

熱刺激法によるメタンハイドレート生産効率向上手法に関する基礎的研究

長崎大学大学院 学生会員 ○松山彰宏 JR 西日本旅客鉄道(株) 古賀小百合
 長崎大学大学院 学生会員 東 幸宏 フェロー会員 蔣 宇静

1. 研究背景と目的

近年、次世代エネルギー資源の可能性を持つ一つとしてメタンハイドレート(以下、MH と略す)が注目されている。MH の生産が実現すれば供給面において高い効果を発揮できると考えられるが、MH の生産・開発を行う際、地層中における MH 分解を起因として、MH を失った地盤全体は不安定となり、多大な悪影響を及ぼす可能性が危惧されている¹⁾。また、海底地盤の変形や崩壊によって、掘削している坑井が座屈し、安定したメタンの生産を行うことが困難になる恐れがある。メタンを安全かつ経済的に生産するためには、MH 堆積層の力学特性を解明しておく必要がある。本研究では、一般的な MH の生産手法である「熱刺激法」、「減圧法」、「分解促進剤注入法」の3つの中から、「熱刺激法」を対象として、温度-応力-浸透流連成解析を用いて MH 生産時における海底地盤への影響の予測及び、熱刺激法における生産効率に関する研究を目的とする。

2. MH 生産時における変形挙動評価の解析手法

2.1 解析概要

MH 生産時における海底地盤の変形挙動を精度よく予測するためには、温度の影響を考慮出来る応力-ひずみ関係モデルと MH 層の骨格・水・気体・熱を連成した解析手法が必要である。しかし、それら要素をすべて考慮した解析モデルが複雑で、計算時間が長くなることに加え、どの要素がどのように影響してくるのかが理解しにくくなる恐れがある。そこで、本研究ではまず、MH 層中の気体(メタンガス)の影響、また、MH 層中の水の流れと熱移動現象との相互作用の影響を考慮しないと仮定し、三次元有限差分法による温度-応力-浸透流解析を行う。なお、入力パラメータは既往研究²⁾で得られたデータをもとに設定した。

2.2 解析モデル

解析モデルを図-1 に示す。海面から 1000m 以深の海底地盤を対象とし、解析領域は水平方向 500m、垂直方向が海底面から 300m 以深の軸対象モデルとした。境界条件として、MH 層より上の井部分を非排水(水平方向変位固定)、MH 層の坑井部分を排水(水平方向変位固定)とした。

基本物性値を表-1 に、解析ケースを表-2 に示す。初期温度を 5℃、MH 層の初期圧力を 12MPa とした。圧力を 12MPa に固定して温度を 50℃ まで上昇させることによってメタンハイドレートを分解させる。

3. 解析結果と考察

図-2、3 に MH 層上部、海底面での 100 時間後の各地点における最大沈下量を示す。MH 層上部、海底面共に水平坑井の長さが伸びるにつれて最大沈下量は大きくなっていく。

キーワード メタンハイドレート、熱刺激法、生産効率

連絡先 〒852-8131 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部工学科社会環境デザイン工学コース

