

メタンハイドレート開発における生産井の設計に関する基礎的研究

覺本, 真代

<https://doi.org/10.15017/1470555>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 覺 本 真 代

論文題名 : メタンハイドレート開発における生産井の設計に関する基礎的研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、非在来型の天然ガス資源として注目されているメタンハイドレートは、メタンガスを内包し低温高压条件下にて安定な氷状の固体結晶である。日本近海の海洋堆積層中に賦存することが確認されており、国産エネルギー資源の乏しい我が国においては貴重な燃料資源として、その開発が期待されている。経済産業省資源エネルギー庁は 2001 年に「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を発表し、2030 年代の商業化に向けて現在研究開発が進められている。

深海底堆積層中のメタンハイドレート（以下、MH）からメタンガスを生産する有効な手法として減圧法が提案されている。減圧法は、地層に掘削された坑井内の水をポンプで汲み上げるにより坑底圧力を下げ、原位置にて MH を水とガスに分解させて回収する手法である。この減圧法は日本近海の東部南海トラフにて行われた第 1 回 MH 海洋産出試験にて採用され、ガスの生産に成功しており有用性が実証されている。しかし、減圧法にはいくつかの問題点が指摘されている。まず、深海底堆積層中の MH は未固結砂層の間隙中に存在しているため、本法適用時には、減圧による坑井周辺の地層中の有効応力の増加および MH 分解による砂の骨格構造の変化により地層が圧密変形することが推測されている。その際、坑井と地層との間には大きな摩擦力が発生し、坑井の引張破壊が生じる可能性が危惧されている。また、長期間の商業生産を安全に行う上で、坑井の健全性を定量的に評価することも重要な課題の 1 つである。特に、坑井と地層との接触面における摩擦に関する研究例は少なく、坑井に作用する応力の影響を十分に把握できていない。

本研究では、坑井と地層間の接触面を模擬した異種材料間に発生する摩擦力を評価する試験方法を開発し、その試験結果を数値解析に反映させることにより既存の MH 分解・地層変形挙動予測シミュレータの改良を行った。さらに、減圧法適用時に坑井に作用する応力に関する感度解析を行い、MH 開発における坑井の最適な設計について提案を行った。

本論文は 5 章からなる。

第 1 章では、MH の化学的特性および存在可能な地域について言及し、MH 層からのガス生産手法の一つである減圧法を解説した。そして、減圧法による問題点および研究課題を抽出し、本研究の目的を明らかにした。

第 2 章では、有限要素法を用いた MH 分解・地層変形挙動予測シミュレータ“COTHMA”の機能を検証するために、模擬地層を用いた MH 室内分解実験結果のヒストリーマッチングを行った。その結果、分解によって生じるガスおよび水量、模擬地層内の温度分布、模擬地層の変位量の実測値によく一致する解析結果が得られ、COTHMA の有用性を確認できた。次に、フィールドスケールに拡張した簡易地層モデルおよび単管の坑井モデルを作成し、平成 15 年度基礎試錐「東海沖～熊野灘」より得られた地層パラメータ（絶対浸透率、初期孔隙率、MH 初期飽和率）の値を与え減

圧法を想定した解析を行った。解析結果を用い、MH 分解による坑井周辺の地層の変形および坑井に作用する鉛直応力を検討した。その結果、減圧に伴う MH の分解は時間の経過とともに坑井周辺に広がり、減圧区間を中心に地層の圧密変形が生じることを明らかにした。坑井のケーシングに作用する応力の中でも最も大きな値を示す鉛直応力に関しては、本解析に用いた坑井モデルでは圧縮を示し、その値は時間の経過とともに増加することを確認した。特に減圧区間においては減圧区間外と比べ大きな圧縮応力が作用する結果が得られた。

第 3 章では、MH 賦存域に相当する拘束圧を負荷することができる押し抜き試験装置を開発し、坑井および地層との接触面を模擬した押し抜き試験を実施した。円筒形の供試体（直径 10cm、高さ 10cm）の中心部にはケーシングあるいはセメント部を模擬した直径 3cm の円柱が埋め込まれている。坑井と地層との間にはケーシングーセメント部、ケーシングー地層そしてセメント部ー地層の 3 種類の接触面が存在する。それぞれの接触面に対応する摩擦強度を実験により求め、摩擦強度を有効拘束圧、鋼棒の表面粗さ、砂の平均粒径の関数として表現する実験式を新たに提案した。また、3 種類の接触面のうち、ケーシングーセメント部接触面の強度が最も大きく、ケーシングー地層接触面およびセメント部ー地層接触面の強度は同程度であることを見出した。さらに、ケーシングーセメント部接触面においては有効粘着力が、ケーシングー地層接触面およびセメント部ー地層接触面においては有効摩擦角が摩擦強度に対して支配的であることを明らかにした。

第 4 章では、第 3 章にて得られた異種材料間の摩擦強度を接触面パラメータ値として用い、坑井に作用する応力の数値解析を行った。まず、坑井の減圧区間をケーシング仕上げおよび裸坑仕上げとした場合の 2 種類の坑井モデルを作成しケーシングに作用する鉛直応力の感度解析を行った。その結果、ケーシング仕上げでは圧縮応力が、裸坑仕上げでは引張応力がケーシングに作用し、減圧区間仕上げの違いによりケーシングに作用する鉛直応力の方向が逆になることを見いだした。また、ケーシング表面粗さおよびセメント強度を変えた解析では、ケーシング表面が滑らかな場合にケーシングーセメント部接触面においてすべりが発生し、ケーシングに作用する鉛直応力および変位量が抑制されることを示した。最後に、海洋産出試験に用いた坑井の形状をベースとして、ケーシングの段数、セメンチング区間、そして、ケーシング口径を変えた 4 種類の坑井モデルを作成し、坑井に作用する鉛直応力および周辺地層の変位量に及ぼす影響について感度解析を行った。その結果、すべてのモデルにおいて、減圧区間上端から約 20m 上で坑井に作用する引張応力が最大となるものの、モデルによる鉛直応力の最大値に差は認められなかった。本章のまとめとして、MH 生産井の健全性の担保を目的とした坑井設計を検討した結果、最適な設計は減圧区間を裸坑仕上げとし、表面が滑らかなケーシングを使用したケーシング 2 段セメント中抜き坑井であると結論づけた。

第 5 章では、本研究の内容をまとめ、結論とした。