

## 有機物分解剤注入時の人工炭層の力学・化学特性

香川高等専門学校 学生会員 ○濱野照真 荒牧憲隆  
 四国旅客鉄道(株) 神埼大雅  
 北海道科学技術総合振興センター 村上拓馬 五十嵐敏文

## 1. 目的

世界のエネルギー資源開発の現状は、将来的なエネルギー需給の逼迫が懸念される中で、石油・天然ガスの開発ニーズも容易に開発できる在来型資源に留まらず、開発が困難な非在来型資源まで拡大している。そこで、地下圏でのメタンに目を向けると、微生物起源のメタン(以下、バイオメタンと呼称)は、地層中においてメタン生成微生物が代謝の過程でメタンを生成する。その微生物が活動する地層中の根源岩には、その基質となる難分解性の有機物を含有している。地下環境圏では、これが化学的な作用や微生物によりメタン生成微生物に必要な基質となる低分子の有機酸に分解され、この有機酸をもとにメタンが生成されていると考えられる。このナチュラルアナログをベースとしてバイオメタン生産技術であるバイオメタン鉱床造成/生産法(Subsurface Cultivation and Gasification、以後、SCG法と呼称)が、幌延地圏環境研究所により提案されている<sup>1)</sup>。このSCG法において、メタン生成微生物の基質生成には過酸化水素を用いることが特徴的であるが、鉱床内で酸性化が進み、微生物にとって好ましくない環境へと変化することが懸念される。そこで、本研究では、このSCG法によるpHと濃度を調整した過酸化水素水溶液を鉱床層に注入する場合の地下圏の安定性を考えるため、バイオメタン生成における有機物の分解時における人工炭層の一次元圧縮特性と、間隙水の化学的特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験方法

人工炭層となる供試体には2~0.85mmに粒度調整した褐炭を用いた。事前に供試体の飽和のために褐炭を水中下で真空脱気を行い、圧密リング内へ水中落下締固め法を用いて供試体(φ50mm×H25mm)を作製し、これを人工炭層とする。その供試体に0.05MPaの荷重をかけて30分間通水を行い、飽和化を図る。その後、0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0MPaで一次元での段階荷重を行う。各荷重応力は24時間とした。5.0MPaの荷重は、深度-300~-350mの地盤内の鉛直応力に対応する。5.0MPaで24時間荷重後、応力一定のもと、表-1実験条件において、それぞれ0.1mL/minの速度で、連続的に7日間注入していく。同時に、沈下量、荷重およびpH、EC(電気伝導率)、ORP(酸化還元電位)の測定を行う。ここで、case5, 6はNaOHのブランクとして、7はH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>のブランクとして採用している。

表-1 使用する有機物分解剤

番号	溶液	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 濃度(w%)	pH調整剤	初期pH
case1	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	NaOH	10
case2	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.5	NaOH	10
case3	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	NaOH	11
case4	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.5	NaOH	11
case5	NaOH			10
case6	NaOH			11
case7	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1		7
case8	水			7

## 3. 試験結果および考察

## 3.1. 一次元圧縮特性

図-1に初期pH10のcase1, 2および5の体積ひずみと時間の関係を示す。また、図-2に初期pH11のcase3, 4および6の体積ひずみと時間の関係を示す。図中にはcase7, 8の結果も併せて示した。図-1、図-2より、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を使用したすべての条件において注入160時間で体積ひずみが5%以上発生していることがわかる。逆に、水のみの場合とNaOHのみの場合にはpHにかかわらず体積ひずみがほとんど発生していない。

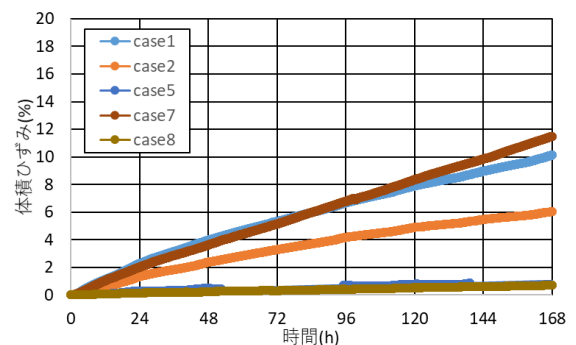


図-1 pH10、体積ひずみと時間の関係

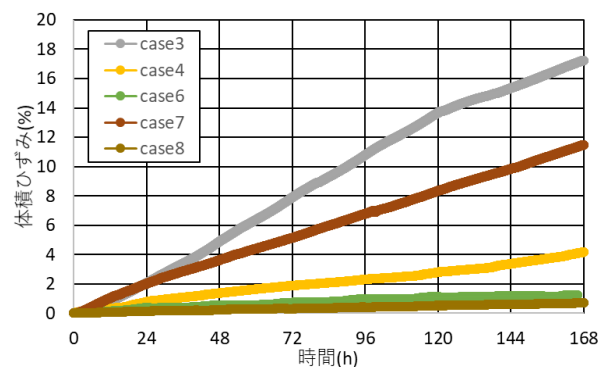


図-2 pH11、体積ひずみ時間の関係

キーワード 一次元圧縮, 褐炭, 過酸化水素

連絡先 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355 TEL 087-869-3927

このことから、pH 調整剤である NaOH が体積ひずみに与える影響は極めて小さいといえる。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度の違いでは、0.5%の場合の pH による体積ひずみの差はほとんど無い。しかし 1%では、pH の相違により沈下特性が異なり、体積ひずみは case3 が最も大きくなる。pH の違いで評価すると、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度 0.5%と比較して濃度 1%は明らかにひずみが大きいことが分かり、特に pH11 のものは濃度による体積ひずみの差が顕著である。これらから、体積ひずみは H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度が支配的であると言える。

