

# メタンハイドレート生産時の出砂現象のモデル実験実施に係る事前検討

キーワード：メタンハイドレート，減圧法，出砂

早稲田大学 学生会員 ○柴山周也  
早稲田大学 学生会員 船橋知希  
早稲田大学 国際会員 赤木寛一  
石油天然ガス・金属鉱物資源機構 安部俊吾

## 1 はじめに

将来のエネルギー資源として期待されているメタンハイドレート（以下，MH）は，日本近海の下海底に多く存在している<sup>1)</sup>。MHの生産手法として，MH 胚胎層の圧力を低下させ MH をガスと水に分解し，ガス/水を地上に回収する減圧法の使用が最も有望視されており，第1回海洋産出試験においてもその有効性が確認されている<sup>2)</sup>。しかし，減圧法適用により，MH 胚胎層の骨格構造にかかる有効応力が低下する等ジオメカニク的に不安定な状態となることが想定され，過去の産出試験においてもガス/水と共に砂粒子が生産される出砂現象が確認されている<sup>2)</sup>。Uchidaらは出砂現象を評価することを目的とした解析モデルの構築が進めているが，計算では導出が困難なパラメータが存在する<sup>3)</sup>。他方，大山らは，MH 胚胎層の条件を再現した人工供試体への通水試験を実施し，出砂発生の有無を検証している<sup>4)</sup>。本研究では，Uchidaらの出砂モデルに必要なパラメータを実験的に導出するべく，大山らの使用した実験装置を利用した検討を行う。本講演では，実験中の供試体変形量を定量的に測定するための準備として実施している，実験装置や実験器具の圧密による変形特性評価の結果等について紹介する。

## 2 実験手法

### 2・1 実験装置

図1は，大山らが使用した実験装置の概要図である。本実験装置はゴムスリーブに充填した供試体に対し，シリンジポンプにより制御した側圧と，上部可動式エンドプラグより軸圧を付加することで，等方圧を加えることができる構造となっている。また，圧力容器の外側に温度制御したナイブラインを循環可能な構造となっており，温度/圧力条件を模擬した通水実験が可能である。また，圧力チャンバーは90°回転させることが可能であり，地層の傾斜等を模擬することも可能である。

ゴムスリーブ内には，ゴムスリーブ内径と同様の直径に突き固めた供試体を10~50cm分詰めた後，余ったスペースに塩化ビニル製のスペーサーを充填する予定である。また，モデル実験では出砂が生じる前後における供試体の体積変化を測定するべく，側圧/軸圧付加用のシリンジポンプの送水量より算出する方法を検討している。

### 2・2 予備実験

側圧/軸圧付加用のシリンジポンプの送水量より算出するため，まずは事前に実験装置および実験器具の圧密による変形特性を評価するべく，以下の3つの実験を行った；

- 圧力容器および配管系全体の変形特性評価を目的とした，圧力チャンバー内を水で充填させた実験（実験①）
- ゴムスリーブの変形特性評価を目的とした，圧力チャンバー内にゴムスリーブを浮かべた実験（実験②）
- スペーサーの変形特性評価を目的とした，圧力チャンバー内にスペーサーを浮かべた実験（実験③）

モデル実験ではMH 胚胎層の環境再現のため，供試体に作用させる側圧/軸圧を4100kPa(ゴムスリーブにより供試体への圧力の伝搬が妨げられることを考慮し，供試体に4MPaの側圧が付加されるよう調整している)，循環させるナイブラインを12°C，水平方向の流動を模擬するため圧力チャンバーを横向きとする予定である。そのため，今回の予備実験においても，ナイブラインの温度は12°Cに制御の上，チャンバー内圧を100kPaから4100kPaまで100kPaずつ上昇，4100kPaから100kPaまで100kPaずつ下降させた時の，チャンバー内圧とシリンジポンプの送水量の関係を調べた。

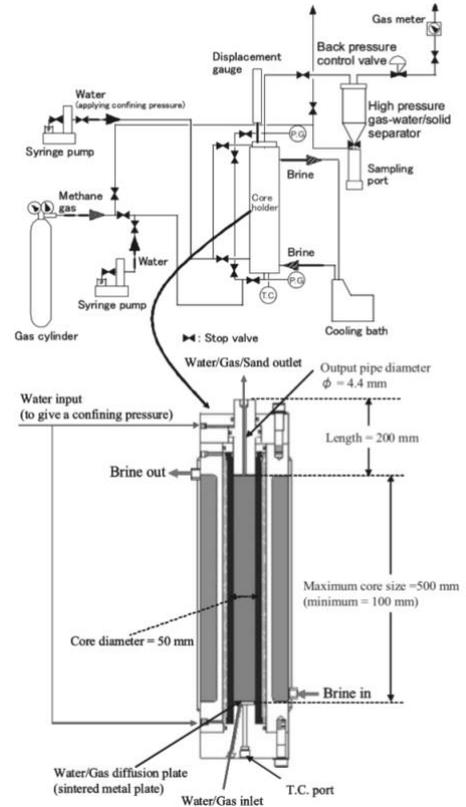


図1 実験装置の概要図<sup>4)</sup>

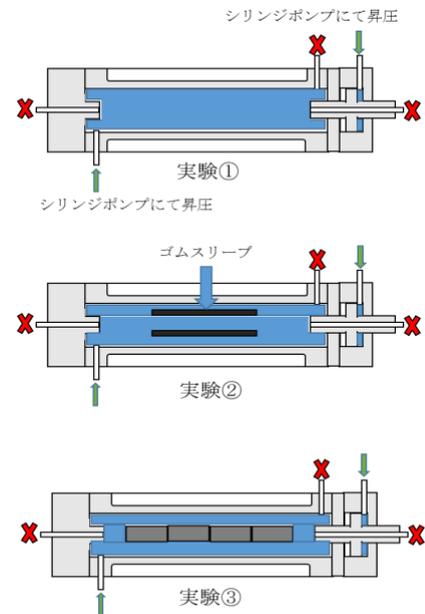


図2 各実験のイメージ

### 3 実験結果

各実験における、チャンバー内圧と実験装置内体積変化量の関係をそれぞれ図3、図4、図5に示す。拘束圧を4100kPaまで上昇させた時、圧力チャンバー内の体積変化量は、実験①では11.61mL、実験②では12.45mL、実験③では13.66mLであった。なお、体積変化量については、シリンジポンプの送水量より、各圧力における水の圧縮体積を除した値としている。

