

メタンハイドレート生産における海底地盤変形予測と坑井安定性評価

長崎大学工学部 学生会員○石橋由紀恵
長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生会員 福田謙太郎
長崎大学大学院 学生会員 関 振長

1.はじめに

近年、メタンハイドレート(以下MHと略す)という次世代のエネルギー資源が国際的に注目されており、日本でも様々な研究が行われている¹⁾。しかし、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、地盤全体は不安定となり、海底地盤の環境変化という悪影響を及ぼす可能性が危惧される。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。

そこで本研究は、温度-応力連成解析を行うことにより、MH 生産時における海底地盤の変形を予測し、坑井の安定性を評価することを目的とする。

2.解析の概要および解析ケース

MH は低温・高圧下で海底の堆積層中等に氷状で広く分布している。MH を含む地盤は気液固 3 相状態であるため、MH の生産・分解による温度や応力の変化、堆積層の骨格を構成する粒子の流動に伴う堆積層の変形等が生じ、この系は非常に複雑である。MH 生産手法としての熱刺激法・減圧法による温度・応力の変化が原因となり、MH 層を変形させ、海底での地盤沈下等を生じることとなる。よって、MH 生産時における MH 層の地盤変形は、熱移動・応力が関連する連成現象として考える。これらのことを考慮すると、安定した MH 開発にあたり、その変形挙動を高精度で予測するためには、MH 分解を考慮した応力-ひずみモデルと堆積層の温度-応力連成解析手法が必要である。

MH 生産に用いる熱刺激法とは、MH 層まで坑井を掘削し、地表から加熱した流体を循環し加熱することにより、MH 層中の MH を分解させ、メタンガスを発生させる方法である。一方、減圧法は MH 層の泥水の比重を下げたり、泥水の量を減らしたりすることにより、坑井内の応力を下げ、MH をメタンガスと水に分解させる方法である。

本研究では温度-応力連成問題を取り扱うことのできる三次元有限差分法による解析を行う。解析モデルを図 - 1 に、MHの分解基準を表すMH相平衡関係図を図 - 2 に、解析に用いる各種物性値を表 - 1 に示す²⁾。調査によると、初期状態では、MH層にかかる垂直応力は 12MPa、温度は 5℃である。

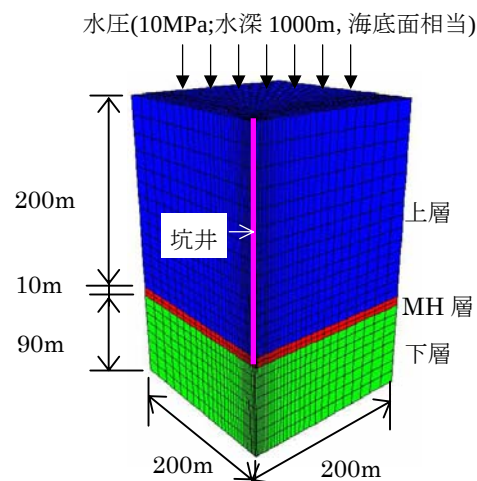
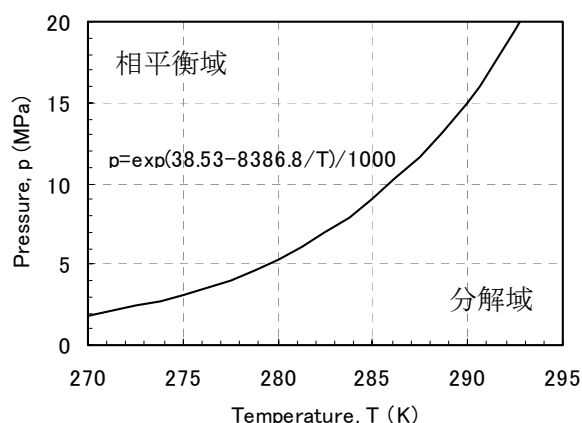


図 - 1 解析モデル

図 - 2 MH相平衡関係図²⁾表 - 1 物性値²⁾

項目	MH	岩盤
熱伝導率 (J/m・s・K)	2.09	0.21
比熱 (J/kg・K)	1050	1050
弾性係数 E (MPa)	300	400
ポアソン比 ν	0.2	0.3
摩擦角 φ	30°	35°
粘着力 c (MPa)	1	2
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	26
初期温度 T ₀ (K)	278	278

表 - 2 解析ケース

Case1	5℃→30℃
Case2	12MPa→0MPa
Case3	5℃→30℃, 12MPa→0MPa

また、坑井の半径は 1.2m に設定している。生産手法による沈下量等の相違を把握するために、熱刺激法を用いた温度解析 (Case1) と、減圧法を用いた応力解析 (Case2)、および 2 つの方法を同時に実施した場合の温度-応力連成解析 (Case3) を行う。

表 - 2 に各解析ケースにおける設定条件を示している。

3. 解析結果と考察

各ケースの海底面沈下量、坑井の側方変位をそれぞれ図 - 3、4 に示している。Case1 については温度を設定して 12 ヶ月後、Case2 については特例として 0MPa にまで減圧したとき、Case3 については温度を設定して 12 ヶ月後、0MPa にまで減圧したときの状況を示している。また 3 つのケースの中で最も変化の大きかった Case3 について、海底面沈下量の経時変化を図 - 5 に、MH 層温度の経時変化を図 - 6 に示している。

