乾燥及び飽和条件における砂の熱特性に関する基礎的研究

山口大学大学院	学生会員	○朝倉	さや香				
山口大学大学院	正会員	吉本	憲正	兵動	正幸	中田	幸男

1. まえがき

近年,日本周辺海域に存在するメタンハイドレート(以下 MH と略す)が新 たな天然ガス資源として期待されている.そして,その MH 資源開発手法の 一つとして加熱法が提唱されている¹⁾.加熱法を用いた時のメタンハイドレ ート生産時における地盤内の温度特性を理解することを目的として,砂およ び水の熱移動について,土,水,熱連成 FEM 解析コード(COTHMA)を用い て加熱試験の数値シミュレーションを実施した.

2. 実験装置の概要

本研究で用いた実験装置は恒温室内に設置されており深海底地盤の温度, 圧力を再現できる平面ひずみせん断試験機²⁾である.実験中は室内全体の空 調を管理することによりセル内の温度を調整している.供試体は高さ16cm× 幅 6cm×奥行 8cmの直方体で,中間主応力面はアクリル板で拘束することに より平面ひずみ条件を確保している.熱電対をそれぞれ供試体下部から3cm, 6cm, 12cm, 15cm に設置することで供試体内の温度の測定を行う.0~80℃ まで温度調節が可能なペデスタルヒーターが供試体底部から2cm下の位置に 2個埋め込まれており,本実験では供試体下部から加熱している.

3. 実験方法

試料に豊浦砂を用い,メンブレン内部は飽和砂(case1),乾燥砂(case2),水 (case3),空気(case4)の条件で作製する.case1,2は、目標値の間隙率 n=40(%) となるように12層に分けて突き固め,case1は通水し飽和供試体を作製して いる.その後セル内を水で満たし,case1,2,3は拘束圧 3MPa, case4 は大気圧 状態でペデスタルヒーターを80℃に保ちながら供試体下部からの加熱を行っ た.

4. 解析方法

数値シミュレーションは土,水,熱連成 FEM 解析コード(COTHMA)³を用 いて実施した.使用したモデルは実験装置を模擬した三次元モデルであり, 解析領域の概略と解析メッシュを図-1 に示す.熱電対と熱源は実験で設置さ れている位置を示しており,解析では実験同様に熱源 2 点から熱を一定に与 え続ける.解析領域の大きさは x 方向:484mm, y 方向:444mm, z 方向:280mm である.供試体の周りは水で満たされており, xy 方向における直方体の端面 2 面の温度境界を 5℃に固定した.また,供試体上面のみ水圧・ガス圧を一定 にすることで,実験と同様の排気・排水境界条件を与えた.シリコンメンブ レンの浸透率として,1.00×10⁻²⁵m²と極端に小さい値に設定することで側面に 対して非排水・非排気条件を与えた.供試体の変位境界条件は,供試体下部 と y 方向の変位を固定することで,平面ひずみ条件及び実験条件を表現している.

キーワード 数値シミュレーション,解析,温度 連絡先 〒755-0097 山口県宇部市常盤台2丁目16-1

TEL 0836-85-9005



5.実験結果と解析結果

実験結果について、加熱時の供試体内の温度の経時変化を図-2 に示す.図 中には、圧力 10MPa における MH の分解温度 14℃を黒実戦で示している. case1 において,熱電対(30mm)は約 1.1 時間後に分解温度に達し,25 時間後は約 18.62℃まで上昇している. case2 は, 熱電対(30mm)は約 3.5 時間後に分解温度 に達し, 25 時間後は約 16.54℃で上昇している. case3 は, 温水は浮力によって 上昇するため対流が生じ、どの位置も約1.0時間後に分解温度に達し、25時間 後は約19.0℃の上昇している.これより,水を含むことで熱の移動が早くなり 温度上昇することが確認できる.また, case4 より, 乾燥砂と空気の実験結果 に大きな温度差が生じず,熱移動には空気の影響は小さいことがいえる. case1 の実験値を参考に解析したときの解析モデルのパラメータを表-1 に示す.砂 及び水の熱伝導率以外のパラメータは実験値と既往の論文4,理科年表5を参 考にしている. 解析結果を case1 と比較する. 加熱時の供試体の温度の経時変 化を図-3 に示す. 温度は共に緩やかに上昇し、ある一定の位置で温度が定常 に至ることが確認できる.また、15時間後の温度に関して、供試体下端から 2cm, 4cm, 6cm 位置の解析値は実験値とほぼ一致しているのに対し、供試体 下端から 12cm, 14cm 位置は,供試体下端から 15cm 位置の実験値と約 2℃の 温度差が生じている.これより、表-1の設定では、実験値と比較し、供試体 上部まで熱が十分に伝わっていないことが確認できる.加熱開始から5時間後 までの各時間における供試体高さ方向の温度分布を図-4 に示す.実験及び解 析のいずれの結果も熱源に近い位置から温度が上昇していることが確認でき る. 実験値は供試体下部から 3cm 位置は 0.5 時間で約 5.2℃上昇しているが, 6cm位置の温度上昇は約2.2℃と低い値となった.これは解析値も同様であり、 熱源に近い供試体下端は温度上昇が急激に上昇し, その後上部まで緩やかに熱 が伝わっていることが確認できる.

6. まとめ

本研究では、低温高圧平面ひずみ型実験装置を用いて、加熱法を適用した際の土、水、空気の温度特性を調査し、土、水、熱連成コード(COTHMA)を用いて加熱試験の数値シミュレーションを実施した.この結果、どちらも緩やかに上昇しある一定の位置で温度が定常に至った.また、上部にいくにつれ実験結果と温度差が生じているため、より境界条件などの明確な実験を行い、パラメータを適切に設定する必要がある.



温度分布

本研究は, JSPS 科研費 25820216 の助成と経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業・生産手法開発に 関する研究開発」の一部として実地された.記して謝意を表する次第である.

[参考文献]

謝辞

- 1) Kurihara, M., Sato, A., Ouchi, H., Narita, H., Masuda, Y., Saeki, T. and Fujii, T. : Prediction of Gas Productivity from Eastern Nankai Trough Methane-Hydrate Peservouirs, paper OTC 19382, 2008
- Jun, Y., Masayuki, H., Norimasa, Y., Yukio, N., Akira, K. : Development of high-pressure low-temperature plane strain testing apparatus for methane hydrate-bearing sand, Soils and Foundations, Vol53, No.5, pp774-783, 2013
- 3) Yasuhide, S., Masayo, K., Kuniyuki, M., Norio, T., Takesi, K. and Tsutomu, Y.: Numerical Study on Dissociation of Methane Hydrate and Gas Production Behavior in Laboratory-Scale Experiments for Depressurization:Part3-Numerical Study on Estimation of Permeability in Methane Hydrate Reservoir, International Journal of Offshore and Polar Engineering (ISSN 1053-5381), 2009
- 4) Yasuhide, S., Masayo, K., Kuniyuki, M., Norio, T., Takeshi, K., Kazuo, A., Tsutomu, Y.: Numerical Study on Consolidation and Gas Production Behavior in a Laboratory-Scale Experiment for Dissociation of Methane Hydrate by Depressurization – Estimation of Permeability in Methane Hydrate Reservoir, Part7 -, Journal of MMIJ Vol.126 p.631-639, 2010

5) 小城 武彦, 自然科学研究機構 国立天文台:理科年表 平成 22 年 (机上版), 2013