### 4 考察

実験①の結果より、チャンバー内圧力を100kPa→4100kPaと昇圧した時、圧力チャンバー内部および配管系体積変化量は11.61mL程度であることがわかった。他方、実験②の結果より、圧力チャンバー内部および配管系の体積増加、ゴムスリーブの収縮による体積変化が12.45mL程度であった。同様に、実験③の結果より、圧力チャンバー内部および配管系の体積増加、スペーサーの収縮による体積変化は13.66mL程度であった。以上の結果より、実験②の送水量より実験①の送水量を除した値がゴムスリーブの収縮量、同様に実験③の送水量より実験①の送水量を除した値がスペーサーの収縮量であると考えられる。図6および図7はそれぞれ、ゴムスリーブおよびスペーサーの昇圧中体積変化の計算値を示している。本図より、ゴムスリーブ/スペーサー共昇圧中に収縮していることが認められるほか、ゴムスリーブは1000kPa、スペーサーは2000kPaを超えたあたりで、その変形量が落ち着くような傾向が得られた。また、スペーサーに比べ、ゴムスリーブの体積変化量が小さいことがわかった。

### 5 まとめ

今回の予備実験では、今後実施する出砂現象の再現実験中の供試体変形量を定量的に測定するための準備として、ゴムスリーブおよびスペーサーの昇圧時の体積変化量を測定した。今後、同実験の再現性やエラーバーについても検討を加え、モデル実験にて適用する補正値を十分に評価した上、再現実験を進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」フェーズ2及びフェーズ3総括成果報告書、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム、2019。
- 2) Yamamoto et al., Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough, OTC025243-MS, 2013.
- 3) Shun Uchida, Assaf Klar, Koji Yamamoto, Sand production model in gas hydrate-bearing sediments, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 86, p.303-316, 2016.
- 4) 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, No. 8, 9, p.497-502, 2010.

※本内容は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいています。

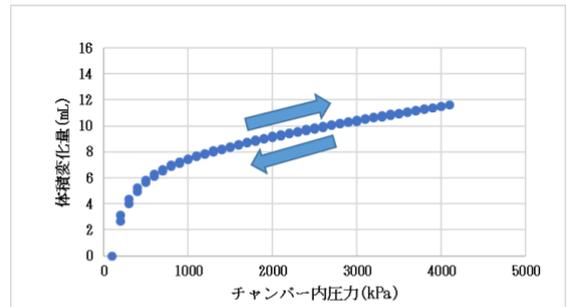


図3 実験①結果

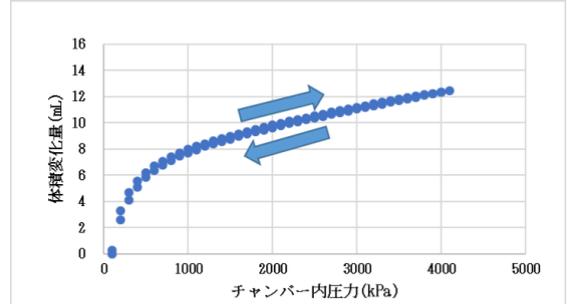


図4 実験②結果

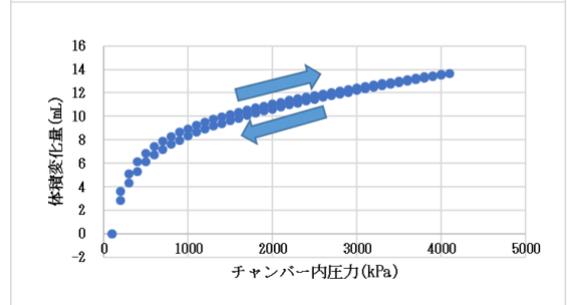


図5 実験③結果

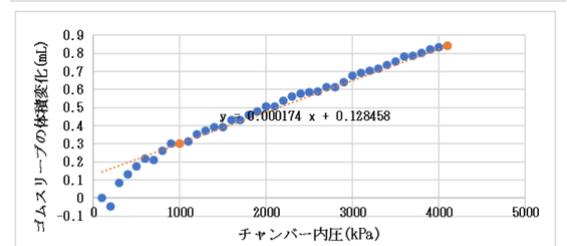


図6 ゴムスリーブの体積変化

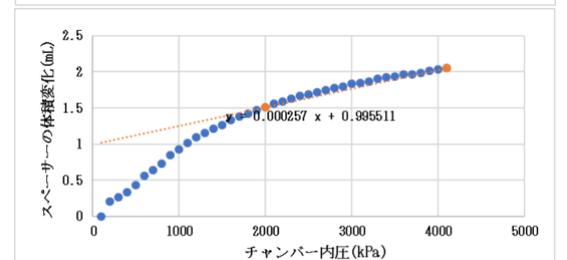


図7 スペーサーの体積変化