図 - 3 に示すように、海底面沈下量の小さい順に、Case2、Case1、Case3 という結果が得られた。これは、MH が高温・低圧で分解するため、熱刺激のみ、減圧のみの手法より、両者を同時に用いた場合に、分解が促進されたものと考えられる。よって、熱刺激と減圧を同時に用いる手法の場合に海底地盤に与える影響がもっとも大きいといえる。しかし、全体的に見ると沈下量は小さい。

図 - 4 に示すように、坑井の側方変位について、どのケースにおいても、MH 層の上部 30m の範囲で、MH 分解の影響を大きく受けている。変位は Case1 で 36mm と最も影響が小さく、Case2 で 38mm、Case3 で 44mm と最も影響が大きいことがわかる。よって、熱刺激と減圧を同時に用いる手法の場合に坑井の安定性に与える影響がもっとも大きいといえる。

図 - 5、6 に示すように、時間の経過に伴い、海底面沈下量は大きくなり、温度は拡散していくことがわかる。このことから、沈下量および温度の変化は時間に依存すると考えられる。

4. まとめ

MH 生産時における生産手法による海底面沈下、坑井の側方変位を比較し、MH の分解が海底地盤に与える影響を確認することができた。今後は温度・応力に加え、間隙水やメタンガスの流れも関連する連成現象として海底地盤変形をとらえ、温度-応力-浸透流連成解析を行っていく。

【参考文献】

- 1) 佐藤幹夫: ガスハイドレート(IV)ーメタンハイドレートの分布とメタン量及び資源量, 日本エネルギー学会誌, Vol.80, No.895, pp.1064-1074, 2001
- 2) 青木一男, 緒方雄二, 榊井明, 森次郎, 方火浪: メタンハイドレート生産に伴う地盤変動について, 資源・素材 2003(宇部)秋季講演会論文集, B4-1, pp.235-236, 2003

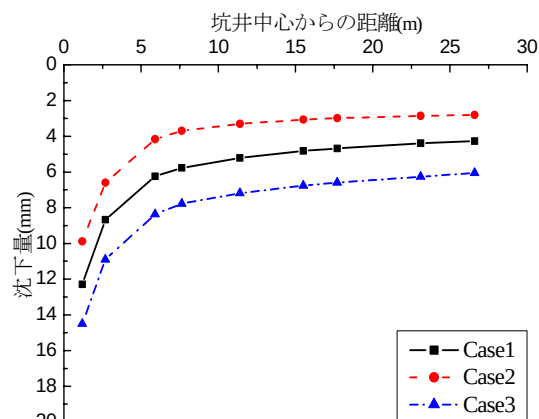


図 - 3 海底面沈下量の比較

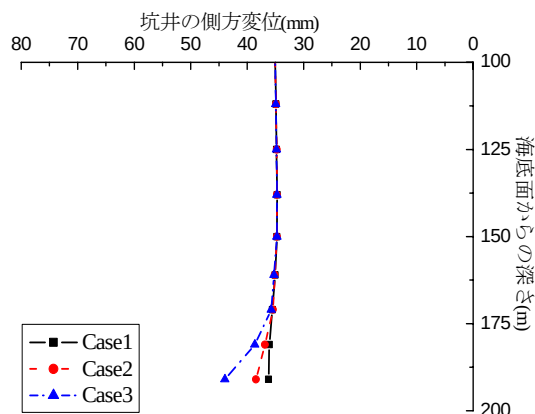


図 - 4 坑井の側方変位の比較

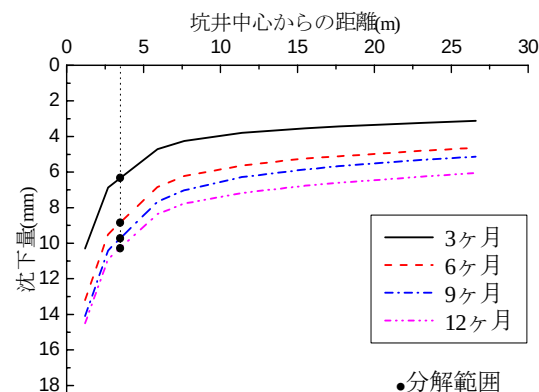


図 - 5 海底面沈下量の経時変化(Case3)

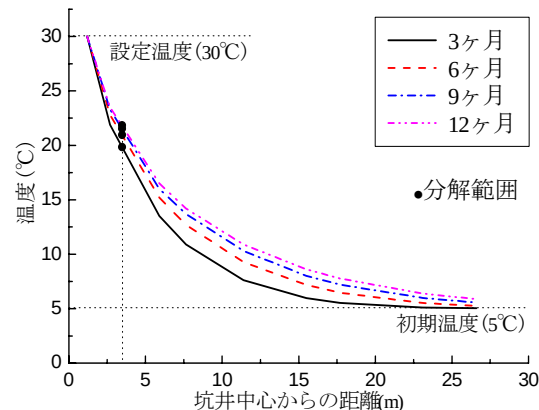


図 - 6 MH 層温度の経時変化(Case3)