

減圧法による MH 生産時を想定した微生物固化による出砂対策としての有効性評価に関する検討

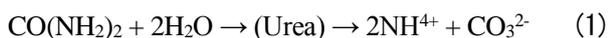
富山県立大学 ○学生会員 林 祐斗  
 同上 正 会 員 畠 俊郎

1. はじめに

現在、砂層型メタンハイドレート (以下 MH) からのメタンガス生産において、減圧法の適用が想定されている。減圧法とは、生産井内の圧力を減少させていくことで、固体の状態で存在している MH を分解し、メタンガスに変換して回収する方法である。その際、MH の分解に伴う出砂等による生産効率の低下が懸念されている<sup>1)</sup>。本研究では、MH 生産において MH 飽和率が低く高透水性である砂層の力学強度の増加及び透水性を低下させる生産支援技術としてウレアーゼ活性を有する微生物に着目し、対象となる砂層中に炭酸カルシウムを析出させる微生物固化技術の有効性を検証した結果を報告する。

2. 目的

本件では、MH 生産時に出砂が想定されている砂層を対象とし、微生物由来の酵素により炭酸カルシウムを土粒子間に析出させ透水性を低下させる効果を期待している。本研究で使用する微生物として、高いウレアーゼ活性を有するとともに、耐塩性及び耐アルカリ性に優れた *Bacillus pasteurii* (以下 *B.pasteurii*)<sup>2)</sup>、また比較対象として *B.pasteurii* より低いウレアーゼ活性を有する *Sporosarcina aquimarina* (以下 *S.aquimarina*) を選定した。以下の式 (1)、(2) に、微生物の代謝機能による炭酸カルシウム析出のメカニズムを示す。



3. 試験方法

本研究の流れを図-1 に示す。対象砂層として珪砂 8 号を選定し、相対密度 50% に調整した φ5.3cm, H15cm の供試体を作製した。そこに微生物の集積培養液を供試体の間隙体積分のみ通水した後、表-1 に示す固化溶液を一定の負圧で連続的に通水させ微生物の代謝機能により析出する炭酸カルシウムが透水性の低下に与える影響を検証した。試験中は定期的に通水した固化溶液量を測定し、ダルシー則を用いて透水係数の算出を行った。試験終了は初期の透水係数から概ね 2 桁程度低下するまでとした。今回の試験では、溶液はすべて上向流で通水させることとした。この通水方向が供試体内の炭酸カルシウム析出率や強度に与える影響を明らかにすることを目的とし、供試体内での炭酸カルシウム析出分布の検証を目的としたコーン貫入試験を行った。あわせて、コーン貫入試験強度増加の要因と考えられる炭酸カルシウム析出量の測定を行うため、酸分解試験も行った。0.50mol/L の塩酸を用いて炭酸カルシウムを酸分解させ、酸分解前後の質量差から炭酸カルシウム析出率を算出した。

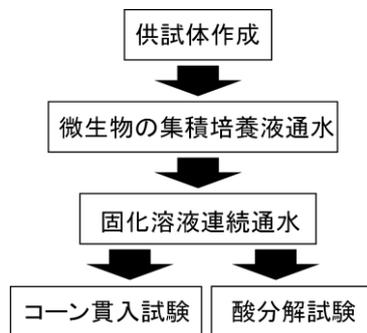


図-1 実験フローチャート

表-1 固化溶液組成

試薬名	容量	
Nutrient Broth	3.00g	3.00g
NH <sub>4</sub> Cl	10.0g	10.0g
NaHCO <sub>3</sub>	2.12g	2.12g
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	9.01g	18.02g
CaCl <sub>2</sub>	16.645g	33.29g
純水	1000ml	1000ml
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> のモル濃度	0.15mol/L	0.30mol/L

表-2 試験条件

使用微生物	<i>Bacillus pasteurii</i> <i>Sporosarcina aquimarina</i>
砂種	東北珪砂 8 号
砂量	432g
相対密度 Dr	50%
負圧	-0.005Mpa (流速 4.4ml/min) および水頭差 30cm (流速 2.2ml/min)
固化溶液濃度	0mol/L(土+水のみ), 0.15mol/L, 0.30mol/L

4. 研究結果

4.1 連続透水固化試験結果

本試験では、固化溶液の濃度を *B.pasteurii* では 0.15mol/L, 0.30mol/L の 2 ケース, *S.aquiarina* は 0.30mol/L で行った。*S.aquimarina* に関しては、流速の影響評価を目的として水頭差 30cm の定水位試験もあわせて行うとともに、水のみを通水する計 5 ケースについて行った。各試験ケースにおける通水時間と透水係数の関係を図-2 に、間隙体積に対する通水量と透水係数の関係を図-3 にそれぞれ示す。以下、試験ケースごとに考察する。水のみを通した試験（土+水のみ）では、PV=5 回以上の通水でも透水係数の大きな低下が見られなかった。*B.pasteurii* の 2 ケースは固化溶液の濃度に関係なく時間経過に伴い透水係数の低下が確認できた。透水係数が 2 桁低下までの経過時間で比較すると、高濃度ほど短時間での透水性の低下を確認できた。図-3 より透水係数が  $10^{-5}$ cm/s 付近の PV を比較すると、固化溶液 0.15mol/L では PV≒35 回であるのに対して、固化溶液 0.30mol/L では PV≒20 回で、その差は約 1.5 倍となった。一方、*S.aquimarina* では負圧-0.005Mpa の条件では PV=80 回以上の通水でも透水係数の低下が見られなかった。流速を約半分とした試験においても同様の傾向を示したため、ウレアーゼ活性と最適な通水速度の関係性を今後明らかにする必要がある。

