

多相連成解析手法によるメタンハイドレート第一回海洋産出試験のシミュレーション

京都大学大学院 学生会員 ○田窪 堯

京都大学大学院 正会員 木元 小百合

大成建設 正会員 赤木 俊文

1. はじめに

近年、メタンハイドレート（以下、MH）が新しいエネルギー資源として注目されている。我が国でも MH 資源開発が進められており、エネルギー資源としての有効性を評価するため、2013 年 1 月から 3 月にかけて南海トラフにて世界初の海洋産出試験が行われた。本研究ではハイドレート分解を考慮した化学-熱-力学連成解析手法^{1,2)}を用いて、第 1 回海洋生産産出試験を模擬したシミュレーションを行った。

2. シミュレーションの概要

本研究で用いた解析手法は多相混合体理論に基づき MH 含有地盤をモデル化したものである^{1,2)}。土骨格の変形、水およびガスの流れ、ハイドレート分解、熱伝導、および内部浸食挙動を再現可能である。ハイドレート含有地盤は MH 含有地盤土粒子(S)、ハイドレート相(H)、水相(W)、ガス相(G)の 4 相から成るとし、このうち土骨格を構成する土粒子と間隙水の流れによって流動化した土粒子を流動化土粒子として区別し、5 相の仮想連続体の重ね合わせとして表現する。内部浸食は土粒子相(S)から流動化土粒子相(FS)への質量変換と流動化土粒子相の移流によって表現される。各相で各種保存則が定義され、それらから導かれる式も含めて S 相の質量保存則、H 相の質量保存則、間隙水と間隙ガスの連続式、間隙水および間隙ガスの相対流速、FS 相の移流方程式、混合体の運動方程式、混合体のエネルギー保存則を解く。

また、土骨格の構成式に MH 分解に伴う軟化を考慮した弾粘塑性構成式、分解速度式に Kim-Bishnoi の分解速度式、水分特性曲線に van-Genuchten モデル、メタンガスの構成式に理想気体の式をそれぞれ用いている。MH 分解に用いられる Kim-Bishnoi の分解速度式は式(1)で表される。ここに、 θ は温度、 $N_{mol(0)}^H$ は初期の MH のモル質量である。定数 5.85×10^{12} (1/MPa/s) はハイドレートの形や大きさに依存するが、今回は Kim-Bishnoi

(1987)によって提案されたものを用いている。

$$\dot{N}_{mol}^H = -5.85 \times 10^{12} e^{-\frac{9400}{\theta}} (f^e - f) N_{mol(0)}^{H\frac{1}{3}} N_{mol}^{H\frac{2}{3}} \quad (1)$$

支配方程式の空間離散化は有限要素法、時間離散化はニューマークの β 法を用いている。なお、本研究では内部浸食速度係数をゼロとし、内部浸食を考慮しない解析を行った。

3. 解析条件

本研究では、第一回海洋産出試験を模擬した解析を行った。表 1 に解析に用いたパラメータ、図 1 に有限要素メッシュ、初期条件および境界条件を示す。モデルは高さ 1m × 半径方向 1000 m の軸対称 1 次元モデルであり、半径方向への変形のみを許容する。図 2 に示すように、0.15 kPa/sec の減圧速度でモデル左端節点の間隙水圧および間隙ガス圧を 12.0 MPa から 4.0 MPa に減圧する。初期水平有効応力、鉛直有効応力はそれぞれ 1.5 MPa、3.0 MPa で水深 1000 m、海底面下 300 m 程度の地盤を想定している。本解析では土骨格は弾性体であるとした。

4. 解析結果

図 3～6 にそれぞれ間隙水圧、平均骨格応力、MH 飽和率、温度の分布図を示す。図 3 より時間が経つにつれ、また生産井に近い程、間隙水圧の減少量が大きくなった。また図 4～6 から平均骨格応力、MH 飽和率、温度が間隙水圧の減少に対応していることがわかる。図 7 にガス生産レートを示す。図 7 から約 1000 m³/day の定常的な生産が確認できた。試験が行われた MH 含有地盤の層厚に換算した場合、約 61000 m³/day となった。海洋産出試験ではガス生産レートは 20000 m³/day で 6 日間継続したことが報告されており³⁾、本解析ではその約 3 倍となった。これは実際には MH の含有状態の不均一性や出砂の影響などがあることが考えられる。今後は出砂の影響や地盤の鉛直方向変位について検討する。

