から炭酸カルシウムを析出させて土を固化させる炭酸カルシウム法において、著者らのこれまでの検討<sup>1)</sup>で、栄養塩（固化に必要な成分や微生物の活性化のための成分を含む水溶液）を間欠注入で与える方が、連続注入で与えるのに比べ、全体の均一な固化には比較的有利であることが確認された。この時、連続注入では栄養塩が流量一定で砂の表面に直接滴下され、その付近のみが集中的に固化した状況が考えられた。そこで、滴下時の栄養塩の集中を防ぐために常時砂表面より上方に栄養塩の水面がある状態で栄養塩を連続注入する場合も含め、連続注入による均一な固化の可能性について検討した。また、栄養塩の注入方法の違いが微生物の間隙中への残留や固化に与える影響を比較した。

2. 実験方法

本実験では微生物として“*Sporosarcina pasteurii*” (ATCC11859) を用い、その尿素分解作用による以下の反応を利用した。



供試体は、次の手順で直径 5cm、高さ 15cm の塩化ビニル製モールド内に作製した(図-1)。

①空中落下法により珪砂 6 号(最大乾燥密度  $\rho_{dmax} = 1.661g/cm^3$ , 最小乾燥密度  $\rho_{dmin} = 1.376g/cm^3$ ) をモールド内に投入後、フィルターの直下から蒸留水を浸水させる。

② *Sporosarcina pasteurii* の培養液 250mL をモールド上部より流し込む。

③栄養塩を注入し、最後に供試体中の栄養塩等の成分を洗い流すための蒸留水(総量 400mL) を注入する。

供試体の作製は、栄養塩の組成と注入方法を変え、表-1(a)に示す条件で 5 ケース行った。

ここで、栄養塩として供給する各成分の総量は全試験ケースとも同量であるが、水溶液として注入する時の各成分の濃度(組成)と注入総体積を、組成 1 と組成 2 の 2 通りにした(表-1(b))。

また、栄養塩の注入方法は、注入総体積を定量ポンプで流量 0.14mL/min (間隙体積を置き換えるのに十分な量である 200mL を 1 日かけて注入する流量に相当) で与え続ける連続注入と、1 回あたり 200mL の栄養塩をモールド上部から流し込み、30 分程度で自然流下させた後 1 日放置することを繰り返す間欠注入とした。連続注入は、水頭を砂の表面に合わせた注入(以下、連続注入(供試体表面水頭))と、水頭を砂の表面から 7mm 上に合わせて砂の上方に常時水面がある状態での注入(以下、連続注入(供試体上方水頭))を行った。連続注入(供試体上方水頭)は、砂表面全体が常時栄養塩と接触した状態を作り、均一に固化させることを期待したものである。

蒸留水は、間欠注入では 400mL を流し込んだ後 2 日間放置、連続注入では、蒸留水を流量 0.14mL/min で 2 日

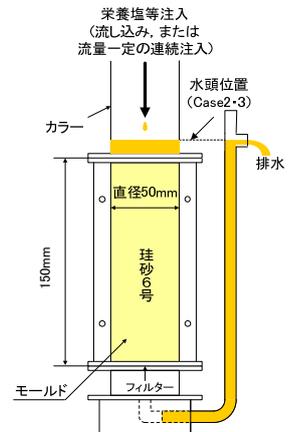


図-1 供試体作製状況 (Case2 および Case3 の例)

表-1 栄養塩注入に関する条件

(a) 栄養塩組成と注入方法の組み合わせ

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
栄養塩の組成	組成1	組成1	組成2	組成1	組成2
注入総体積(mL)	800	800	1600	800	1600
栄養塩の注入方法	連続注入 (供試体表面水頭)	連続注入 (供試体上方水頭)	連続注入 (供試体上方水頭)	間欠注入	間欠注入
栄養塩注入日数(日)	4	4	8	4	8
蒸留水の注入方法	連続注入	連続注入	連続注入	流込み後放置	流込み後放置
蒸留水注入日数(日)	2	2	2	2	2
注入期間(日)	6	6	10	6	10

(b) 注入する成分の総量・注入時の組成と注入総量

	総量(g)	組成1 各成分の濃度(蒸留水1L中)	組成2
塩化カルシウム(CaCl <sub>2</sub> )	22.196	27.745	13.873
尿素(CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )	12.012	15.015	7.508
塩化アンモニウム(NH <sub>4</sub> Cl)	4	5	2.5
ニュートリエントプロス	1.2	1.5	0.75
注入総体積(mL)	-	800	1600

キーワード：炭酸カルシウム法、微生物、固化

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 (国研) 土木研究所土質・振動チーム TEL：029-879-6771

間連続注入する方法で注入した。

蒸留水の注入終了後、供試体を脱水、凍結保存した。その後、上下端 2.5cm ずつを切り落として高さ 10cm に成形、試験機に設置し、室温で 2 時間放置により解凍してから一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験終了後には、载荷した供試体と、成形時に切り落とした上端部の CaCO<sub>3</sub> 析出量を、塩酸による CaCO<sub>3</sub> の分解・溶出に伴う乾燥質量の変化から調べた。また、前述の脱水した水に含まれる微生物個体の濃度を調べた。

3. 試験結果および考察

今回新たに検討したのが、連続注入（供試体上方水頭）により栄養塩を注入した Case2 および Case3 で、他の 3 ケース<sup>1)</sup>と比較している。

