

加熱法によるメタンハイドレート胚胎砂の温度および変形挙動

山口大学大学院 学生会員○田平一平 加藤晃 梶山慎太郎
山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1. はじめに

近年、南海トラフに存在するメタンハイドレート（以下、MH と略す）の実用化を目指して研究開発が進められている。既往の研究結果から、MH の生産開発では経済性の上で、減圧法の適用が想定されているが、深海底には熱水噴出孔もあり、条件によっては加熱法も適用の可能性がある¹⁾。本研究では恒温高圧三軸試験機および恒温高圧平面ひずみ試験機を用いて加熱法を想定した分解実験を行い、供試体あるいは周辺の温度変化の観察、MH の分解による供試体の変形挙動を調べた。

2. 試験装置概要

恒温高圧三軸試験機は MH が存在可能な深海底地盤の条件を再現させるため、温度圧力を管理している。供試体サイズは直径 30mm、高さ 60mm である。温度計測は、供試体内部の温度を計測できないため供試体直近のセル液を計測している²⁾。

恒温高圧平面ひずみ試験機については概略図を図-1 に示す。供試体のサイズは、高さ 160mm、幅 60mm、奥行き 80mm となっている。メンブレンの観察窓側に 5mm×5mm のメッシュをかき、デジタル一眼レフカメラを用いてタイマー撮影を行った。得られた供試体画像からメッシュの交点を読み取り、供試体の局所変形の計測を行った。本実験では下端から 60mm、30mm、上端から 40mm、10mm の位置に熱電対を設置し温度を測定した。ペDESTALヒーターが供試体底部より 2cm 下の位置に埋め込まれており、熱を供給することができる。

3. 実験方法

本研究では、豊浦砂をホスト砂として用いた。MH 飽和率 $S_{MH}=50\%$ を目標として含水比を調整し、相対密度 90% となるように三軸試験ではタンピング法にて、平面ひずみ試験では 12 層に分けて突き固め、供試体を作成した。実験手順は、三軸試験では温度 1℃、圧力 4MPa、平面ひずみ試験では温度 5℃、圧力 5MPa の条件下でメタンガスを入れ MH を生成させた。MH 生成後は、通水により供試体を飽和させ、間隙水压 10MPa とし、三軸試験では有効拘束圧 5MPa、平面ひずみ試験では有効拘束圧 3MPa の条件で圧密を行う。その後、せん断速度 0.1%/min とし、ホスト砂の強度以上のせん断応力を加える。せん断後は三軸試験ではセル液の温度を 20℃まで上昇させて加熱を行い、平面ひずみ試験ではペDESTALヒーターを 80℃に上昇させ、加熱を行いながら供試体下部から水を浸透させた。なお加熱中は供試体上部から排水を行い、間隙水压を一定に保った。

4. 実験結果と考察

図-2 に三軸試験機における加熱開始からの温度履歴、図-3 に加熱中の供試体の軸ひずみと時間の関係を示す。図より、時間の経過に伴う温度上昇が認められるが、供試体表面全体からの加熱のため、温度上昇が速く加熱開始 2 時間ほどで温度が定常となっている。それに伴って供試体の変形も早く起こっており、開始 1.5 時間ほどで MH の分解による急激な供試体変形が認められる。このことから、加熱による温度上昇は加熱開始直後から徐々に起こり、それに伴い早い時間で供試体変形を生じることが明らかとなった。

図-4 に水の浸透を与えない状態での加熱開始から 25 時間後までの各熱電対における温度履歴を示す。上長熱電対の温度は、接触不良により温度を測定できなかったため図には示していない。図より、時間の経過に伴って各熱電対部分の温度が上昇していることがわかる。下短熱電対において、加熱開始 1 時間で急激に上昇しており、開始 2 時間で 15℃以上まで上昇していることが認められる。しかし、上短熱電対に

