

# 微生物固化処理土の力学特性に関する研究

富山県立大学 学生会員 井上雄太  
富山県立大学 正会員 畠俊郎

## 1. はじめに

近年地球温暖化が問題となり、建設の分野でも温室効果ガスの排出が少ない新しい技術が必要とされている。地盤改良技術に着目した場合、セメント等の固化材を用いるものが中心である。しかしながら、既設構造物の直下の改良に用いるには難易度が高いことに加え、改良体製造時に大量の温室効果ガスが発生する。

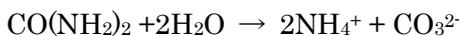
このような背景のもと、地盤改良技術に微生物代謝を応用する技術が注目されている。固化が緩やかに進行するため既設構造物直下の改良に適している。また、温室効果ガスの発生が少ないなどの特徴がある。

既存の研究ではウレアーゼ活性を有する陸域の微生物である *Bacillus pasteurii* を用いた試験が行われ、強度増加が確認されている。本報告ではウレアーゼ活性が既知である海域の微生物 *Sporosarcina aquimarina* に着目し、強度増加が期待できるのか検証した結果を述べる。

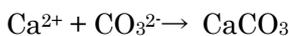
## 2. 目的

本研究では、*Sporosarcina aquimarina* の代謝を利用し炭酸カルシウムを析出させて土を固化する地盤改良技術の有効性について検討することとした。本研究において着目した固化メカニズムを以下に示す。

(尿素分解)



(炭酸カルシウム析出)



## 3. 試験方法

本研究では炭酸カルシウム析出による強度増加効果を明らかにするため、圧密排水三軸圧縮試験 (CD 試験) を行った。豊浦砂 225g に培養 2 日後の *Sporosarcina aquimarina* 培養液を加え、固化溶液を 0, 3, 5 回注入した供試体を各 3 本作成した。固化溶液は 2 日に 1 回、48 時間間隔で注入を行った。培養液の組成を表-1、固化溶液の組成を表-2にそれぞれ示す。

その後、直径 5cm 高さ 7.5cm に成形した供試体を用いて CD 試験を行った。今回の試験では、背圧を 200

表-1 培養液組成

成分	分量
トリスバッファー (pH調整剤)	1.575g
硫酸アンモニウム	1.0g
Yeast extract	2.0g
純水	100ml

表-2 固化溶液組成

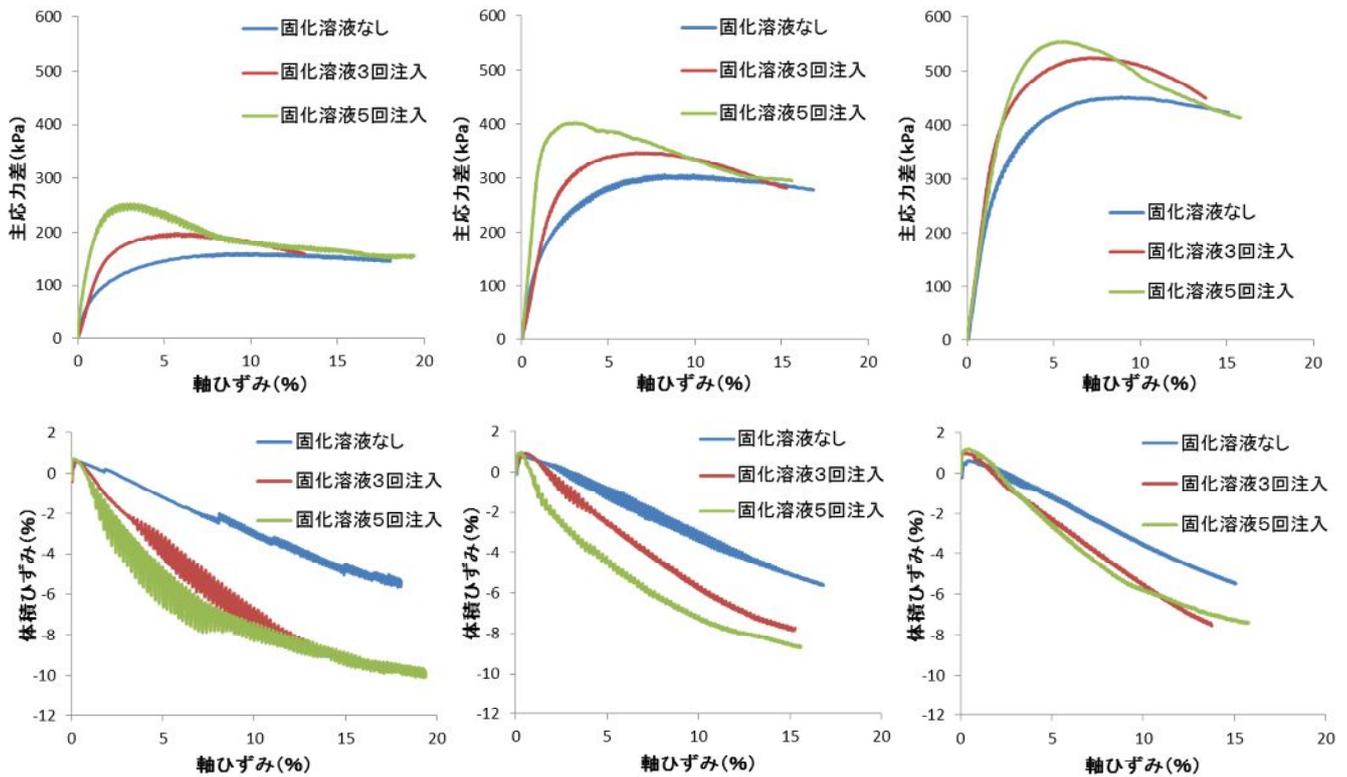
成分	分量
Nutrient Broth	0.75g
塩化アンモニウム	2.5g
炭酸水素ナトリウム	0.53g
尿素	4.5g
塩化カルシウム	8.32g
純水	250ml

