

二酸化炭素ハイドレートの力学的特性評価に関する実験的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○福田謙太郎

長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦 正会員 蔣 宇静

1.はじめに

近年、メタンハイドレート (Methane Hydrate、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。しかし、MH生産により坑井周辺の海底地盤に大きな影響を与える可能性がある。そこで、安定的に生産するためにMH層上部の堆積層に二酸化炭素ハイドレート (以下、CO₂-Hydと略す) を成長させ、人工天盤を構築し、地滑りを防止すると共に、生産時に分解したメタンガスの上層への拡散を抑制しようとする手法等が提案されている。

本研究では、CO₂-Hyd形成の可能性を知るための基礎的研究として、海底下の堆積層を模擬した条件下で、混合ガスを用いたCO₂-Hyd供試体の三軸圧縮試験を実施し、CO₂-Hydの物質特性を明らかにすると同時に模擬MHの物質特性との比較検討を行う。

2.実験概要2.1 試料作製

円柱状の金型 (内径 50mm、高さ 100mm) に豊浦標準砂と水を、気泡が入らないように注意しながら振動機でゆっくりと最密充填させる。充填後、水の飽和度が 40 または 50%になるようにシリンジを用いて水を抜き、その試料を金型ごと冷凍庫で約 1 日冷凍し固めた。

2.2 CO₂-Hyd生成

図 1 にCO₂-Hyd生成の概念図を示す。2.1 で得られた試料を三軸圧縮試験装置 (載荷容量: 200 k N、側圧載荷容量: 20MPa、間隙圧載荷容量: 20MPa、圧力容器内温度制御: -30°C~+20°C、半径方向変位: 最大 5mm) の圧力容器内にセットし、容器内を不凍液 (ナイブライン) で満たす。外部の制御コンピュータにより容器内を温度 6°Cまたは 2.5°C、側圧 9、10、12MPa、間隙ガス圧 8MPaの生成条件とし、試料中にCO₂ガスを浸透させCO₂-Hydを生成し、模擬コアを作製した。CO₂ガスの付加時間を変化させることで、試料中のCO₂-Hyd飽和度を調整した。

2.3 三軸圧縮試験

試料内に残存しているCO₂ガスをそのままにして水置換を行わずに非排水($\bar{C}U$)条件下で三軸圧縮試験を行い、軸荷重、軸変位量および半径変位量を測定した。なお、載荷条件はCO₂-Hydの生成条件と同じとした。CO₂-Hyd生成時や三軸圧縮試験時においては、側液を循環させながら温度を±1°Cの精度で制御し一定に保った。

2.4 CO₂-Hyd生成量

CO₂-Hydの生成量は間隙圧を減圧することで、CO₂-Hydが分解して得られたガス量を測定して求めた。CO₂-Hyd分解ガス量V_{CO₂}(Nm^l)は、全回収量から、孔隙、配管等の空間容積中のガス量を差し引いた残量とした。また、CO₂-Hyd飽和度(S_h)は、CO₂-Hyd分解ガスのモル数から求めた生成CO₂-Hydの 1molの質量 147.5g(水和数 5.75 として計算)とCO₂-Hydの密度 1.112(g/cm³)から、試料の全孔隙に占めるCO₂-Hydの体積比率として求めた。図 2 に試料の構成を示す。

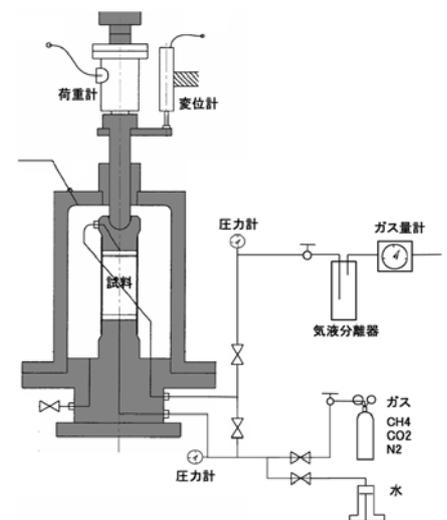
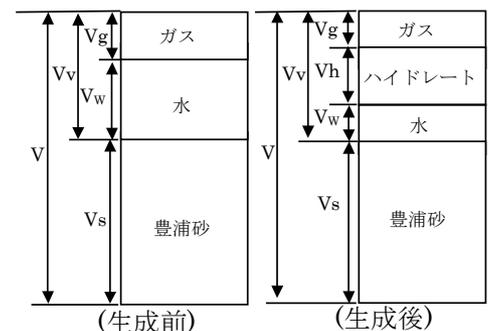
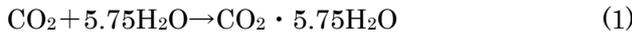
図 1 CO₂-Hyd生成概念図

