

日本海及び太平洋海底地盤由来の原位置微生物を用いた固化処理土の強度特性比較に関する検討

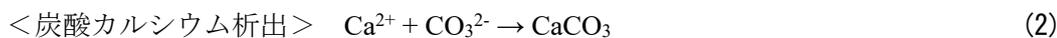
富山県立大学 ○学生会員 貫田 圭佑 正会員 畠 俊郎
産業技術総合研究所 非会員 米田 純 JOGMEC 正会員 山本晃司

1. はじめに

日本周辺海域において、海底地盤にはメタンハイドレート(以下 MH)が豊富に存在し、石油や石炭などに代わる次世代エネルギーとして、注目されている。MH には、海底のどの地層に存在しているかにより、表層型、砂層型に分けられる。MH からメタンガスを生産する際に、表層型では表層地盤の崩壊、砂層型には出砂の発生といった課題が挙げられる。表層地盤の崩壊、出砂の発生を防止・抑制する技術として、原位置由来微生物を用いた地盤固化技術に着目した。既往の研究より、日本海周辺海域の原位置由来微生物を用いた地盤固化技術での、強度増進効果は明らかとなっている。本研究では、新たに太平洋周辺海域の原位置由来微生物を用い、有効性を検討し、日本海周辺海域の原位置由来微生物との結果の比較を行い、地盤固化技術の有効性について検討を行った。

2. 微生物固化メカニズム

本研究では、被固化材として既存の固化技術との比較などを考慮して豊浦砂を対象として選定した。反応では、原位置由来微生物の酵素を用いて尿素を加水分解させ、その際に発生する炭酸ガスを利用し、砂粒子同士の間隙中に炭酸カルシウムを析出させることで、強度増進効果を得ている。微生物の代謝活性による化学反応式を以下 (1), (2) に示す。



3. 試験方法

本試験における流れを図-1 に示し、それぞれの手順を説明する。

3-1. 供試体作製・土の圧密排水三軸圧縮試験(CD 試験)

本試験で使用した、日本海周辺海域由来微生物を日本海、太平洋周辺海域由来微生物を太平洋と呼ぶこととした。供試体は表-1 で示した通り、微生物固化を行わず空中落下法を用いて作製した供試体(未処理)、日本海と太平洋それぞれを用いて微生物固化を行った供試体の計 4 ケースを用意した(太平洋のみ 1 回通水, 3 回通水の 2 ケース)。微生物固化を行った供試体は、豊浦砂 300 g をプラスチックモールド内に 3 層に分け、1 層につき 15 回ガラス棒で突き固める方法を用い、 $D_r=50\%$ を目標とし作製した。微生物(日本海)は、2018 年 5 月に富山湾でサンプリングした底泥より単離した微生物の内、ウレアーゼ活性試験により、ウレアーゼ陽性反応をもった微生物を選定した。その後、電気電導度計(LCR メータ)を用い、酵素活性値(U/L)を測定し、より酵素活性値の高い微生物を選定した。微生物(太平洋)は、太平洋深海底において、2012 年に採取した圧力コア由来の微生物である *S.newyorkensis* を用いた。なお、本試験では選定した微生物を液体培養し、5 倍希釈した菌体培養液を作製し、供試体に 100 mL 通水した。その後、0.3 mol/L 濃度の尿素及び塩化カルシウムを含む固化溶液 100 mL を計 3 回通水した。固化溶液を通水した後、純水 100 mL を通水し、洗浄を行い、デシケーター内で乾燥させ、冷凍保存を行った。試験前に供試体を直径約 5 cm , 高さ約 10 cm に整形し、土の圧密排水三軸圧縮試験(JGS0524)(以下 CD 試験)を行った。CD 試験はそれぞれの 4 ケースに対し、有効拘束圧 50 kPa , 100 kPa , 150 kPa で試験を行い、強度増進効果における比較、考察を行った。

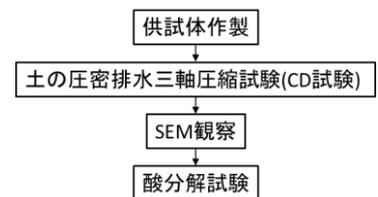


図-1 試験フロー

表-1 試験ケース

ケース	処理
ケース1	未処理
ケース2	日本海(3回固化溶液通水)
ケース3	太平洋(3回固化溶液通水)
ケース4	太平洋(1回固化溶液通水)

