

メタンハイドレート生産時における海底地盤の変形挙動の解析的予測

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦
 長崎大学大学院 学生員 永浴順子 長崎大学工学部 学生員 上原浩二
 産業技術総合研究所 正会員 青木一男 緒方雄二 羽田 博憲

1. はじめに

近年、メタンハイドレート（Methane Hydrate、以下はMHと略す）は、次世代エネルギー資源として国際的に注目されている。低温、高圧下で安定するMHを分解し海底MH層よりメタンガスを生産する方法としては、MH層の温度を上昇させる方法（熱刺激法）や圧力を低下させる方法（減圧法）等が考えられている。この場合、分解に伴う堆積層の強度低下や、間隙中の流体移動に伴う生産坑井周辺の地盤変形による環境変化が危惧されており、MH生産活動が阻害される可能性が高い¹⁾。本研究では、MH生産時における海底地盤の変形特性を把握するため、応力 - 浸透流 - 熱移動連成解析モデルを用いて、有限要素解析を実施し、温度と圧力の変化が海底地盤の変形特性に及ぼす影響について考察する。

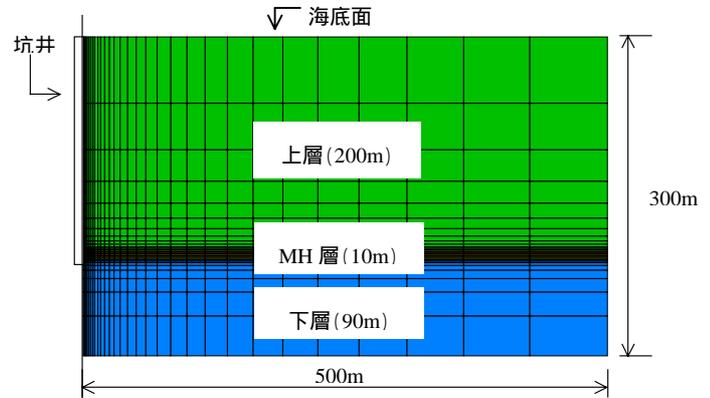


図-1 解析モデル（軸対称）

表-1 MH層等の浸透率

層別	浸透率(m ²)
上層	1.0 × 10 ⁻¹⁴
MH層	1.6 × 10 ⁻¹⁴
下層	1.0 × 10 ⁻¹⁴

2. MH層の変形挙動解析

2.1 応力 - 浸透流 - 熱移動連成解析の概要

MHを含む地盤は気液固 3 相状態であること、MHの生成・分解に伴う相変化、圧力・温度変化等の現象を伴う等、その系は非常に複雑である。従って、MH生産時における海底地盤の変形挙動を高精度で予測するには温度の影響を考慮できる応力 - ひずみ関係モデルとMH層の骨格・水・気体・熱を連成した解析が必要である。本研究ではまず第一歩として、MH層を固液 2 相状態とし、気体（メタンガス）の影響は考慮しないという仮定に基づき、有限要素解析と評価を実施した。解析には、多次元圧密問題の定式化でよく知られているBiotの 2 相混合体理論を適用した²⁾。これは、釣り合い式、有効応力則、連続式とDarcy則、応力 - ひずみ関係から構成されており、単に土の圧密現象だけでなく、土の構造骨格と間隙水の相互作用を含む力学挙動を表現することが可能なためである。

表-2 解析ケース

生産手法	解析ケース	温度・圧力の設定
熱刺激法	Case1	13 (286K) 27 (300K)
	Case2	13 (286K) 47 (320K)
	Case3	13 (286K) 67 (340K)
減圧法	Case4	12MPa 2MPa
	Case5	12MPa 3MPa
	Case6	12MPa 4MPa
	Case7	12MPa 5MPa

