

1. まえがき 南海トラフの海底地盤の間隙中に多量に存在するメタンハイドレート（以下：MH と略す）は、日本の国産エネルギーとして期待されている。南海トラフの MH が多量に存在する地層（以下：MH 濃集層と称す）は砂泥互層であり、各層で細粒分含有率が異なる。そのため坑井掘削時及び減圧法¹⁾による MH 生産時の坑井周辺での応力変化によって、地盤が変形を起こすと考えられる。本研究では、細粒分含有率の違いによる MH 固結砂の分解挙動について把握するため、温度可変高压三軸試験装置を用いて減圧法を模擬した MH 分解実験を行った。

2. 実験方法 図-1 に使用した試験装置の概略図を示す。図中のシリンジポンプを用いて供試体間隙圧の制御を行う。温度管理は温度制御タンクを用いてオーロララインを循環させることで行う。また内セルを用いて、MH 分解時における供試体体積変化の測定している。図-2 に南海トラフから採取された試料の粒度分布と実験に使用した試料の粒度分布を示す。MH 濃集層にあたる粒度分布は黄色の範囲であるが、細粒分による影響を調べるため、試料は細粒分含有率 $F_c=0\%$ 、 25% の試料を用いた。供試体は、寸法直径 3mm × 高さ 6mm の円柱であり、目標とする MH 飽和率 S_{MH} となるように含水比調整して作製した。図-3 に、MH 供試体作製のための温度間隙圧履歴を示す。まず、供試体を凍らせた状態で三軸セル内に設置し (a)、有効拘束圧 $\sigma'_c=0.2\text{MPa}$ でセル圧を制御し、供試体を自立させる。その後供試体を解凍させ (b)、メタンガスを圧入する (c)。さらに温度 1°C 、間隙圧 4MPa の状態でガス浸透法²⁾により供試体内に MH を生成させ (d)、通水を行い供試体内を水飽和させる。MH 海産試験地の MH 濃集層の水深を模擬した圧力 ($P.P.=13\text{MPa}$) まで間隙圧を上昇させる (e)。さらに、 K_0 圧密を行い、MH 分解実験へと移る (f)。減圧速度を 0.5MPa/min とし、間隙圧を $P.P.=3\text{MPa}$ まで減圧させ、MH を分解させる。実際の MH 生産における生産終了後の廃坑後における間隙圧の回復を模擬し、MH 分解終了後に減圧前の圧力 ($P.P.=13\text{MPa}$) まで間隙圧を 0.5MPa/min の速度で増圧させた。