T E L 095-819-2612 e-mail: jiang@nagasaki-u.ac.jp

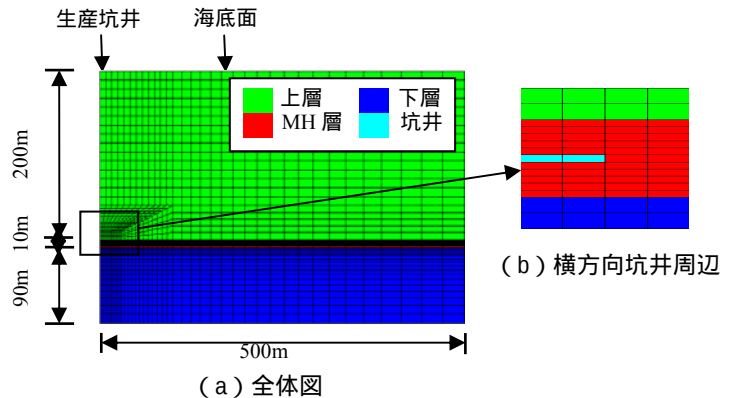


図-1 解析モデル概要

表-1 物性値

パラメータ	MH層	岩盤層
変形係数 E (MPa)	1.0×10^2	1.5×10^2
密度 ρ (kg/m^3)	3480	2450
透水性係数 k (m/s)	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-5}
粘着力 c (MPa)	1	0.3
熱伝導率 C_c ($\text{J/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$)	1.44	2.93
比熱 C_p ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)	805	712
ポアソン比 ν	0.33	
内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	30	
間隙率 n	0.4	
水の圧縮係数 K_r ($1/\text{Pa}$)	0.5	
初期温度 T_0 ($^\circ$)	5	

表-2 解析ケース

解析ケース	坑井の長さ (m)	加熱条件
Case1	5	5 → 50
Case2	10	
Case3	15	
Case4	17.5	
Case5	20	

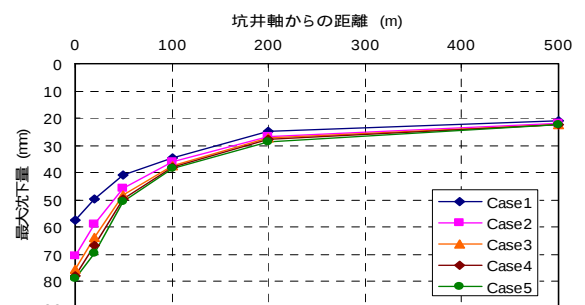


図-2 各地点における最大沈下量 (MH 層)

る．MH 層上部における沈下量は，全てのケースにおいて 100m 地点以降で近い値をとっている．これは坑井から離れるにつれ MH 分解によって生じる強度低下の影響が及ばなくなり，浸透流による圧密沈下や海底地盤の自重による沈下，海底面に負荷する水圧による沈下のみが生じているからだと考えられる．また，MH 層上部に比べて海底面での沈下量が大きくなっている．これは MH 分解による坑井付近の強度低下が上層の岩盤全体に影響を及ぼしているためと考えられる．

図-4，5 に坑井軸付近における MH 層上部，海底面での沈下量の経時変化を示す．水平坑井の長さが 15m 以上になると沈下量にほとんど差が現れない．これは周辺地盤に及ぼす影響もほとんど変わらないと考えられるが，コストや坑井の安定性を考慮すると水平坑井をより伸ばした方が効率的であるとは一概には言えないと考えられる．また，各ケースにおいて解析開始から 20 時間まではほとんど同じ沈下量となっているが，20 時間以降から徐々に沈下量に差が出始めている．これに関しては，解析開始から 22 時間後に水平坑井周辺の MH が分解され坑井周辺の地盤が強度低下していることが確認出来た．よって 22 時間時点から水平坑井周辺の地盤の強度が低下することにより地盤沈下が生じやすくなり，沈下量に徐々に差が出始めたと考えられる．

図-6 に Case2 の MH 分解範囲を示す．水平坑井の周り 1 メッシュ分(約 0.9m ~ 2.5m)分解している．その他のケースも同様に分解範囲は坑井の周り 1 メッシュ分であった．坑井の長さを伸ばせばその分 MH 生産量は増えるが MH 分解範囲は広がっていないため生産効率は良くないと考えられる．

図-7 に 100 時間後における生産坑井 1 本あたりのメタンガス生産量を示す．上記の通り MH の分解範囲はいずれのケースも坑井の周り 1 メッシュ分だけであったのでそれほど大きな変化は見られなかった．しかし，ケースごとに生産量を比較すると鉛直坑井を MH 層まで掘削した後，一本の長い水平坑井を掘削して熱刺激法を行うよりも鉛直坑井から枝分かれさせる形で複数本の短い水平坑井を掘削して熱刺激法を行った方が効率的であると考えられる．また，図-2 ~ 5 から分かるように短い水平坑井の方が地盤に与える影響も小さいことからより効率的ではないかと考えられる．

