

沿岸域由来のウレアーゼ生産菌による海砂の強度増進効果に関する検討

長野高専 学生会員 ○横山 珠美
正会員 畠 俊郎

1. はじめに

液状化によってもたらされる被害は、新しく堆積した地盤や埋立て地盤などで発生することが多い。そのため、周囲を海に囲まれ地震大国でもある日本において沿岸域における液状化対策は今後の重要課題である。しかしながら、既存の液状化対策工法には環境負荷やコストなど改善すべき点がある。そこで、新しい液状化対策工法として微生物機能を利用した地盤固化技術に着目した。これまでの検討から、陸域・海域由来のウレアーゼ生産菌を利用して炭酸カルシウムを析出させる効果は明らかとなっているが、微生物種の違いによる炭酸カルシウム析出率と圧縮強さの関係については未解明な点が多い。そこで、微生物種により異なると考えられる尿素的加水分解速度を比較した後に固化試験を行い、試験終了後に三軸圧縮試験を行った。実験結果より、炭酸カルシウム析出率と圧縮強さの関係を明らかにし、微生物による固化能力の差を比較検討する。

2. 研究フレームおよび実験手法

2-1 微生物種の選定

本研究では微生物固化を沿岸域に拡張することを目的とし、陸域と海域から単離された2種類のウレアーゼ生産菌を用いて実験を行った。陸域から単離された微生物として *Bacillus pasteurii* (以下、*B.pasteurii* と称す)、海域から単離された微生物として *Sporosaricina aquimarina* (以下、*S.aquimarina* と称す) を選定した。

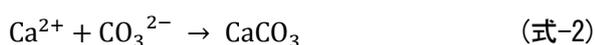
2-2 炭酸カルシウムの生成メカニズム

本研究では、土粒子を繋ぎあわせる材料として炭酸カルシウムに着目した。微生物由来の尿素的加水分解酵素 (Urease) を利用した尿素的加水分解反応を式-1、炭酸カルシウムの析出反応を式-2 に示す。

尿素的加水分解反応



炭酸カルシウム析出反応



2-3 実験手順および測定項目

a) 電気伝導度による尿素的加水分解速度の比較

2種類の微生物由来の酵素 (Urease) がもつ尿素的加水分解速度を電気伝導度試験で比較する。実験手順を以下に示す。1) 1.5mol/L の尿素的溶液 40mL に菌体培養液 10mL を添加する。2) スターラーにて 120rpm の条件で攪拌し、2分ごとに電気伝導度を測定する。3) 攪拌開始から 30分後まで測定を行う。なお、菌体培養液の代わりに純水を用いた試験も同様に行い、微生物由来の電気伝導度上昇値だけを求めることとした。

b) 固化試験

固化試験の手順を以下に示す。1) プラスチックモールド ($\phi=5\text{cm}$) の底部をカッターで切り抜き、装置に設置する。2) 石川県曾々木海岸から採取した海砂を、 $\text{Dr}=50\%$ を目標に投入する。3) 砂の表面が動かないよう不織布を敷き、ガラスビーズで海砂の巻き上がりを抑制する。4) 供試体を純水で飽和させる。5) 菌体培養液を間隙体積分だけ通水する。6) 固化溶液を間隙体積分だけ通水する。7) 添加した固化溶液に含まれるカルシウムイオンを 90%前後消費させてから、新たな固化溶液を間隙体積分だけ通水する。8) 浸透液は pH、カルシウムイオン濃度を測定する。9) 試験終了後に三軸圧縮試験 (CD 試験) を行う。供試体は二重負圧法により真空度を上げてから脱気水を通水する方法で飽和させた。B 値が 0.95 以上になっていることを確認した後、軸圧縮過程を開始する。本研究では、有効拘束圧は全ての供試体で 50kPa とした。

試験装置を写真-1 に示す。固化溶液の組成を表-1、測定項目を表-2 に示す。

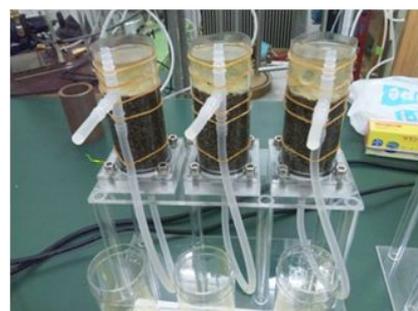


写真-1 試験装置

3. 実験結果および考察

a) 電気伝導度による尿素の加水分解速度の比較

電気伝導度の推移を図-1に示す。時間の経過に伴い数値が上昇していることから、尿素の加水分解速度を評価する手法として電気伝導度が有効であることが明らかとなった。*B.pasteurii*は*S.aquimarina*と比較して約3倍の速度で尿素の加水分解反応を進めており、同じウレアーゼ生産菌であっても種によって尿素の加水分解速度が異なることが明らかになった。

b) 固化試験

本研究では、炭酸カルシウムの析出量を変えて計7本の供試体を作成した。その中から、海砂に対して炭酸カルシウムを約9%析出させた供試体の炭酸カルシウム析出量の推移を図-2に示す。尿素と塩化カルシウムを0.30mol/Lに調整した固化溶液を用いたところ、*B.pasteurii*は24時間、*S.aquimarina*は48時間でカルシウムイオンを消費した。この結果から、0.30mol/Lの固化溶液を用いた場合、電気伝導度と析出時間には関連性があると考えられる。また、pHの推移に関しては、いずれの供試体でも常にアルカリ側(pH=7.0~8.5)を推移しており、炭酸カルシウムの析出が期待できる条件であった。