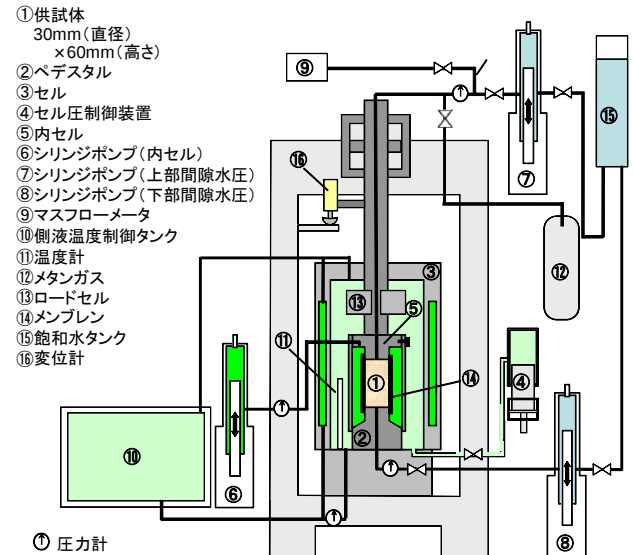


図-1 試験装置概略図

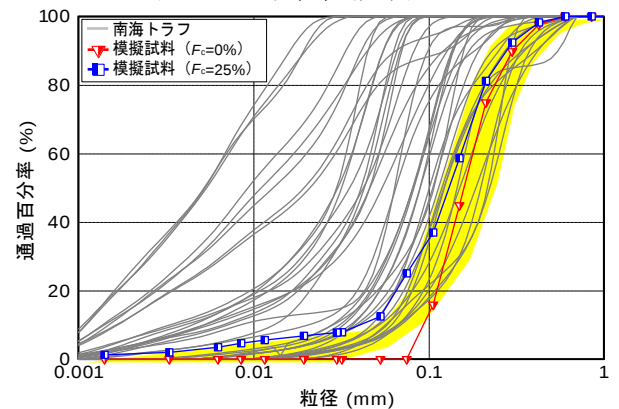


図-2 粒度分布

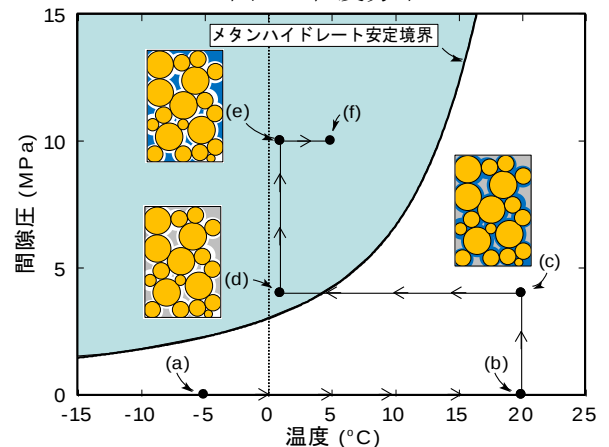


図-3 供試体の温度間隙圧履歴

3. MH 分解実験結果 図-4 に供試体の K_0 圧密中の K_0 値の変化を示す。細粒分含有率 $F_c=0\%$ の場合、 $K_0=0.35$ 、細粒分含有率 $F_c=25\%$ の場合、 $K_0=0.42$ となり、細粒分が多いと K_0 値を高く示す結果となった。図-5 に分解実験中の応力経路を示す。経路は図のように① K_0 圧密→②減圧過程→③間隙水圧回復過程を辿る。図-6 に減圧過程における間隙圧 $P.P$ 、MH 飽和率 S_{MH} 軸ひずみ ε_a 、体積ひずみ ε_v の変化を示す。間隙圧 $P.P$ を 13MPa から 3MPa に減圧させることによって、MH 分解が生じ、図中の◎以降からメタンガスの発生が確認される。また有効拘束圧の増加および MH 分解により、軸ひずみおよび体積ひずみの進行が認められる。また細粒分含有率が高いと、軸ひずみおよび体積ひずみの進行は顕著である

ことが明らかである。図-7 に間隙水圧回復過程における間隙圧 $P.P$ と体積ひずみ ε_v の変化を示す。間隙水圧の増加に伴い、それぞれの供試体は弾性膨張を起こし、最終的な膨張量はほぼ同程度となっている。しかし、弾性膨張は起こすものの、過圧密による塑性変形を起こすため、それぞれの供試体は減圧前の体積まで戻らないことが確認される。またそれぞれの供試体は、間隙水圧 $P.P$ を 13MPa まで増圧させ終えた◎以降、破壊することなく定常状態に至ることが観察される。

4. まとめ 細粒分含有率の異なる試料に MH を生成させ、同じ条件で減圧法による MH 分解実験を行った。その結果、細粒分含有率が高いと、減圧法による過圧密の影響を受けやすく、体積変化は大きく変化しやすい事が明らかとなった。また減圧中の塑性変形により、減圧前の体積まで戻らないことが明らかとなった。

[謝辞] 本研究は、経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業・生産手法開発に関する研究開発」の一部として実施された。記して謝意を表する次第である。

[参考文献] 1) メタンハイドレート資源開発コンソーシアム

<http://www.mh21japan.gr.jp/> 2) A. Masui, H. Haneda, Y. Ogata and K. Aoki : Effects of Methane Hydrate Formation on Shear Strength of Synthetic Methane Hydrate Sediments, Proc. of the 15th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., (Seoul, 2005), pp364-369

