

山口大学大学院 学生会員 ○梶山 慎太郎  
 山口大学大学院 正会員 兵動 正幸 正会員 中田 幸男  
 山口大学大学院 正会員 吉本 憲正 学生会員 加藤 晃

**1. まえがき** 現在、メタンハイドレート(Methane Hydrate:以下、MH と略す)の主な生産手法として、MH が多量に存在する地層(以下、MH 濃集層と略す)にかかる水圧を下げることで、MH を分解しメタンガスを回収する減圧法が考えられている。しかし、MH は地盤の間隙中に不均一に存在するため、分解によって地盤変形も不均一で局部的に発達すると考えられている<sup>1)</sup>。また、研究開発が行われている南海トラフにおいて、MH 濃集層はタービダイトと呼ばれる砂泥互層となっており、各層で MH の分解が地盤に与える影響が異なると考えられている<sup>2)</sup>。本研究では、供試体の観察が可能な恒温高压平面ひずみ実験装置により、細粒分含有率の異なる試料を用いた MH の分解実験を行い、その分解時の挙動の違いを評価することを目的とした。

**2. 実験装置<sup>1)</sup>の概要** 本実験で用いた実験装置は温度、圧力を管理でき、MH が存在可能な深海底地盤の温度、圧力条件を再現できるものである。供試体は、高さ 160mm×幅 60mm×奥行き 80mm であり、メンブレンの観察側に 5mm×5mm のメッシュを描いた。実験中の供試体の局所的変形挙動の観察は、デジタル一眼レフカメラを用いてリモート制御によるタイマー撮影により行う。供試体背面に LED を設置し圧力セル内を照らして、供試体を観察する。得られた供試体画像のメッシュの交点を読み取り、PIV 解析により局所変形の計測を行う。本実験では供試体下端から 60mm, 30mm の位置に熱電対を設置し、供試体内の温度変化を測定できるようにしている。

**3. 実験方法** 試料として MH 濃集層で細粒分を多く含む斜交葉理層を模擬した試料( $F_c=22.9\%$ 、以下、 $T_c$  と略す)と、豊浦砂を用いた。これらをホスト砂とし、MH を生成させることで MH 固結砂を作製した。供試体の作製にあたっては、目標の MH 飽和率  $S_{MH}(\%)=50\%$  となるよう、試料の含水比を調整し、湿潤突き固め法により、12 層に分けてタンパーで間隙率  $n=40\%$  となるように供試体を作製する。その後、温度  $5^\circ\text{C}$ 、間隙圧を  $5\text{MPa}$  に保ちながらメタンガスを注入し、時間をかけて MH に置換する。その後、供試体の残りの間隙を水で飽和させ、間隙水圧を  $10\text{MPa}$ 、有効拘束圧  $3\text{MPa}$  の条件で圧密する。圧密後、それぞれのホスト砂の強度よりやや大きい目のせん断応力を加えた後に  $3\text{MPa}$  まで間隙水圧を減圧し MH を分解させた後、 $10\text{MPa}$  まで間隙水圧回復を行った。実験におけるせん断速度は  $0.1\%/\text{min}$ 、減圧および水圧回復速度は  $0.5\text{MPa}/\text{min}$  とした。なお、MH 分解実験は実際の生産時における生産井からの減圧を想定し、減圧は上部のシンジポンプのみを制御して、一方向からのみ行った。

**4. 実験結果**  $T_c$  および豊浦砂をホスト砂とする MH 固結砂での減圧法による MH 分解実験で得られた応力経路をそれぞれ図-1 および図-2 に示す。図中の英記号はそれぞれ、(a), (a)'は減圧開始地点、(b), (b)'は圧力を  $3\text{MPa}$  まで下げ終えた地点、(c), (c)'は MH の分解を終えた地点、(d), (d)'は間隙水圧の回復により供試体が破壊に至った点を示している。MH 分解の終了後に間隙水圧を回復させると、有効応力はそれぞれのホスト砂の破壊線に達した後、破壊線に沿うよう