4.2 コーン貫入試験および酸分解試験結果

試験終了後の供試体を対象に、上部,下部についてコーン貫入試験を行った。試験は、*B.pasteurii* と *S.aquimarina* (流速 2 段階) の計 3 ケースについて行った。結果を図-4, 図-5 に示す。なお、試験はピーク強度が確認されるまで、もしくは貫入深さが約 15mm に達した時点で終了とした。供試体上部について、*B.pasteurii* は 350N 以上となったが、*S.aquimarina* は流速にかかわらず 10N 以下となった。供試体下部については、*S.aquimarina* は約 8N, *B.pasteurii* は 5N 以下の強度となった。以上より、供試体上部,下部で比較した場合は下部(固化溶液の入口側)の方が高い強度を示すことが明らかとなった。酸分解試験結果から *B.pasteurii* は 1PV あたり 2.6g の炭酸カルシウムが析出しているのに対し、*S.aquimarina* は 0.2g 程度と 1/10 程度の析出率にとどまっていることが明らかとなった。

5. まとめ

供試体に水のみを通水した場合は透水性の低下が見られなかったが、*B.pasteurii* を用いた連続透水では 2 桁近くの透水性低下が認められた。一方、同じくウレアーゼ活性を有する *S.aquimarina* を用いた試験では通水速度に関わらず透水性低下が見られなかった。以上より、連続通水固化処理を行う場合には微生物種 (ウレアーゼ活性) にあわせて最適な条件があることが明らかとなった。

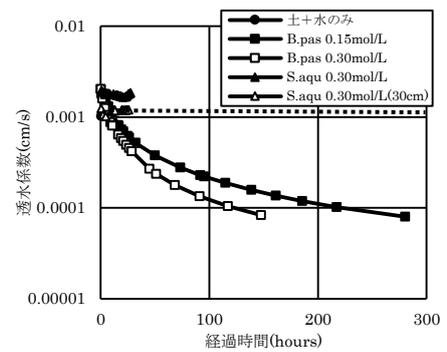


図-2 経時あたりの透水係数の変化

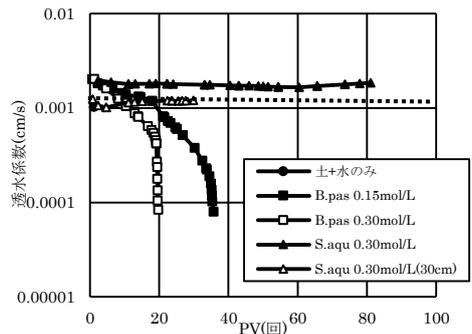


図-3 固化溶液通水回数あたりの透水係数の変化

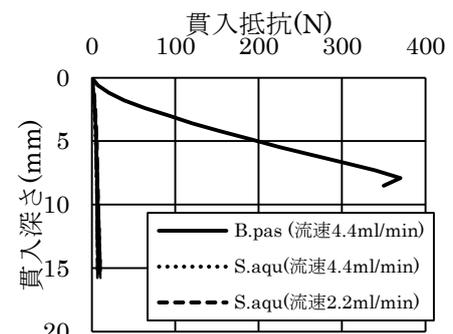


図-4 供試体下部(入口)のコーン貫入試験結果

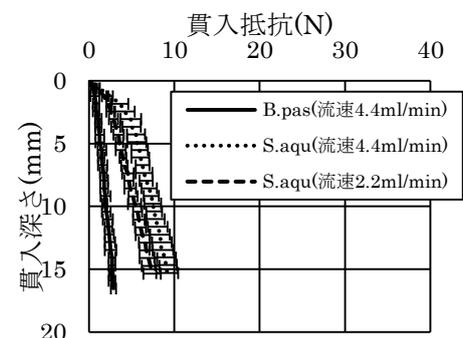


図-5 供試体上部(出口)のコーン貫入試験結果

参考文献 1) 大山 裕之, 長尾 二郎, 鈴木 清史, 成田 英夫, 減圧法適用時におけるメタンハイドレート胚胎コアの出砂現象の実験的解析, Journal of MMIJ Vol. 126(2010) No. 8\_9 P497-502

2) 手計 千恵美, 畠 俊郎, 畠山 正則, 阿部 廣史, 酵素活性の異なる各種微生物を用いた固化処理砂の液状化特性改善効果に関する検討, 地盤工学ジャーナル Vol. 11(2016) No. 1 p1-9