キーワード メタンハイドレート、数値解析

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C クラスターC1 棟 581

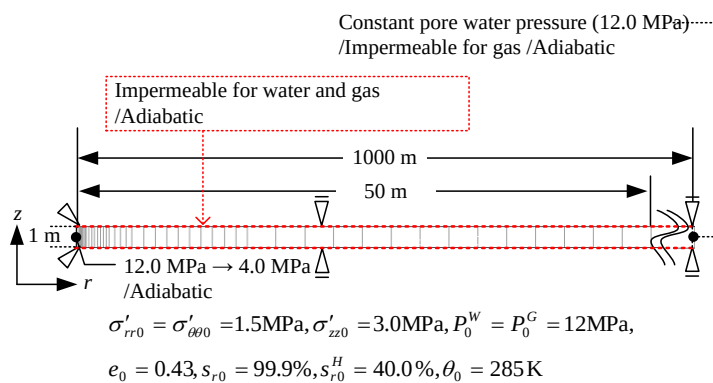


図1 有限要素メッシュ

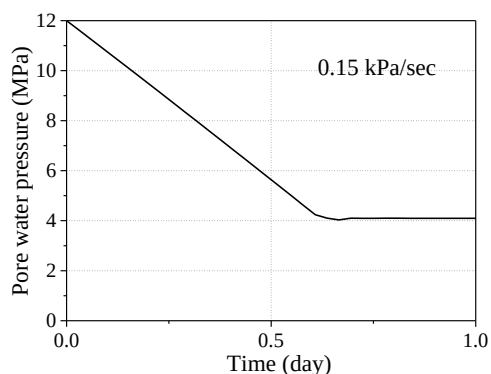


図2 間隙水圧 (減圧源)

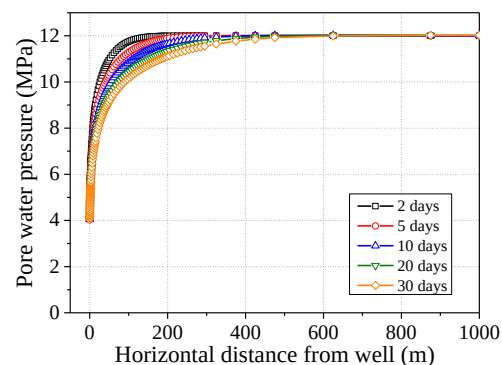


図3 間隙水圧分布

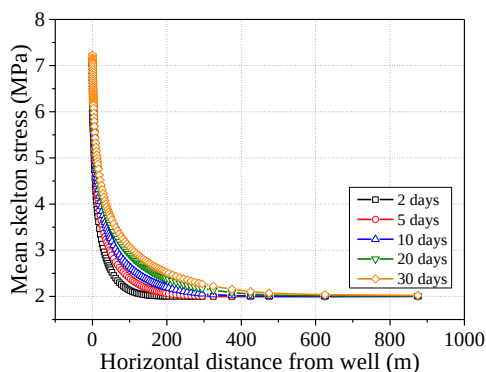


図4 平均骨格応力分布

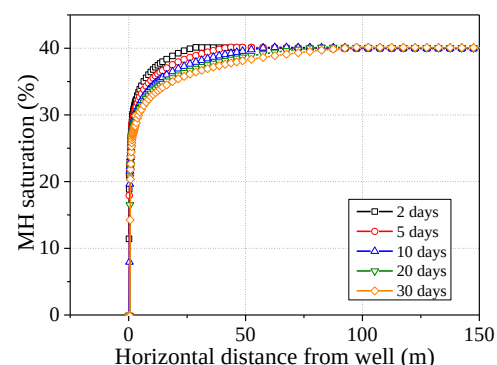


図5 MH飽和率分布

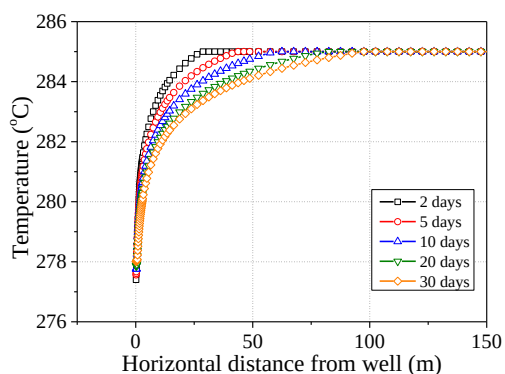


図6 温度分布

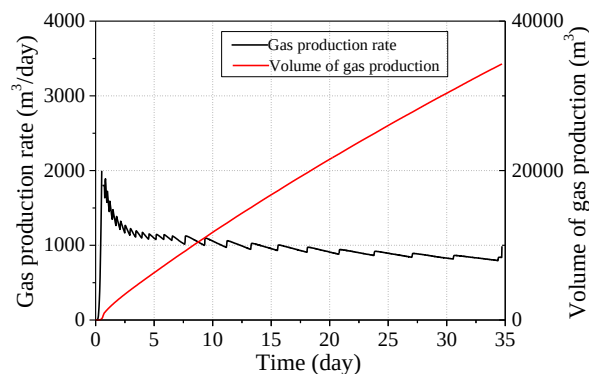


図7 ガス生産レート

参考文献

- 1) Akaki, T. Numerical analysis of earthquakes and internal erosion during gas production from hydrate-bearing sediments. Doctoral Thesis of Kyoto University, 2017
- 2) 赤木俊文, 木元小百合. 1次元軸対称問題によるメタンハイドレート生産時における内部浸食の数値解析的検討. 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), No. 3-281. 2017
- 3) Yamamoto, K. et al, 2014, Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough, in this volume, OTC-25243-MS.