3-2. 電子顕微鏡 (SEM) 観察

固化処理を行った砂に対し、使用した微生物による析出した炭酸カルシウムの形状、違いの確認を目的に電子顕微鏡(以下 SEM)を用い、表面観察を行った。

3-3. 酸分解試験

3-1, 3-2 の試験を行った後、固化処理を行った砂を 105 °C の炉乾燥で乾燥させ、0.5 mol/L の塩酸を用い、炭酸カルシウムを分解させた。その後、再び炉乾燥で乾燥させた後の質量差をもとに、析出した炭酸カルシウム量の把握を行った。

4. 試験結果, 考察

CD 試験より得られた有効拘束圧 100 kPa における、主応力差-軸ひずみ曲線を図-2 に、体積ひずみ-軸ひずみ曲線を図-3 に示した。図-2 より微生物固化処理を行ったケース 2, 3, 4 のピーク強度は、未処理のケース 1 に比べ大きくなり、強度増進効果が示された。この要因としては、間隙中に炭酸カルシウムが析出され、砂粒子同士が結合したことで強度増進に繋がったと考えられる。日本海と太平洋を比較すると、日本海側が約 20 kN/m² 程度大きくなり、1 回通水と 3 回通水を比較すると、3 回通水が約 30 kN/m² 程度大きくなった。図-3 より、いずれのケースにおいても、圧縮側の体積ひずみが発生した後、膨張側の体積ひずみが生じる傾向があることが確認された。CD 試験結果よりモールの応力円を描き、得られた各ケースの粘着力 c, 内部摩擦角 φ を表-2 に示した。ケース 2 はケース 1 に比べ c が大きくなっており、ケース 3, 4 はケース 1 に比べ φ が大きくなった。ケース 2 は炭酸カルシウムが間隙中を埋めるように析出したことで、c が上昇し、強度増進効果が得られたと考えられる。ケース 3, 4 は砂粒子表面に炭酸カルシウムが析出したことにより、φ が上昇し、強度増進効果が得られたと考えられる。

次に SEM を用いて砂粒子表面の観察を行った結果を写真-1, 2 に示した。前述したように、ケース 2 では、炭酸カルシウムが間隙中を埋めるように析出していることが確認され、ケース 3 では、砂粒子表面に炭酸カルシウムが析出していることが確認され、炭酸カルシウムの析出の仕方に違いがあることが明らかとなった。

また、酸分解試験を行った結果を表-3 に示した。砂重量に対する炭酸カルシウム析出率はケース 2, ケース 3 とともに同程度となり、日本海側と太平洋側の微生物種が炭酸カルシウム析出に与える影響には、大きな差はないことが明らかとなった。

5. まとめ

本研究の試験結果より、太平洋周辺海域の砂層中には、微生物固化の有効性が期待できる原位置微生物が存在していることが明らかとなった。また、日本海、太平洋の微生物固化技術を比較すると、炭酸カルシウムの析出率に大きな差はないが、析出形状に違いがあることが明らかとなった。

謝辞：本研究の一部は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）・生産手法開発に関する研究開発」の一部として実施された。記して謝意を表する次第である。

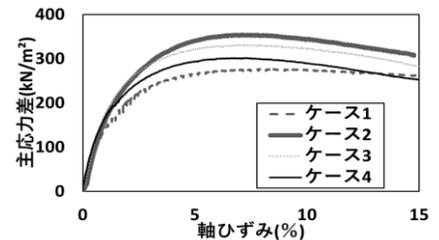


図-2 主応力差-軸ひずみ曲線

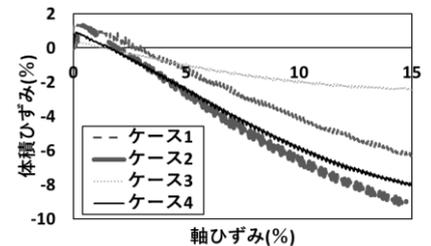


図-3 体積ひずみ-軸ひずみ曲線

表-2 粘着力 c, 内部摩擦角 φ

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
粘着力 c (kN/m ²)	3.9	9.2	8.0	3.6
内部摩擦角 φ (°)	34.5	36.2	36.8	36.1

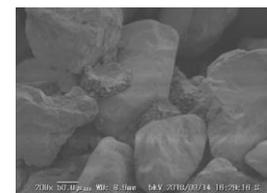


写真-1 ケース 2

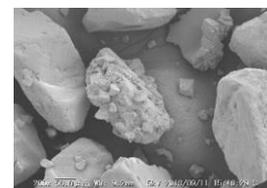


写真-2 ケース 3

表-3 炭酸カルシウム析出率

	ケース2	ケース3	ケース4
炭酸カルシウム析出率 (%)	1.67	1.74	0.66