2.2 解析モデル

図-1 に解析に用いた要素分割図を示す。2 次元の軸対象モデルとし、図は坑井の右半分である。表-1 に解析に用いたMH層等の浸透率を示す。基本的な物性値としては、模擬供試体の室内試験³⁾を参考に、単位体積重量 20kN/m³、変形係数 100MPa、ポアソン比 0.3、粘着力 2.0MPa、内部摩擦角 20°を用いた。今回の解析では熱刺激法及び減圧法について温度及び圧力を初期状態から変化させることとし、表-2 に示すように解析ケースを決定した。初期状態は、これまでの調査結果をもとに、海底面までの水深 1000m、MH層付近の温度 13、圧力 12MPaとした。

3. 結果と考察

3.1 熱刺激法

図-2 に Case3(13 (286K) 67 (340K)) の、坑井中心より約 100m の範囲における温度の経時変化を示す。

キーワード メタンハイドレート, 地盤変形, 生産手法, 応力 - 浸透流 - 熱移動連成解析, 有限要素法

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1 番 14 号 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL095-819-2611

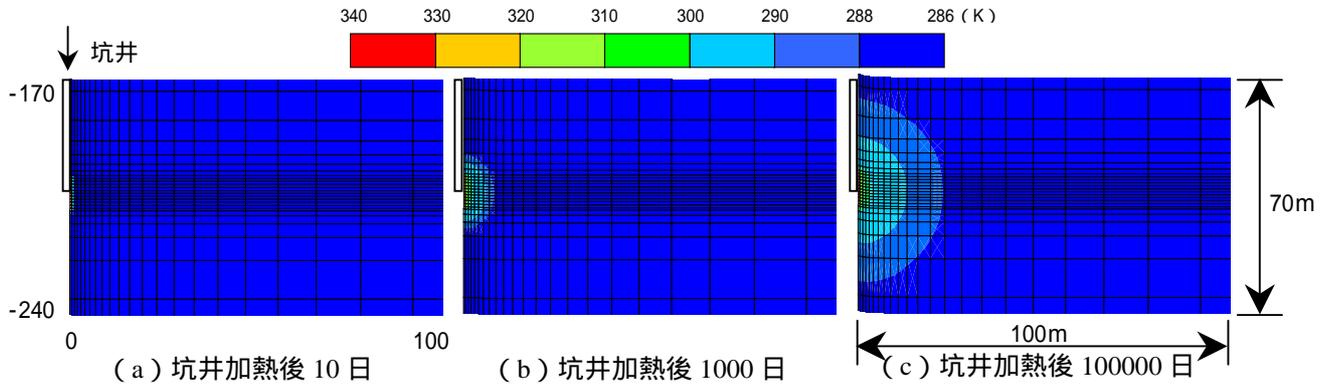


図-2 熱刺激法による温度分布の経時変化

MH 平衡関係より、MH 層は初期状態である圧力 12MPa において 15（288K）以上で分解が生じることから、分解範囲は坑井中心より 30m 程度であることが分かる。図-3 に海底面における相対沈下量の経時変化を示す。相対沈下量とは比較のため、最も大きく生じた Case4(表-2)の場合に対する比である。平衡関係が崩れると MH は瞬時に 100% 分解するよう設定していることから、沈下の経時変化曲線は階段状になっている。また、設定温度が高くなるほど沈下量が増加することが分かる。図-4 に海底面における沈下影響範囲を示す。設定温度が高くなるほど各地点の沈下量は増加しているが、沈下影響範囲はともに 400m 程度であることが分かる。

3.2 減圧法

図-5 に海底面における沈下量の経時変化を示す。熱刺激法において沈下量は階段状に変化していたが、減圧法においてその傾向は見られない。これは、MH 層内の圧力の減少による荷重は MH の分解荷重より大きく、MH 分解により生じる沈下の傾向が曲線に現れないためであると考えられる。また、設定圧力が低くなるほど沈下量が増加していることが分かる。図-6 に海底面の沈下影響範囲を示す。熱刺激法の影響範囲は坑井中心から 400m 程度であったのに対し、減圧法では 500m を超えた。減圧法においては、MH の分解と圧力低下によって圧密変形が生じるため、熱刺激法よりも沈下影響範囲は広がるといえる。