### 3.2. 間隙水の化学的特性

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度 1%の case1, 3 および 5, 6, 7 の間隙水の pH を図-3 に、濃度 0.5%の case2, 4 および 5, 6, 7 の間隙水の pH を図-4 に示す。

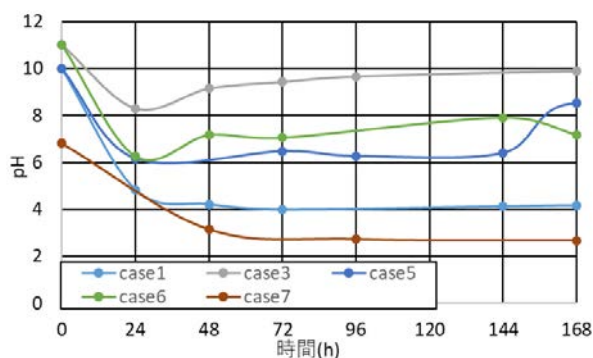


図-3 濃度 1%, 間隙水の pH と時間の関係

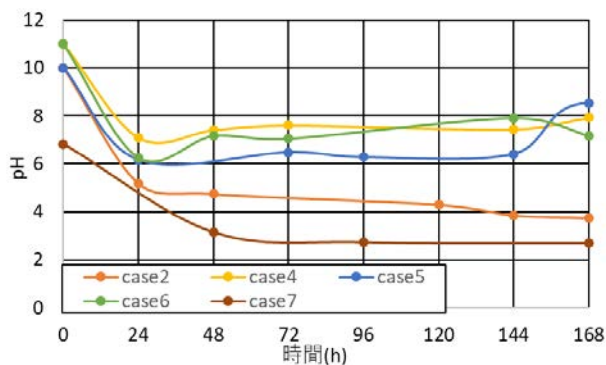


図-4 濃度 0.5%, 間隙水の pH と時間の関係

図-3 より、case7 の H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> のみの注入では、間隙水の pH が低下し、pH=2.68 と酸性域になったことから、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 単体では微生物にとって望ましくない環境となることが分かる。また、case5, 6 において注入溶液が NaOH の場合、そのどちらもが経過時間によらず、中性域となっている。次に、case1 においては pH=4.16 と酸性域になっており、逆に case3 では pH=9.89 と弱アルカリになっている。これらから、濃度 1%において初期 pH=10~11 の間で調整すれば、最終 pH が中性域に留まる可能性があるといえる。

図-4 より、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を使用した各条件のなかで case4 のみ中性域に留まり、case4 の間隙水はメタン生成微生物の存在に適した条件になるということが分かった。

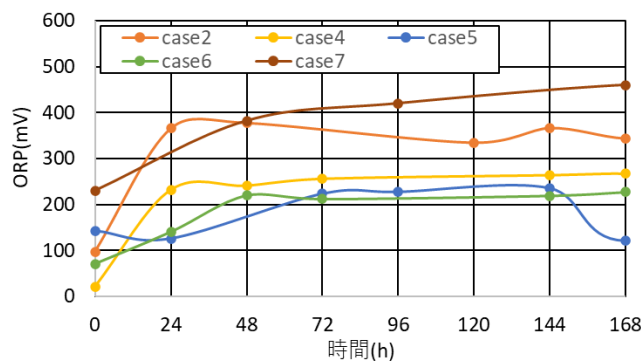


図-5 排出液の ORP と時間の関係

次に、図-5 に間隙水の ORP と時間の関係を示す。図-5 より、すべての条件で ORP が正の値をとっており、常に酸化雰囲気である。中には ORP=100mV で還元雰囲気に近いものも認められた。ただし、これらの状態は嫌気性微生物にとって望ましい生息環境ではないため ORP についても検討していく必要がある。

### 4. まとめ

本研究では、種々の条件での人工炭層の有機物分解時における一次元圧縮特性と化学的特性について検討を行った。以下に得られた知見を記す。

1) 人工炭層の体積変化は、有機物分解剤の pH より H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度が支配的である。

2) 人工炭層への水酸化ナトリウム注入によるその体積ひずみは、過酸化水素注入時と比べて、ほとんど認められない。

3) case4 の pH=11, 0.5%濃度 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> において、間隙流体がメタン生成微生物にとって理想的な中性域となった。

4) 間隙流体の ORP はどの条件でもほぼ酸化雰囲気であり、メタン生成微生物の生息環境に適さない。

今後の展望として、ORP や pH を調整する他の方法の検討、還元剤を使用することなどが挙げられる。

### 参考文献

1) Aramaki, N., Tamamura, S., Ueno, A., Alam, B., Murakami, T., Tamazawa, S., Yamaguchi, S., Aoyama, H., Kaneko, K., Experimental investigation on the feasibility of industrial methane production in the subsurface environment via microbial activities in northern Hokkaido, Japan—a process involving subsurface cultivation and gasification, Energy Conversion and Management Vol. 153, pp. 566–575, 2017.

2) 濱野照真・神崎大雅・荒牧憲隆・村上拓馬：一次元圧縮応力下の有機物分解時での人工炭層の変形特性、地盤工学会四国支部令和3年度技術研究発表会講演概要集, pp. 37–38, 2021.