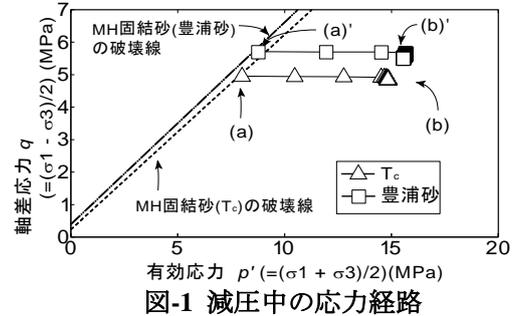


図-1 減圧中の応力経路

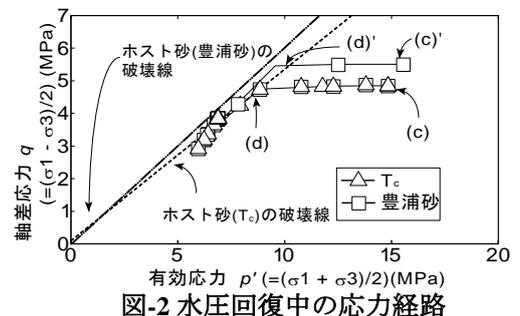


図-2 水圧回復中の応力経路

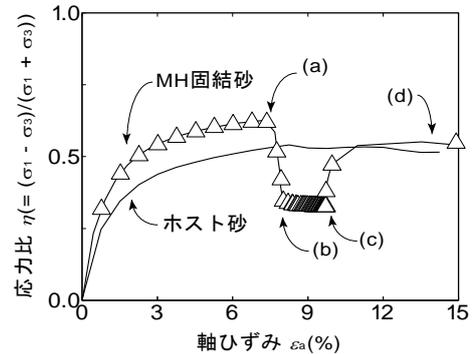


図-3  $T_c$  をホスト砂とする試料での MH 分解時の応力比—ひずみ関係

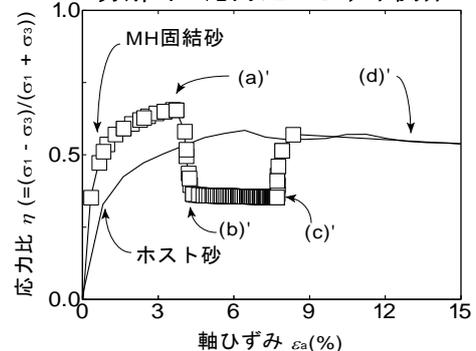


図-4 豊浦砂をホスト砂とする試料での MH 分解時の応力比—ひずみ関係

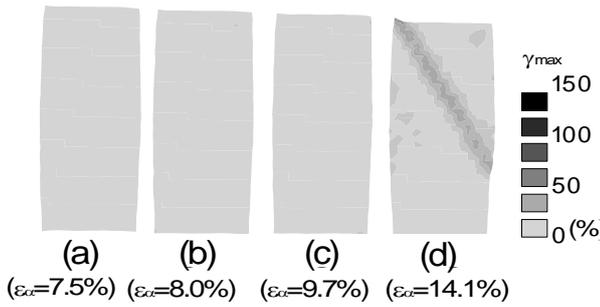


図-5 T<sub>c</sub>の最大せん断ひずみ  $\gamma_{max}$  コンター

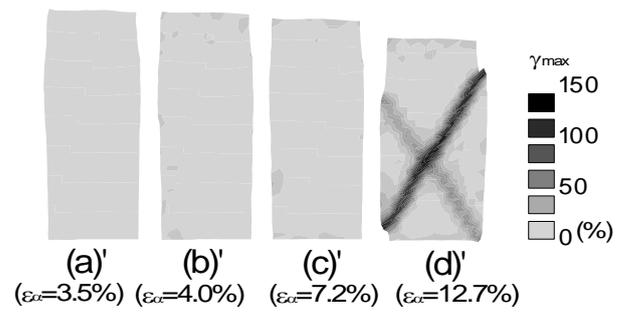


図-6 豊浦砂の最大せん断ひずみ  $\gamma_{max}$  コンター

に減少している。図-3, 図-4 に T<sub>c</sub> および豊浦砂における分解実験中の応力比  $\eta = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$  と軸ひずみ  $\epsilon_a$  の関係をそれぞれ示す。図中の英記号は、図-1 および図-2 中の英記号に対応している。両実験ともに、間隙水圧回復過程において、応力比がホスト砂の強度に達した後、軸ひずみが進行し供試体は破壊に至ることが確認される。図-5 および図-6 に、それぞれの最大ひずみコンターを示す。図より、ホスト砂の強度に達した供試体は、せん断帯を形成して局所的に破壊が進行していることが確認される。また、T<sub>c</sub> の方が豊浦砂に比べ、せん断帯が形成される軸ひずみの値が大きいことが明らかである。T<sub>c</sub> および豊浦砂それぞれの MH 固結砂における分解開始から 1 時間経過したときの間隙水圧および温度変化を図-7, 図-8 にそれぞれ示す。図中の破線は、供試体内の温度に対する安定境界の圧力を示している。図より、両実験において減圧する際、供試体の間隙水圧が MH の安定境界の圧力と交わる付近で温度が減少することが観察される。これは MH が分解し、吸熱反応が起きたためである。図-8 から、豊浦砂では圧力を下げる過程で上下間隙水圧に大きな圧力差は生じていない。一方、図-7 より、T<sub>c</sub> においては、MH の安定境界の圧力まで減圧すると、間隙水圧が MH の安定境界の圧力と交わる付近において、下部の間隙水圧が MH の安定境界の圧力に沿うように圧力が減少していることが確認される。