4. 結論・課題

本研究では三次元有限差分法による温度-応力-浸透流解析を実施し，MH 生産時における分解や圧密現象による沈下現象等を解析的に予測することが出来た．しかし今後は生産坑井の安定性の評価手法，MH の分解範囲を拡大して生産性を向上させる手法の確立，より正確な物性値の設定が課題として挙げられる．

【参考文献】

- 1) 青木一男他:メタンハイドレート生産に伴う地盤変形に伴う地盤変形について，資源素材 2003 (宇部) 秋季講演論文集，B4-1，pp.235-236，2003
- 2) 古賀小百合，蔭 宇静，宮城卓史:温度-応力-浸透流-連成解析によるメタンハイドレート生産時海底地盤の変形挙動の予測変化，第 67 回年次学術講演会講演概要集，pp.719-720，2012

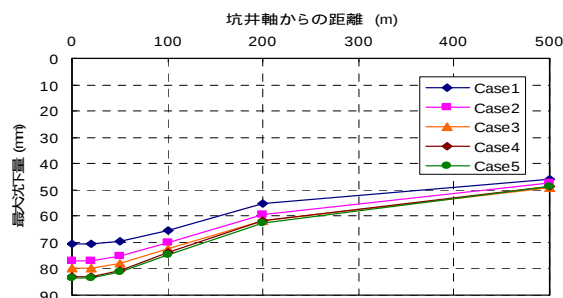


図-3 各地点における最大沈下量 (海底面)

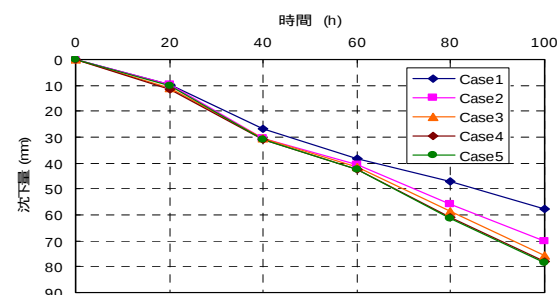


図-4 坑井軸付近の沈下量の経時変化 (MH 層)

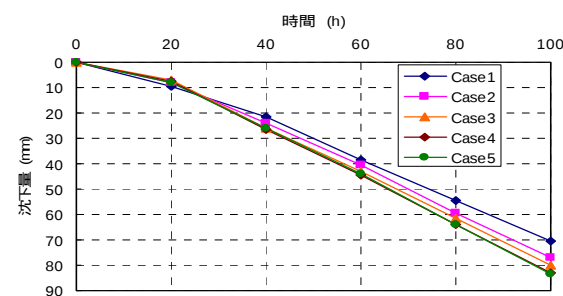


図-5 坑井軸付近の沈下量の経時変化 (海底面)

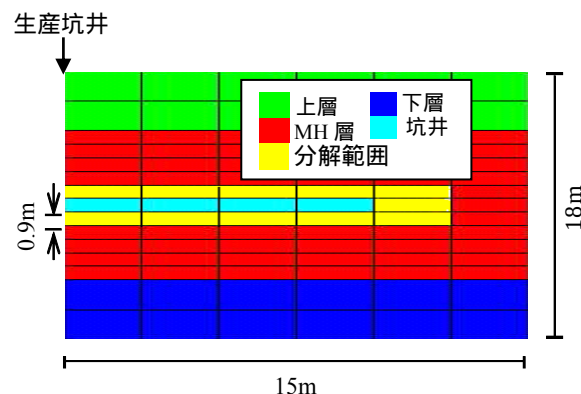


図-6 MH 分解範囲 (Case2)

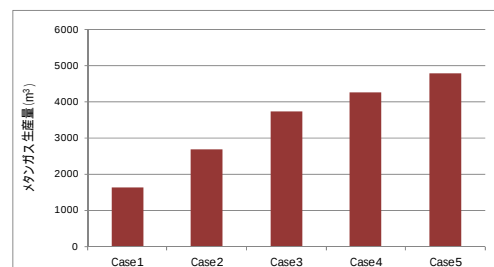


図-7 100 時間後における生産坑井一本あたりのメタンガス生産量