炭酸カルシウム析出率と三軸圧縮試験(CD試験)から求めた圧縮強さの関係を図-3に示す。グラフより、析出率が同程度であるにも係わらず、微生物種によって圧縮強さに違いがあることが明らかになった。

4. まとめ

本研究より、同じウレアーゼ生産菌であっても、尿素の加水分解速度の違いにより炭酸カルシウムの析出時間および圧縮強さに違いがあることが明らかになった。同程度の炭酸カルシウムを析出させているにもかかわらず圧縮強さに違いがあることから、*B.pasteurii*と*S.aquimarina*では析出される炭酸カルシウムの形態が異なること等が考えられる。今後は、固化溶液の濃度の違いによる尿素の加水分解速度と析出時間の影響を明らかにしたい。また、微生物による圧縮強さの違いが炭酸カルシウムの形状の違いによるものなのかを電子顕微鏡で確かめたい。将来的には、微生物機能を用いた地盤固化技術が、液状化対策工法として有効であるかを明らかにするために、繰り返し三軸試験を行って液状化強度を求めていきたい。

表-1 固化溶液の組成

Nutrient Broth	1.50 g
NH ₄ Cl (塩化アンモニウム)	5.00 g
NaHCO ₃ (炭酸水素ナトリウム)	1.06 g
CO(NH ₂) ₂ (尿素)	9.009 g (0.30 mol/L)
CaCl ₂ (塩化カルシウム)	16.645 g (0.30 mol/L)
アクアバイオソル (総輸入販売元:株式会社スドー)	16.67 g
純水	500 mL

表-2 測定項目

測定項目	測定法
pH	pHメータ (twin pH: HORIBA)
カルシウムイオン濃度	原子吸光度計 (Z-2300型偏光ゼーマン: 日立)
三軸圧縮試験	土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法 地盤工学会基準

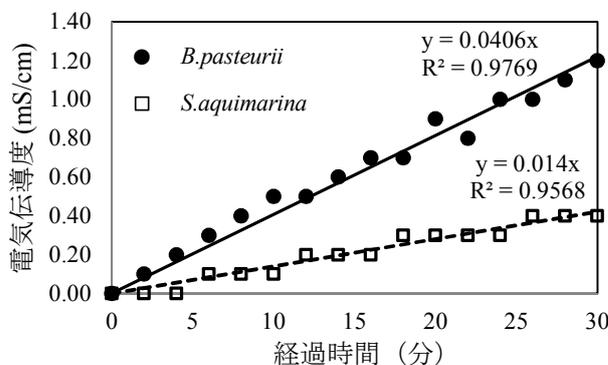


図-1 電気伝導度の推移

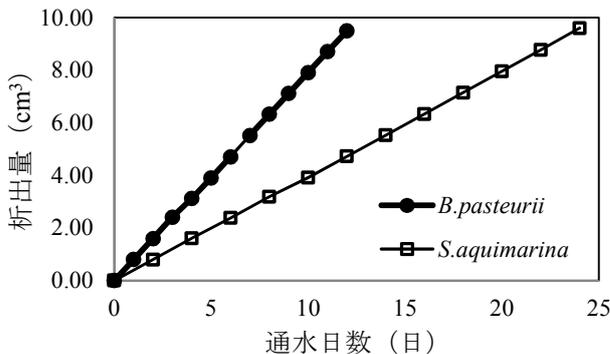


図-2 炭酸カルシウム析出量の推移

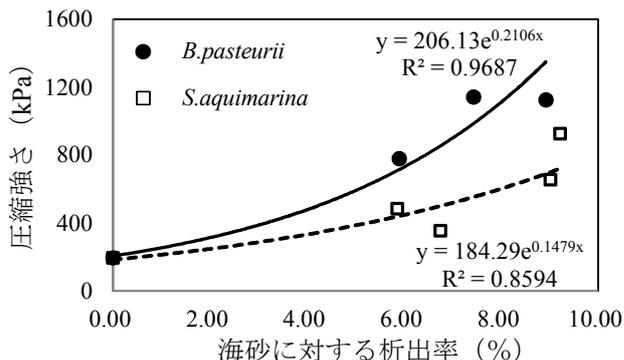


図-3 析出率と圧縮強さの関係