

メタンハイドレートを含む砂の分解時変形挙動

山口大学大学院 学生会員○小倉勇志 松居梓

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

(独) 産業技術総合研究所 非会員 海老沼孝郎

1. はじめに 現在、エネルギー資源の枯渇、地球温暖化などの背景をうけ、新たなエネルギー資源であるメタンハイドレート(以下 MH)が注目されている。MH は高圧、低温条件下において存在し、その化学的性質から日本近海では南海トラフなど水深 1000m を超える深海底地盤の間隙中に存在していることが知られている¹⁾。現在、MH の採取に際しては、加熱法もしくは減圧法により、MH を分解し、メタンガスとして取り出す方法が有力視されている。MH は一般に、海底の砂地盤内に砂粒子を固結する状態で存在していると考えられている。そのため、MH を掘削し採取するにあたっては、MH が分解し、固結力が消失することによる海底地盤の沈下や変形、そして、それに伴うメタンガスの遺漏等が危惧されている。本研究では MH が存在する深海底地盤の温度、圧力条件が再現できる三軸試験装置を用いて、セル内に設置した砂供試体内に MH を生成させ、この MH 混合砂のせん断強度を調べる。また生産時を模擬して、温度の変化により MH を分解し、それに伴う地盤の変形挙動を把握することを目的とした。

2. 試験機および試験方法 本研究で用いた試験機の特徴について述べる。試験機外部に設置された循環式低温高温水槽により -35~+50℃ の範囲で温度調整された側液を循環させ、三軸セル内部の温度条件を調節できる。また、低温域での試験を行うため、側液は凝固点が低く -40℃ まで液体として使用可能であるオーロララインを用いた。軸荷重載荷方法はひずみ制御、応力制御ともに可能である。拘束圧は油圧式で、最大 30MPa の負荷が可能である。背圧は密閉容器内にステッピングモーターにより、シリンダーを挿入することで、最大 20MPa の負荷が可能である。また供試体は任意の MH 飽和率 S_{MH} の供試体を作成するため、目標とする MH 飽和率から算出した水の質量と、相対密度 90% となるよう算出した砂を混ぜ合わせ、タンピング法で供試体を作製した。試料を詰めたモールドは供試体を自立させる為、冷凍庫内で凍結保存する。供試体サイズは直径 30mm、高さ 60mm、試料は豊浦砂を用いた。生成条件を背圧(ガス圧)4MPa、拘束圧 0.2, 9MPa、温度 1℃、試験条件を背圧 10MPa、拘束圧 15MPa、温度 5℃ の場合について MH 生成からせん断試験までの供試体が受ける温度・圧力条件履歴を図-1, 2 に示す。図のような温度・圧力履歴は、松居ら²⁾が CO₂ハイドレートを作製した時と同様の手順である。ただし、図中の数値に示されるように、CO₂ハイドレートと MH では生成条件が

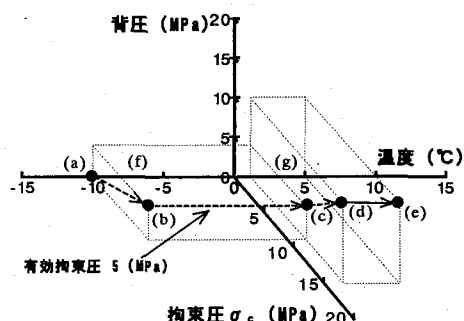


図-1 MH 生成からせん断試験までの温度・応力条件

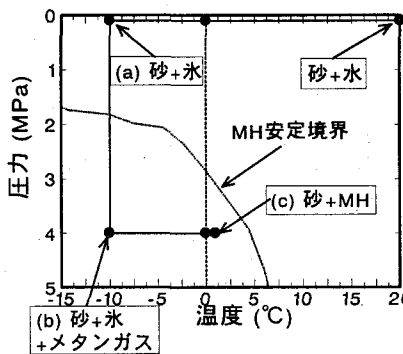


図-2 生成時の温度・圧力条件

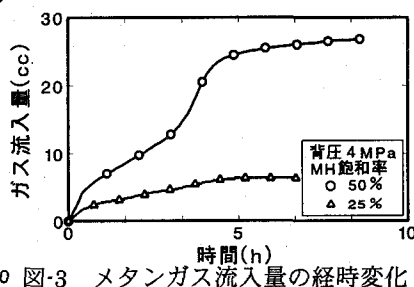


図-3 メタンガス流入量の経時変化

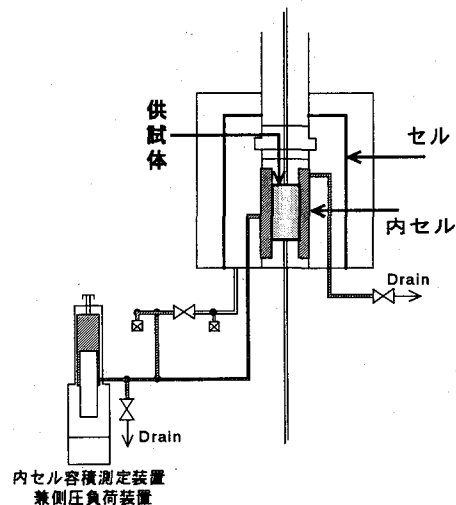


図-4 試験機配管図

図のような温度・圧力履歴は、松居ら²⁾が CO₂ハイドレートを作製した時と同様の手順である。ただし、図中の数値に示されるように、CO₂ハイドレートと MH では生成条件が

