

生物膜と微生物固化の併用による地盤透水性制御技術の提案

富山県立大学 ○学生会員 西田 志帆, 同上 正会員 端 昭彦
 広島大学 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

メタンハイドレート (以下 MH) は新しいエネルギー資源の一つとして注目されており, 生産手法として着目されている減圧法は実用化に向けた検討が進められている. 減圧法とは, MH 胚胎層に生産井を設置し, 井戸内を減圧することにより MH をメタンガスに分解して回収する方法である. 減圧法の実用化にあたっては, 井戸内へ砂が入り込む出砂問題や地盤の沈下, 変形といった課題の解決が必須とされている¹⁾. 既往の研究より, 微生物固化(以下 MICP)を用いて MH 胚胎層の間隙を埋める手法が, 上記課題を解決する方法として有望視されている. 本研究では, この MICP に Biofilm を組み合わせることで従来技術よりも効率的に強度増進と透水性低下効果を得る新しい手法の有効性について検討した.

2. 強度増進と透水性低下のメカニズム

微生物由来の酵素 (ウレアーゼ) により生産される炭酸カルシウムを MH 胚胎層の間隙中に析出させ地盤を固化させる MICP と, 微生物により形成される Biofilm を併用することで透水性低下・強度増進効果を期待する (図-1 参照).

以下の(1), (2)式に, 微生物の代謝機能による炭酸カルシウム (CaCO_3) 析出メカニズムを示す.

〈尿素の加水分解〉



〈炭酸カルシウム析出〉



ウレアーゼ活性を有する微生物に, 固化成分である尿素 ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 及び塩化カルシウム (CaCl_2) を含む固化溶液を添加することで炭酸カルシウムを析出させる. さらに微生物が形成する Biofilm を併用することで止水性を向上させ, 強度増進と透水性低下を同時に得る効果を期待している.

3. 目的

本研究では, MICP と MICP+Biofilm の2種類の透水試験を実施し, 結果の比較を通じて Biofilm 併用による効果を検討した. MICP の結果及び固化溶液の組成は先行研究²⁾を参照することとした. 今回新たに実施した MICP+Biofilm の条件については, *Sporosarcina newyorkensis*(MICP) と *Sphingomonas asaccharolytica*(Biofilm)を組み合わせて培養すると, 固化溶液由来の Ca^{2+} を 80%消費するまでに約3日間要することが事前に明らかとなっているため, MICP+Biofilm については固化溶液通水頻度を3日毎とした. なお, 先行研究では固化溶液通水頻度を1日毎としている.

4. 試験方法

試験には, 対象とする MH 胚胎層と粒径に近い東北珪砂8号を選定し, 相対密度 50%に調整した $\Phi=5.0$ cm, $H=15$ cm の供試体を作製した. そこに微生物培養液を供試体の間隙体積分だけ通水し飽和させた後, 固

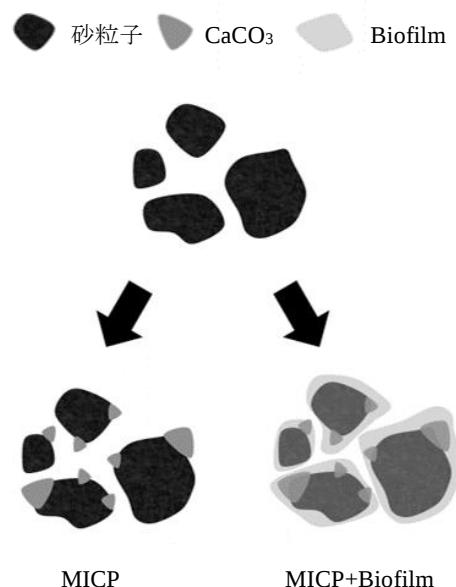


図-1 MICP, MICP+Biofilm のイメージ図

化溶液を一定の負圧(水頭差 50 cm 相当)で間隙体積分通水させ、微生物の代謝機能により析出する炭酸カルシウムと微生物の増殖により形成される Biofilm が透水性および強度に与える影響を検証した。なお、試験期間中は固化溶液の通水時間をもとにダルシー則を用いて計算した透水係数と、カルシウムイオン濃度の測定を行った。試験終了条件は、両ケースともに先行研究の初期の透水係数から 2 桁程度低下までとした。