3. 1 固化状況

各供試体の CaCO<sub>3</sub> 析出比と一軸圧縮強さの関係を図-2 に示す。ここで、CaCO<sub>3</sub> 析出比は、砂のみの質量に対する CaCO<sub>3</sub> 析出量の比を百分率で表したものとした。連続注入（供試体表面水頭）では、間欠注入に比べて均一な固化や強度上不利なことは確認している<sup>1)</sup>が、均一な固化を期待して実施した連続注入（供試体上方水頭）でも、その傾向は変わらず、CaCO<sub>3</sub> 析出比や一軸圧縮強さがさらに小さくなった。

また、栄養塩を連続注入した供試体を一軸圧縮試験後に炉乾燥した際、連続注入（供試体上方水頭）では塊がほとんど見られなかった（写真-1(b)）。

次に、各供試体と上端部の CaCO<sub>3</sub> 析出比の関係を図-3 に示す。連続注入（供試体上方水頭）では、上端部と供試体の CaCO<sub>3</sub> 析出比の差が大きく、注入された栄養塩の成分の大部分が上端部での集中的な固化に使われる傾向がより顕著となった。

3. 2 微生物の残留と固化の関係

注入終了後の間隙水の微生物個体濃度と一軸圧縮強さの関係を図-4 に示す。Case1・4・5、Case2・3 はそれぞれ同じ容器内で同時に作成した培養液を注入している。全体的に、微生物の残留が多いことが一軸圧縮強さに有利とは限らない結果といえる。

各ケースとも注入終了後の間隙水の方が培養液に比べて微生物個体濃度が低く、新たに注入された栄養塩等で間隙水が置き換えられる際に微生物が流出した。間欠注入ではその傾向がより顕著で、間隙の置き換えが短時間で進み、微生物が押し出されたと考えられる。

4. まとめ

微生物代謝を利用して砂を固化させる際、連続注入では栄養塩を砂表面全体に接触させながら注入しても、限られた範囲の集中的な固化にとどまることが確認された。また、間隙が置き換えられる際に微生物個体が流出し、間欠注入ではそれがより顕著であった。間隙中の微生物の残留が多いことが固化に有利とは限らなかった。

<参考文献> 1) 稲垣 由紀子, 加藤 俊二, 佐々木 哲也: 栄養塩の滞留が微生物機能を利用した砂の固化に与える影響に関する検討, 第 52 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2017 (投稿中)

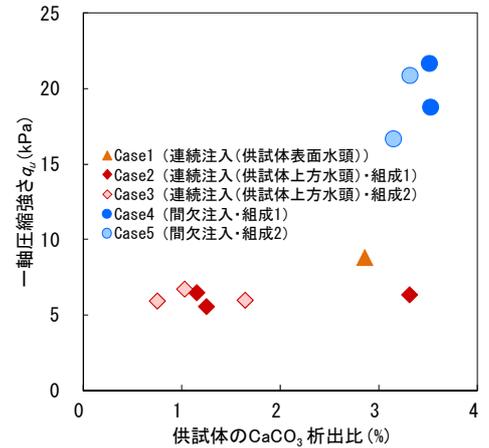


図-2 CaCO<sub>3</sub> 析出比と一軸圧縮強さの関係

写真-1 一軸圧縮試験後の供試体の状態の例

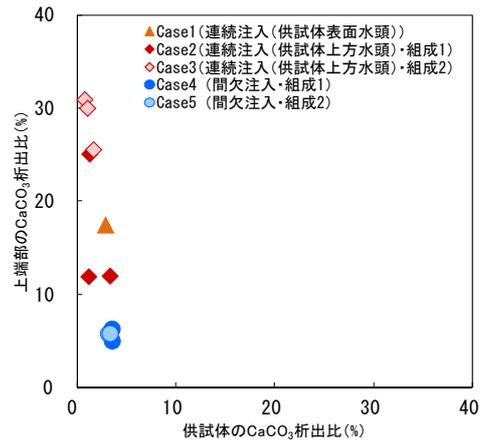
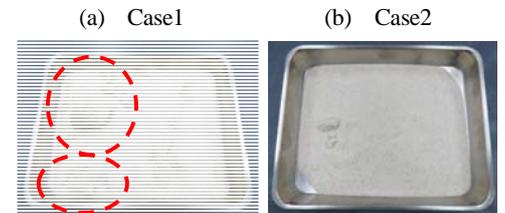


図-3 供試体と上端部の CaCO<sub>3</sub> 析出比

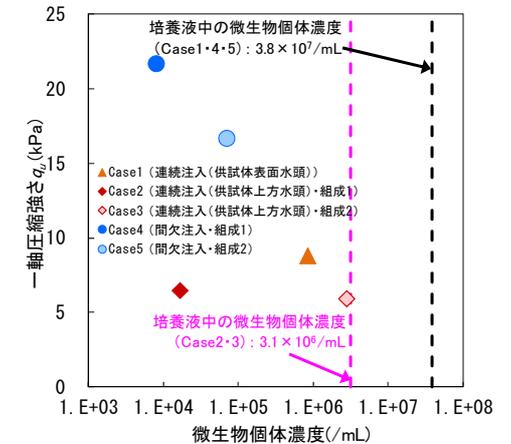


図-4 間隙中の微生物個体濃度と一軸圧縮強さの関係