異なるため、MH の生成条件を満足するように履歴を与えている。流入量を随時監視し、図-3 に示すように、ガス流入の顕著な増加が認められなければハイドレート化が完了したと判断した。MH 生成後、経路の中の圧力を保ったままガスを水に置換し、通水を行った。経路を水で満たした後、背圧・拘束圧を試験条件に設定し、圧密後、MH の分解実験を行った。また、MH を分解させる際には、排水された間隙水の中にガスが含まれているため、排水量をそのまま体積変化とすることができない。そこで、本研究では、試験機を二重セル方式へと改良し、二重セル内のセル液の体積変化を測定し、供試体の体積変化と置き換えることで、分解中の供試体体積を求めている。この体積変化測定のための配管図を図-4 に示す。

3. 試験結果と考察 せん断過程における分解実験について述べる。MH 生成時の応力条件は有効拘束圧 5MPa で行い、この応力を保ち、試験条件である背圧 10MPa、拘束圧 15MPa にした。この状態から所定の軸ひずみまでせん断試験を行い、せん断時の軸荷重を保持するよう制御しながら分解実験を行った。所定の軸ひずみ 1,3,5% までせん断試験を行い、せん断時の軸荷重を保持するよう制御しながら分解実験を行い、その分解挙動を調べた。

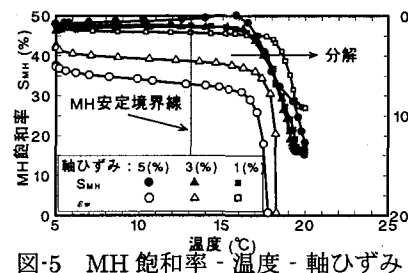


図-5 MH 飽和率 - 温度 - 軸ひずみ

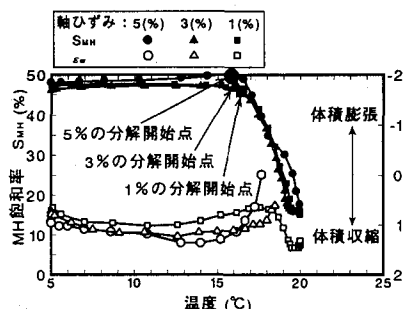


図-6 MH 飽和率 - 温度 - 体積ひずみ

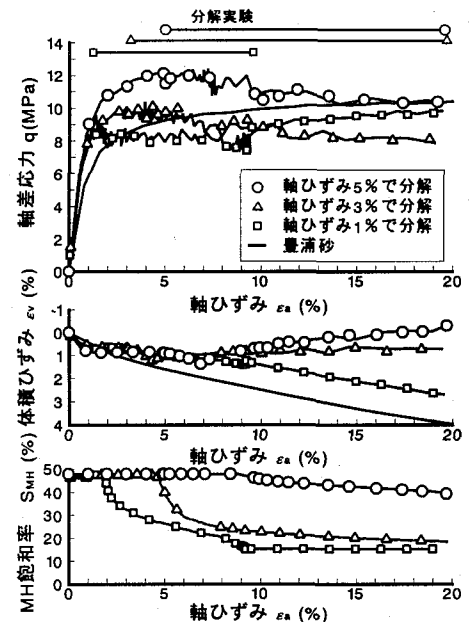


図-7 せん断過程における分解挙動

また試験機の性能上、軸ひずみが 20%に達したところで分解実験を終了した。分解実験時の温度の上昇に伴う MH 飽和率、軸ひずみの変化を図-5 に、体積ひずみの変化を図-6 に示す。分解実験を行い、軸ひずみが 20%に至るまでの軸差応力、体積ひずみ、MH 飽和率の変化を軸ひずみに対して示したのが図-7 である。所定の軸ひずみまで達して、温度を上昇させてもすぐに分解するわけではなく、MH の安定境界を越えてから分解する。本研究では、MH 飽和率の変化が急激に現れ始めるところを分解開始と考えた。図-6 より、いずれの実験においても 16~17°C 付近で MH 飽和率の変化が急激に起こっていることが伺える。まず、軸ひずみ 1%で分解実験を行ったものに関しては、せん断後の分解実験において、分解が開始した直後は少し体積膨張したが、軸ひずみの進行と共に体積変化は最終的に収縮傾向となった。その後、引き続き軸ひずみ 20%までせん断を行った結果、分解後のせん断挙動は豊浦砂単体の挙動へと近づいていくことが伺える。次にせん断時の軸ひずみ 3,5%で分解した場合について述べる。1%で分解した場合の体積変化は収縮傾向を示すのに対し、軸ひずみ 3,5%で分解した場合は膨張傾向を示した。また、その変化も急激であり、せん断ひずみが進行している 5%で分解した場合の方が顕著に現れた。軸ひずみについては、軸ひずみ 1%での実験のみ分解終了時に 20%に達しなかったが、それ以外は 20%を超えており、せん断変形を受けているような場合には、せん断の進行につながるものが想定される。

4. まとめ MH分解時の挙動について、体積変化の傾向はMH分解開始時の応力状態の影響受け膨張傾向、あるいは収縮傾向に変化する。また軸ひずみについてもその発生量が異なり、軸ひずみが大きい時は、計測できないほど大きく変形した。

【参考文献】：1)前川竜男 “室内合成実験による天然ガスハイドレートの物理化学的性質の解明” 地質ニュース 510 号 18-24 項 1997 年 2)松居梓ら “砂中における二酸化炭素ハイドレートの生成と力学特性” 第 40 回地盤工学研究発表会 423-424 項 2005 年