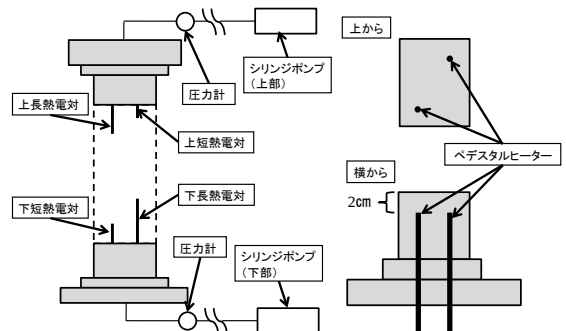


図-1 実験装置概略図

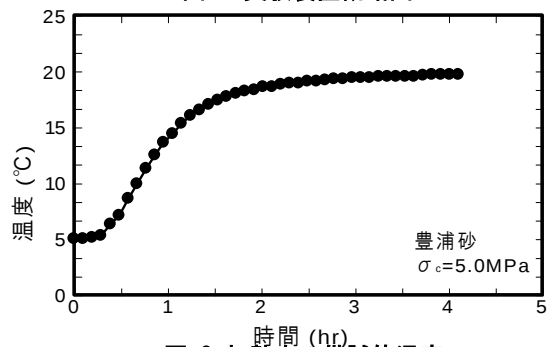


図-2 加熱中の供試体温度

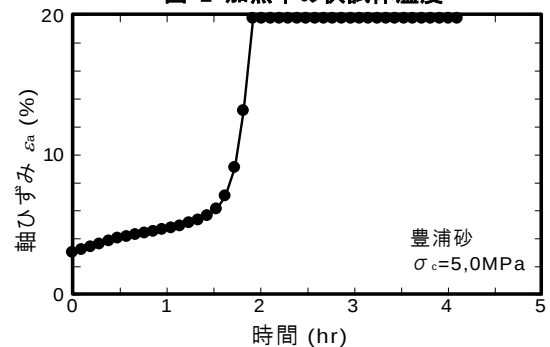


図-3 加熱中の供試体軸ひずみ

おいては加熱 25 時間を経過しても 13℃と低く、10MPa における MH の分解温度である 14℃に達していないことが認められる。また、加熱 15 時間ほどで各熱電対とも温度が定常状態に至っているため、本研究で用いたペDESTALヒーターによる加熱のみでは、供試体上部でのさらなる温度上昇が見込めないことが考えられる。図-5 には、浸透の有無による加熱開始 2 時間後までの各熱電対における温度比較を示す。水の浸透は供試体下部から上部にかけて行い、供試体中の流速は加熱開始 1 時間までは 0.232cm/s, 以降は 0.069cm/s とした。図より、水の浸透を与えることにより各熱電対とも温度上昇が早くなっていることが認められる。特に下長熱電対における温度は、開始 1 時間で 2℃近い温度差が認められる。これより、水の浸透によって熱の移動が速く起こることが明らかとなった。図-6 に浸透を与えない場合の加熱による供試体の軸ひずみと時間の関係を示す。図より、時間の経過に伴って軸ひずみが増加し、供試体の変形が大きくなっていることがわかる。特に開始 5 時間後までの変形量が著しく、加熱によって急激に MH が分解し供試体変形が生じたことが考えられる。また、加熱 25 時間後においても変形は徐々に進行し、定常状態に至っていないことから、加熱による変形は温度変化より遅れて生じていることが考えられる。図-7 に最大せん断ひずみのコンター図を示す。図より時間の経過とともに供試体の下部から徐々に変形が生じていることが認められる。加熱開始 3 時間で供試体下部が変形し、加熱 25 時間後においては供試体の半分ほどまで変形が認められる。これはペDESTALヒーターが供試体下部に設置してあるため、最も加熱の進んでいる下部から徐々に変形が生じていったと考えられる。

また、三軸試験と平面ひずみ試験では軸ひずみの生じ方が異なっている。三軸試験では供試体表面全体を加熱しているため表面から MH 分解が生じ始める。そのため、時間経過とともに供試体内部の分解していない部分が小さくなり、外力に抵抗できなくなった際、一気に軸ひずみが生じていると考えられる。平面ひずみ試験では、供試体全体が分解していないことに加え下端からの加熱となるため、MH 分解は供試体下部から徐々に生じ、それに伴って供試体変形も蓄積するような挙動となっていると考えられる。