4 . おわりに

本研究では、応力 - 熱移動 - 浸透流連成解析を実施し、温度と圧力の変化が海底地盤に及ぼす影響について把握することができた。今後は MH 層の力学特性に係るデータを蓄積するとともに、MH 分解に伴う気体の影響も考慮した 3 相モデルを構築していく。

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ついて，資源・素材 2003（宇部）秋季講演会論文集，B4-1，pp.235-236，2003． 2) 大西有三他：有限要素法による応力 - 浸透 - 熱移動連成問題解析手法，土木学会論文集，第 370 号，pp.151-158，1986． 3) 蒋宇静他：模擬メタンハイドレート供試体の力学的挙動の評価について，第 39 回地盤工学研究発表会（新潟）平成 16 年度発表講演集，D-06，pp.367-368，2004．

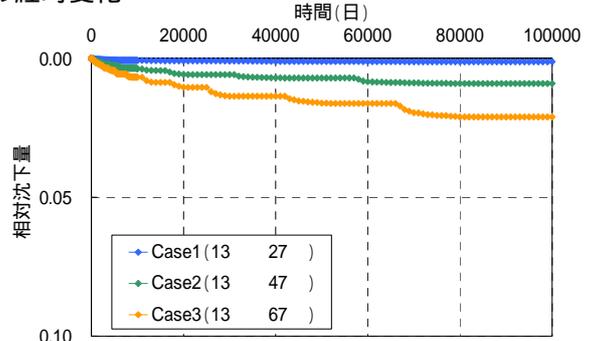


図-3 海底面の沈下量の経時変化（熱刺激法）

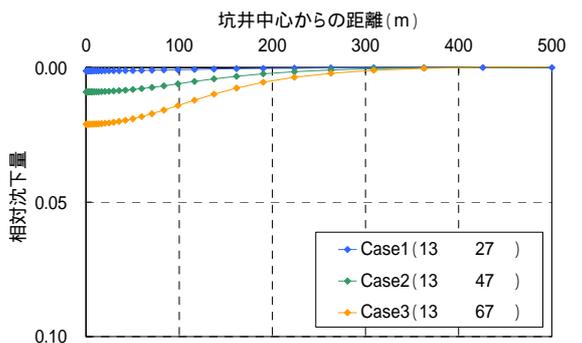


図-4 海底面の沈下影響範囲（熱刺激法）

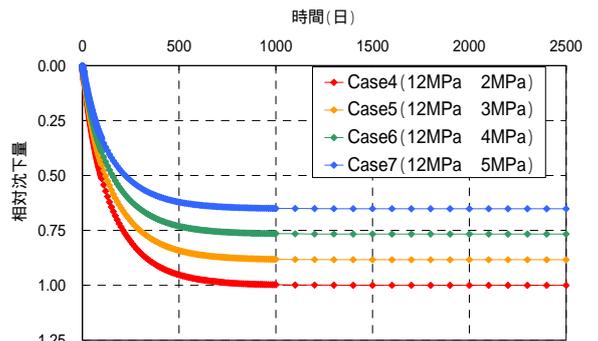


図-5 海底面の沈下量の経時変化（減圧法）

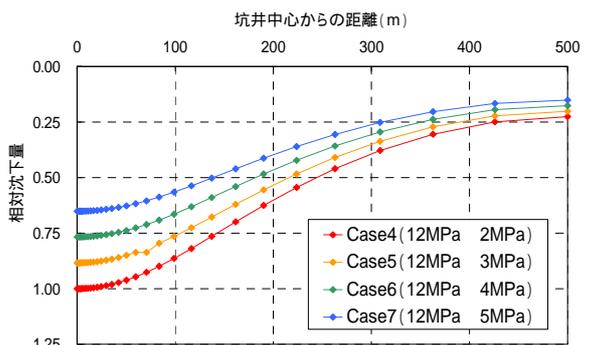


図-6 海底面の沈下影響範囲（減圧法）