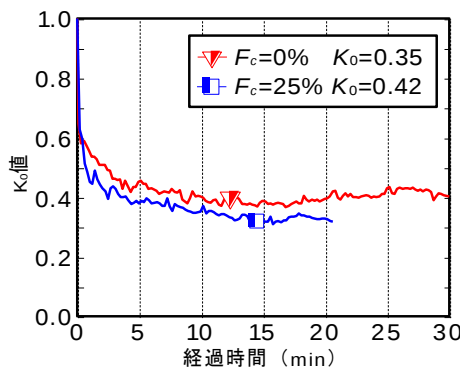


図-4 各試料の K_0 値

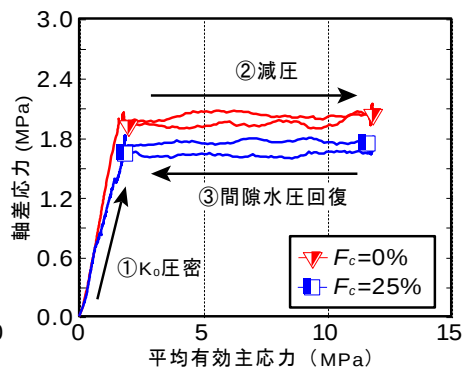


図-5 有効応力経路

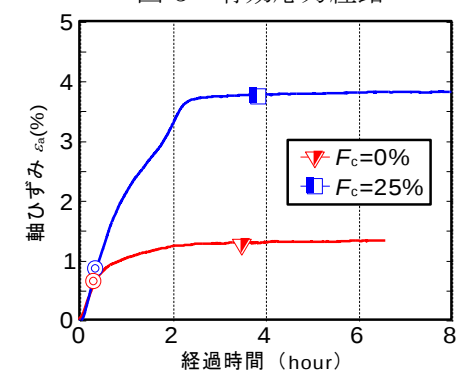
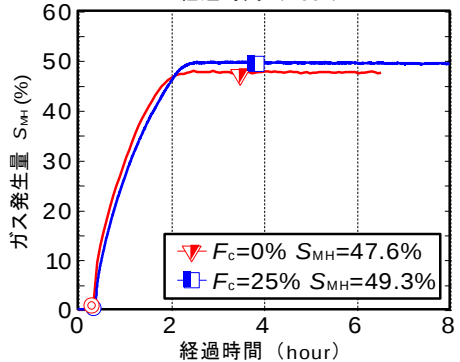
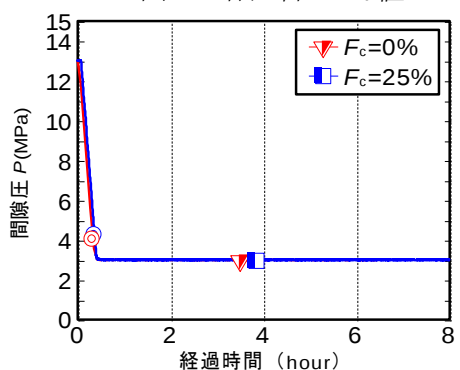


図-6 減圧過程における間隙圧 $P.P$ 、MH 飽和率 S_{MH} 軸ひずみ ε_a 、体積ひずみ ε_v の変化

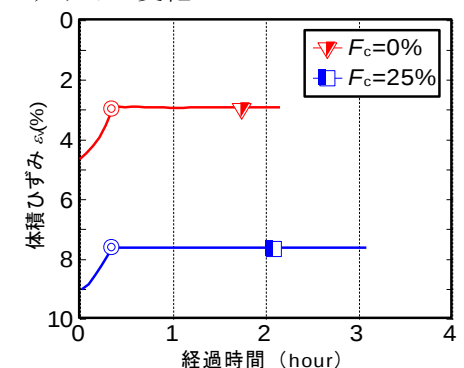
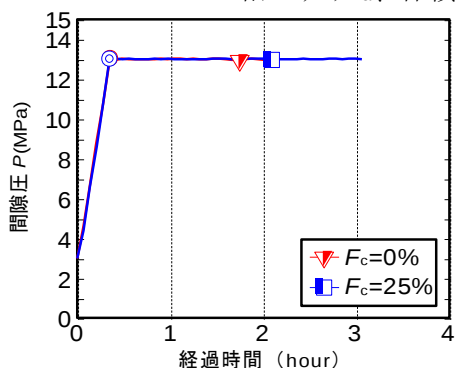


図-7 間隙水圧回復過程における間隙圧 $P.P$ と体積ひずみ ε_v の変化