各種微生物を用いた模擬堆積層の固化処理に伴う粒度および強度特性の変化に関する検討

富山県立大学　学生会員　○大野　紘輝
同上　正会員　畠　俊郎

1. はじめに

次世代エネルギー資源として注目されているメタンハイドレート(MH)の生産に関連し，MH からのメタンガス生産に伴う細粒分流出などによる地盤災害の発生が懸念されている．本研究では，この MH の資源利用に伴う地盤災害の抑制技術として原位置由来の土壌微生物が持つ炭酸カルシウム結晶化能力を高めることで粒子成長および強度増進効果が期待できる微生物固化技術の有効性について検討した結果を報告する．

2. 微生物代謝による地盤固化のメカニズム

本研究では，MH 胚胎層を模した模擬堆積物を対象とし，微生物の代謝活性を利用した固化処理が粒度分布および強度増進に与える影響の評価を目的として 2 種類の室内実験を実施することとした．以下に，本研究で着目した微生物の代謝活性に基づく結晶析出メカニズムを示す．

＜尿素分解＞

$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow$ (ウレアーゼ)$\rightarrow \quad 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$

＜炭酸カルシウム析出＞

$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$

3. 実験方法

本研究の流れを**図-1** に示す．微生物固化処理が粒度分布に与える影響検証を目的とした結晶成長試験と，同じく微生物固化処理が強度に与える影響検証を目的とした土の三軸圧縮試験（CD 試験）の 2 種類を実施した．以下，各試験について述べる．なお，各試験において用いた模擬堆積物の基本組成は先行研究を参考に**表-1** のとおりとした．

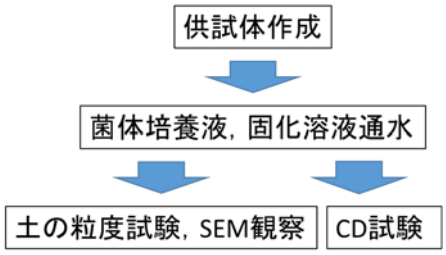

図-1　実験フローチャート

表-1 模擬堆積物基本組成

成分	細粒分無 (%)	細粒分有 (%)	平均粒径 (mm)
7 号珪砂	71	70	0.15
8 号珪砂	18	17	0.075
R5.5	11	10	0.3
カオリン	－	1	－
雲母	－	2	－

3.1 結晶成長試験

微生物固化処理が模擬堆積物の粒度分布などに与える影響の把握を目的とし，基本配合としてカオリンや粘土などの細粒分を除去した模擬堆積物（**表-1** 中に示した「細粒分無」）を選定した．カラムとして 50mL 容量のシリンジを選定し，所定の密度で供試体を作成した．その後，海洋微生物（耐塩性に優れた単離菌），一般微生物（通常の塩分濃度で生息可能な微生物）および海洋底泥由来の集積培養液（単離せず尿素を唯一の栄養素として集積培養を行った混合菌体）を通水し，その後に尿素及び塩化カルシウム濃度 0.3 mol/L の固化溶液を 5 回通水して固化処理を行った．試験後の供試体について土の粒度試験(JIS A 1204)と電子顕微鏡（以下，SEM と記す）による表面観察を行った．結果に関する比較・考察を通じて微生物固化処理が粒度分布に与える影響について検討した．

表-2 試験ケース一覧（結晶成長試験）

ケース A	模擬堆積物（細粒分なし）
ケース B	海洋微生物 5 回通水
ケース C	一般微生物 5 回通水
ケース D	集積培養 5 回通水
ケース E	模擬堆積物（細粒分あり）

3.2 CD 試験

結晶成長試験の実施と合わせ，微生物固化処理が模擬堆積物の強度に与える影響の検証を目的とした CD 試験を実施した．CD 試験では，基本配合として**表-1** に示した「細粒分有」を選定し，φ5cm×H17cm のカラ

ム内で固化処理を行った後にφ5cm×H10cm 程度に成型した供試体について CD 試験を実施して強度の比較を行うこととした．試験に用いる微生物は結晶成長試験と同様の微生物培養液（海洋微生物，一般微生物，集積培養）を通水後，結晶成長試験と同様の成分の固化溶液（尿素及び塩化カルシウム濃度 0.3 mol/L）を海洋，一般微生物では 3 回，集積培養では 5 回，間隙体積分通水した．