kPa まで上昇させ、飽和状態を確認するため B 値を測定し、いずれの供試体も 0.95 以上を確認してから試験を行った。また、B 値の確認後、有効拘束圧 50, 100, 150 kPa で载荷を行なった。試験結果から主応力差-軸ひずみ曲線、モールの応力円を描き、最大主応力、粘着力 C、内部摩擦角  $\phi$  の算出を行った。また、塩酸を用いた酸分解による炭酸カルシウム析出量の算出を行った。

## 4. 試験結果

三軸圧縮試験 (CD 試験) の結果を図-1 に示す。主応力差-軸ひずみ曲線より、いずれの有効拘束圧でも注入回数を増やすにつれて強度増加がみられた。有効拘束圧=100kPa に着目すると、固化溶液注入なしのケースでは最大応力が 300kPa ほどであったが、固化溶液を 5 回注入したケースでは最大応力が 420kPa にまで上昇がみられた。体積ひずみ-軸ひずみ曲線より、いずれの有効拘束圧、固化溶液の注入回数でも、圧縮側の体積ひずみが発生した後に、膨張側の体積ひずみが生じる傾向が見られた。また、注入回数の増加に伴い、供試体に膨張側の体積ひずみが生じやすい傾向が見られた。

塩酸を用いた酸分解では、固化溶液 3 回注入では 1.85%程度、固化溶液 5 回注入では 3.63%程度の炭酸カルシウム析出が確認できた。*Sporosarcina aquimarina* は固化溶液を複数回加えても生存することができ、微生物固化に適していることが確認できた。



(a)有効拘束圧=50kPa

(b)有効拘束圧=100kPa

(c)有効拘束圧 150kPa

図-1 各有効拘束圧における主応力差-軸ひずみ曲線（上段）および体積ひずみ-軸ひずみ曲線（下段）

また、酸分解による炭酸カルシウム析出量と粘着力 C の関係を図-2に、炭酸カルシウム析出量と内部摩擦角  $\phi$  の関係を図-3に示す。図に示す文献値とは、稲垣らの研究より抜粋したデータであり、豊浦砂と微生物 (*Bacillus pasteurii*) を用いた試験結果である。図-2より、炭酸カルシウム析出量の増加に伴い、粘着力の増加が確認できた。これは炭酸カルシウム析出によりセメンテーションと同様の働きが行われているのではないかと考えられる。一方で、図-3より、炭酸カルシウム析出による内部摩擦角の変化は確認できなかった。

### 5. まとめ

*Sporosarcina aquimarina* の代謝を利用した地盤改良では *Bacillus pasteurii* と同様に炭酸カルシウム析出による粘着力が増し、強度増加が確認できた。セメンテーションと同様の傾向を示したことから、地盤改良への適用性が期待できる結果となった。また、*Sporosarcina aquimarina* は固化溶液を複数回加えても生存し、炭酸カルシウム析出を行えることが確認できた。

### 参考文献

稲垣由紀子, 塚本将康, 森啓年, 中島進, 佐々木哲也, 川崎了: 微生物代謝による液状化対策に関する動的遠心模型実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.2, 2011.

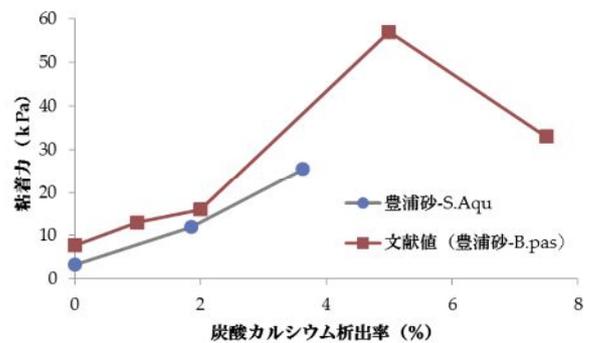


図-2 炭酸カルシウム析出率と粘着力 C

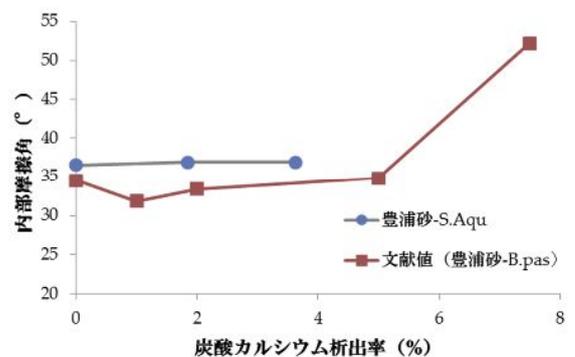


図-3 炭酸カルシウム析出率と内部摩擦角  $\phi$