これは、透水性が低いために、供試体内にて、MH の分解と再生成が繰り返されたためと考えられる。また、図-7 より、間隙水圧が安定境界の圧力より大きい圧力で、減圧初期に上下圧力差が生じていることが確認される。これは、軸ひずみの進行に伴い細粒分が間隙を埋める形で進行し、供試体の密度が高くなったために生じたと考えられる。以上より、実地盤では細粒分を多く含む砂は、圧力分布の不均一が起きやすく、局所的に沈下が生じやすいと推察される。

#### 4. 結論

本研究では、細粒分を含んだ T<sub>c</sub> と豊浦砂を用いた分解実験を行った。その結果、細粒分の有無にかかわらず、初期にせん断応力を加えられた MH 固結砂は、分解が終了し MH を消失すると、水圧回復過程において、応力比がホスト砂の破壊線に達し、破壊することが明らかになった。また、破壊に伴いせん断帯を形成し、細粒分を含むとせん断帯を形成する軸ひずみの値が大きくなることを確認した。MH の分解は安定境界を過ぎると、温度が減少することを確認した。T<sub>c</sub> は、減圧すると砂中において圧力差が生じることを確認した。T<sub>c</sub> では、減圧を行う側から距離の離れた地点での圧力は、MH の安定境界まで圧力を下げると、MH の安定境界に沿うようにして圧力が減少することを確認した。細粒分を含む砂に対して、せん断応力を加えると、初期に圧力差が生じることを確認した。これらは、細粒分を含むことによる、透水性の低さが原因と考えられる。以上のことから、実地盤において細粒分を含む砂は、圧力分布の不均一による局所的沈下が生じやすいと推察される。

#### 参考文献

- 1) 今村豊, 米田純, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正: 高压下におけるメタンハイドレート固結砂の平面ひずみせん断挙動と局所化の評価, 地盤と建設, Vol.28, No.1, 2010
- 2) 山本晃司, Tore Jan Kvalstad: 東部南海トラフの斜面安定性に関する検討—ハイドレート分解の影響と津波発生リスク, 第3回メタンハイドレート総合シンポジウム CSMH-3 2011, PP.11-12, 2011.11

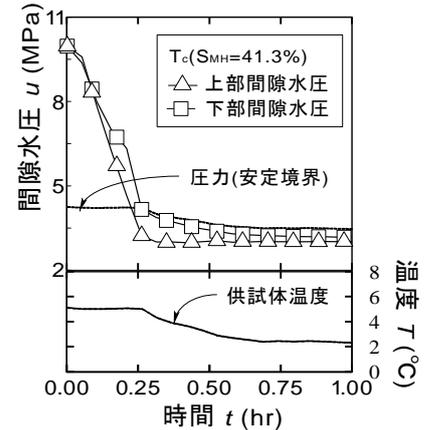


図-7 T<sub>c</sub> をホスト砂とする試料

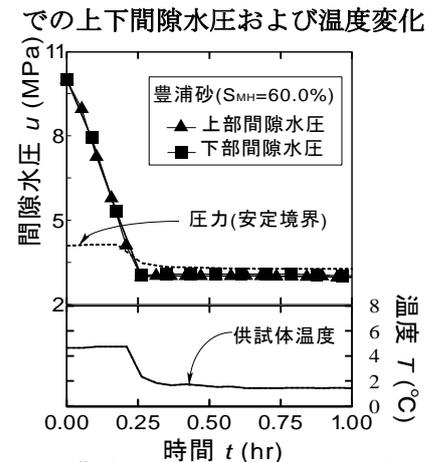


図-8 豊浦砂をホスト砂とする試料  
での上下間隙水圧および温度変化