5. 研究結果

5.1. 透水試験結果

MICP+Biofilm で得られた透水係数を図-2 に示す。なお、図中には蒸留水のみを通水した場合と、先行研究として MICP のみを用いて行った結果もあわせて示した。その結果、MICP+Biofilm は MICP よりも少ない固化溶液量で目的とする透水係数に到達する効果が確認された。次に、間隙体積あたりの析出した炭酸カルシウムの割合と透水係数の関係を図-3 に示す。こちらについても図-2 と同様に先行研究の結果²⁾に基づいて計算した値をあわせて示した。図より MICP では約 10.6%で透水係数が目標値まで低下したが、MICP+Biofilm では約 9.8%と少ない割合で透水係数が低下した。MICP および MICP+Biofilm の通水結果の比較を表-1 に示す。表より少ない条件で目的とする効果が期待できることが明らかとなった。

5.2. コーン貫入試験及び酸分解試験結果

供試体の上部(通水出口)、下部(通水入口)についてのコーン貫入試験結果を表-2 に記す。試験は、拘束圧有無の違いにより測定値を単純に比較することはできないが、両ケースとも上部より下部の方が強い貫入抵抗を示すことが分かった。また、全砂重量あたりの炭酸カルシウム析出率を比較したところ MICP+Biofilm が 1.3%低い値となった。この結果から、MICP+Biofilm は MICP より低い炭酸カルシウム析出率で透水性低下効果をもたらすことが明らかとなった。

6. まとめ

提案技術を用いることで、従来技術よりも少ない微生物培養溶液量、固化溶液量で目的とする効果が期待できることが明らかとなった。一方、目標とする透水性低下効果を得るまでの時間はほぼ倍必要となったことから、今後は短期間で同様の効果が得られるよう改良を進めていきたい。

参考文献

- 1) 山本 晃司(2014), メタンハイドレート資源開発の現状と安全性, 安全工学 53 巻, 6 号, pp.467-476.
 - 2) 岩田 悠介(2018), 畠 俊郎, 米田 純, 山本 晃司, 微生物固化によるメタンハイドレートからメタンガス回収支援手法の検討, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 講演概要集, III-13, pp.257-258.
- 謝辞: 本研究は、経済産業省の委託により実施している「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)」の一部として実施された。ここに記して謝意を表す。

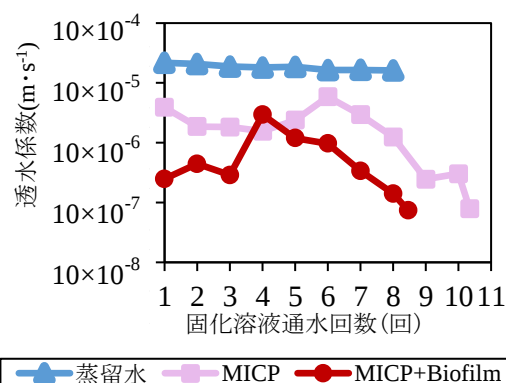


図-2 固化溶液通水回数あたりの透水係数の変化

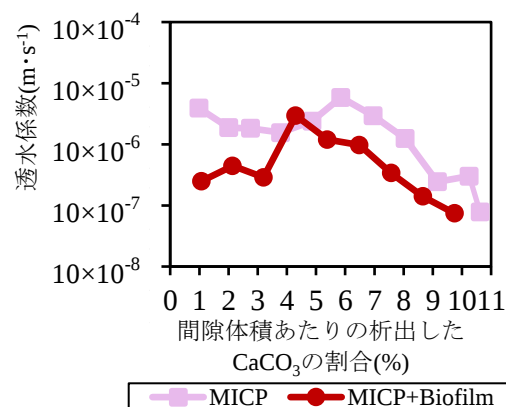


図-3 間隙体積あたりの析出した CaCO₃ の割合と透水係数の変化

表-1 通水結果の比較

試験ケース	MICP	MICP+Biofilm
固化溶液通水回数(回)	10.3	8.5
微生物培養液通水回数(回)	5	2
所要日数(日)	18	34

表-2 コーン貫入試験及び酸分解試験結果のまとめ

試験ケース	MICP	MICP+Biofilm
貫入抵抗(N)	上部	3
	下部	177
全砂重量あたりの CaCO ₃ 析出率(%)	9.3	8.0