4. 実験考察と結果

4.1 結晶成長試験結果

土の粒度試験（JIS A 1204）とあわせて実施した土粒子の密度試験（JIS A 1202）の結果を**表-3** に示す．微生物固化処理を行わないケース A と比較して，微生物固化処理を行ったケース B～D はすべて土粒子密度が増加する結果となった．このことは，炭酸カルシウム析出に伴う効果と考えられる．また，ケース C,D については模擬堆積物そのもの（ケース E）とも比較して高い土粒子密度の値を示した．土の粒度試験から求めた粒径加積曲線を**図-2** に示す．図より，ケース A と比較して，ケース B，C，D はそれぞれ粒径 0.075mm 以下の細粒分の割合が増加する傾向が認められ，ケース E の粒径加積曲線に近づく形となった．特にケース D においても効果が確認されたことから，単離操作を必要としない集積培養での原位置での固化処理が期待できる．固化処理後のケース D を対象とした SEM による表面観察の結果を**写真-1** に示す．珪砂表面に炭酸カルシウムと考えられる結晶が多数析出し，小さな結晶が表面を覆う傾向が認められた．

4.2 CD 試験結果

海洋，一般，及び集積培養微生物を用いた固化処理後の強度増進効果を明らかにするために行った土の三軸圧縮試験（CD 試験）の結果を**図-3** に示す．図より，固化溶液の通水回数を 3 回から 5 回に増やすことで，顕著なピーク強度増進効果が期待されることが明らかとなった．また，一般微生物による 3 回通水の供試体のピーク強度も，未処理のものと比較し，強度増進効果が得られた．集積培養での，固化溶液 5 回通水での CD 試験結果では，海洋微生物 5 回通水より大きなピーク強度増進が確認され，改めて，より操作の単純な集積培養における MH 胚胎層での微生物固化処理が期待できる．

5. まとめと今後の予定

2 種類の室内試験の結果から，結晶成長試験より微生物固化に伴う炭酸カルシウム析出に起因する細粒分の増加と，強度増進試験より微生物固化に伴うピーク強度の増進が期待できることが明らかとなった．今後は，微生物固化処理が模擬堆積物の内部摩擦角や粘着力に与える影響について明らかにしていく計画である．

表-3 土粒子密度一覧（結晶成長試験）

試験区名	土粒子密度(g/cm³)
ケース A	2.626
ケース B	2.643
ケース C	2.690
ケース D	2.674
ケース E	2.659

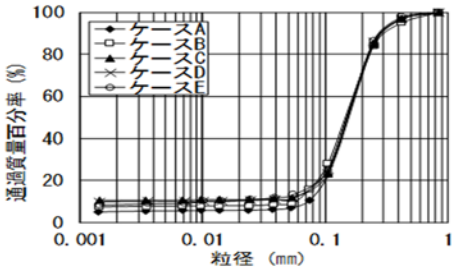

図-2 粒径加積曲線（結晶成長試験）

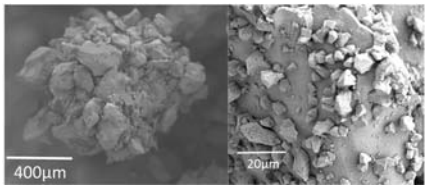

写真-1 SEM による表面観察結果（ケース D，左：観察倍率 50，右：観察倍率 1,000）

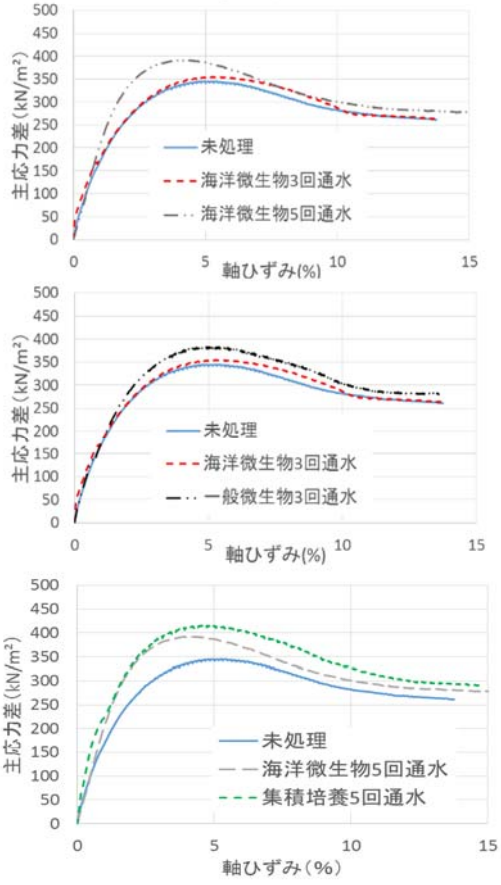

図-3 CD 試験（有効拘束圧 100kPa）