6. まとめ

本研究では、豊浦砂に MH を生成させ加熱による分解実験を行い、供試体の温度変化、MH 分解による変形挙動の観察を行った。その結果、本研究で用いたヒーターによる加熱のみでは温度上昇に限度があり供試体の半分ほどまでしか MH の分解温度に達せず、水の浸透を与えることによって温度上昇が早まることを確認した。供試体の変形においては、加熱部に近い供試体下部から徐々に変形が生じることが確認された。温度の時間変化との比較から変形は温度より遅れて生じていることも明らかとなった。また、加熱方法の違いによる分解挙動の違いが認められた。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 25820216 の助成を受けて実施された。記して謝意を表する次第である。

【参考文献】

- (1) 栗原正典, 佐藤明彦, 大内久尚, 大淵有希子, 増田昌敬, 成田英夫, 海老沼孝郎, 佐伯龍男, 藤井哲哉: 東部南海トラフメタンハイドレート資源の生産性評価, 石油技術協会誌, 第 74 巻第 4 号, PP.311-324, 2009
- (2) 小倉勇志, 松居梓, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本正憲, 海老沼孝郎: メタンハイドレートを含む砂の分解時変形挙動, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, 第 58 回, PP.203-204, 2006

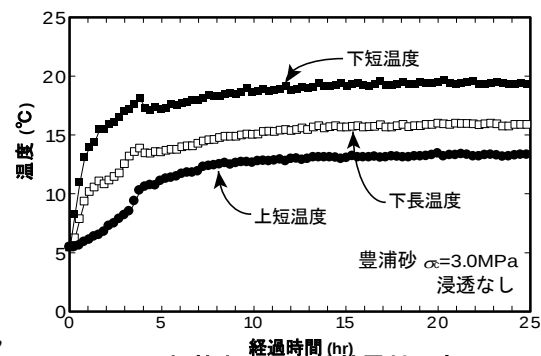


図-4 加熱中における熱電対温度

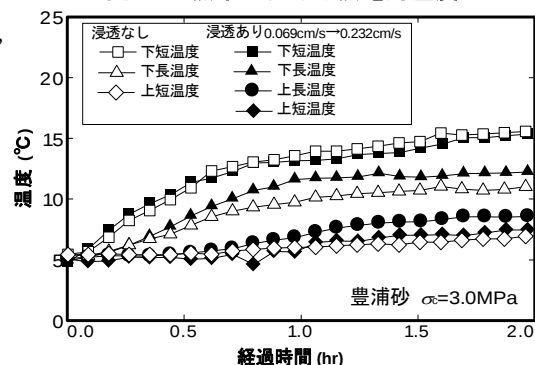


図-5 浸透の有無による温度比較

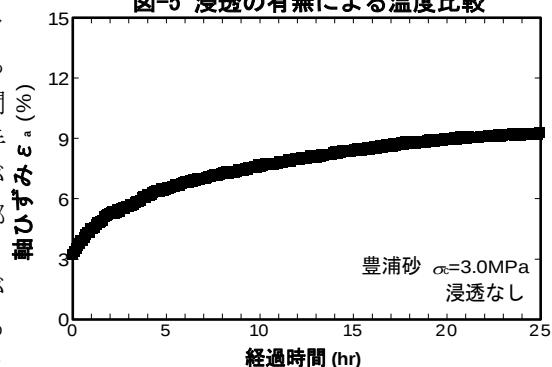


図-6 加熱中における軸ひずみ

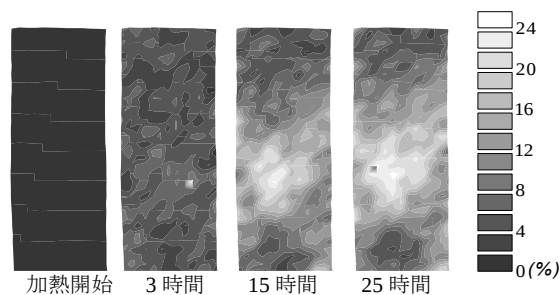


図-7 最大せん断ひずみ γ_{max} コンター図