図 2 試料の構成



$$V_h = \frac{V_{\text{CO}_2}}{22.4 \times 10^3} \times \frac{147.5}{1.112} [\text{cm}^3] \quad (2)$$

$$S_h = \frac{V_h}{V_v} \times 100 [\%] \quad (3)$$

3.結果と考察

3.1 応力-ひずみ関係

非排水($\bar{C}\bar{U}$)条件下で行った三軸圧縮試験の軸差応力と軸ひずみの関係を図3に示す。図から、温度6℃より温度2.5℃のほうが強度が高いことが分かる。これはCO₂-Hydの生成条件が低温高压下であることから、温度の低い方がよりハイドレートが生成され、その結果強度の増加につながったと考えられる。

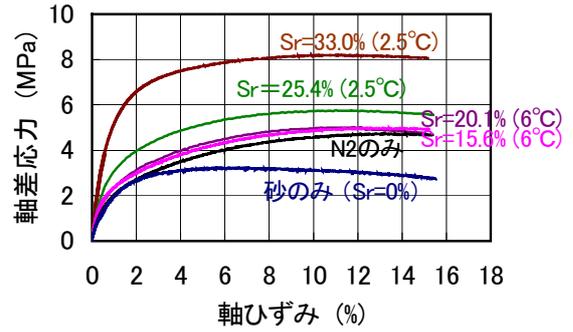


図3 CO₂-Hyd飽和度と軸差応力の関係 (試験条件: 非排水, 側圧: 9MPa, 背圧: 8MPa)

3.2 CO₂-HydとMH模擬供試体の強度の比較

CO₂-HydとMHの生成条件、CO₂-HydとMHの飽和度と最大軸差応力との関係をそれぞれ表1、図4に示す。全体として飽和度の増加に伴い最大軸差応力が線形的な増加を示した。図4に見られる飽和度0%における最大軸差応力は砂のみの試料を表す。砂のみの試料と比べると、他の試料はCO₂-HydやMHの生成で砂粒子間の間隙が充填したため強度が増加したと考えられる。また、CO₂-Hydは非排水条件、MHは排水条件で試験を行っていることから前者のほうが飽和度に伴う強度の増加率が大きくなっている。前者の方は比較的低い飽和度でも砂のみの試料より高い強度を示しているのに対し、後者は飽和度が40%未満のものは砂のみの試料と同程度の強度であった。これはMHの場合においては40%未満の試料ではMH飽和度の生成量が少ないため、砂粒子間の間隙を十分に充填させることができなかったためだと考えられる。また、CO₂-Hyd飽和度が低くても高い強度を示したのは、試験を非排水条件で行った理由の他に今回はCO₂とN₂の混合ガスを用いており、何らかの原因でCO₂-Hydの籠状の中にN₂が入ったためと考えられる。

表1 CO₂-HydとMHの生成条件

項目	値
温度	6℃(CO ₂ -Hyd), 5℃(MH)
側圧	9MPa
間隙ガス圧	8MPa

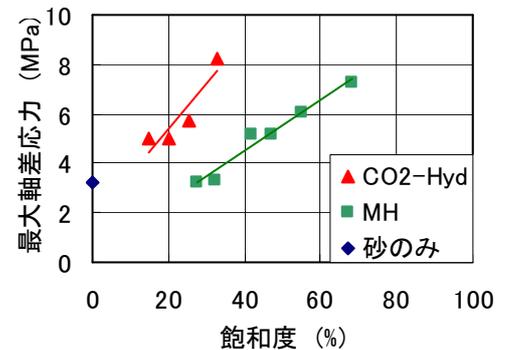


図4 CO₂-HydとMHの飽和度と最大軸差応力との関係

4.おわりに

CO₂-Hyd試料を用いた三軸試験より原位置条件でのCO₂-Hydの強度特性を把握することができた。また、CO₂-HydとMH両供試体の強度比較を行うことで、CO₂-Hydの生成が人工天盤の役割を担う可能性があることを明らかにした。今後は、より原位置に近い条件下で強度試験を行って更なる基礎データを取得していく必要がある。

謝辞

本研究の実施に協力して下さった(独)産業技術総合研究所メタンハイドレートラボの方々には深く感謝の意を表します。

【参考文献】 1) 羽田他: 二酸化炭素ハイドレートによる人工天盤を用いたメタンハイドレート開発に関する基礎的研究, 資源・素材(春季), pp.59~60, 2005, 2) 梶井他: メタンハイドレート模擬試料の強度特性について, 資源・素材(春季), pp.49~50, 2005, 3) 梶井他: 三軸圧縮強度におよぼすメタンハイドレート飽和率の影響について, 資源・素材, p.275, 2004