

山口大学大学院 学生会員 ○梶山慎太郎 加藤晃 田平一平
山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1.まえがき 南海トラフのメタンハイドレート(以下, MH と略す)は砂の間隙中に砂粒子を固結する形で存在していると考えられており, MH を生産するにあたり, MH 胚胎層の力学的性質の解明は重要である. しかし, 実地盤において MH 飽和率は様々であると考えられる. 当研究機関においては, 温度制御高圧三軸試験装置を用いて MH 飽和率の異なる砂に対してせん断試験を行い, 力学挙動の評価を行ってきた¹⁾. しかし, 実地盤では平面ひずみ条件で表現される場合も多い. そこで本研究では供試体の変形の観察が可能な恒温高圧平面ひずみ実験装置を用いて砂の間隙中に MH 飽和率を変化させて MH を生成させ, せん断試験を行い, その挙動を評価した.

2.実験装置の概要²⁾ 実験装置は温度, 圧力を制御でき, MH が存在可能な深海底地盤の条件を再現でき, セルの前面に観察窓を有し平面ひずみ条件でせん断を行うものである. 供試体は, 高さ 160mm×幅 60mm×奥行き 80mm の直方体であり, 供試体に装着するメンブレンの観察側には画像解析の評点とするために 5mm×5mm のメッシュを描いた. この観察窓から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を行った. 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った. 本実験では供試体内に熱電対を設置し供試体内の温度を測定した. なお, 画像の撮影は 1 分間隔で行った.

3.実験方法 本実験には南海トラフの試錐試験より得られた粒度分布を元にして作製した模擬試料(以下, T_c と略す)を用いた³⁾. T_c を構成する各鉱物および配合割合を表-1 に示す. 試料の粒度分布を図-1 に示す. 図中の網掛け部分は南海トラフ実地盤において MH を多く含んでいることが明らかにされている粒度分布であり, T_c が MH 濃集層を模擬していることが分かる. この試料をホスト砂に用いて, 間隙中に MH を生成させ, MH 胚胎砂を作製した. その後 MH 飽和率 $S_{MH}=50\%$ を目標とし試料の含水比を調整した. MH 供試体を作製するために, まず温度 5℃ の状態で供試体内にメタンガスを圧入し, 5MPa に達した後圧力を保ちながら時間をかけて MH を生成させた. MH 生成後, 間隙内のガスを水に置き換え水飽和状態とした後, 間隙水圧を 10MPa, 有効拘束圧を 3MPa の条件で圧密しせん断を行った. なお, せん断速度は 0.1%/min とした.

4. 実験結果 せん断試験より得られた応力ひずみ関係の結果を図-2 に示す. 図から, MH 飽和率が増加するほどに初期剛性およびピーク強度が徐々に増加していることが明らかである. また, 体積ひずみに着目すると, ホスト砂では収縮一方の挙動を示している. MH 胚胎砂では収縮挙動を示したのちに膨張挙動を示しており, MH 飽和率が増加するほどに膨張挙動が顕著である. 次に, せん断中に得られた供試体画像から PIV 解析を行った. 体積ひずみ

表-1 模擬試料の配合割合

	7号珪砂	8号珪砂	R5.5	カオリン	MK-300 雲母
T_c	30	55	7	3	5

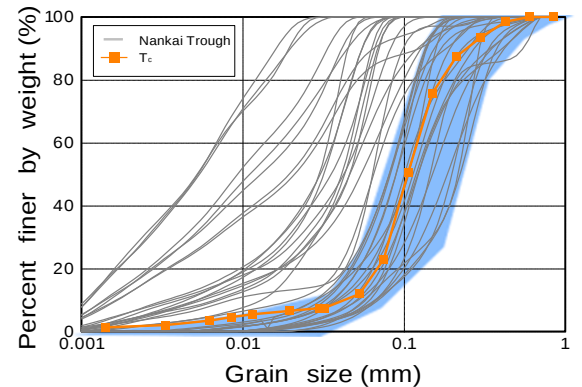


図-1 各試料の配合割合

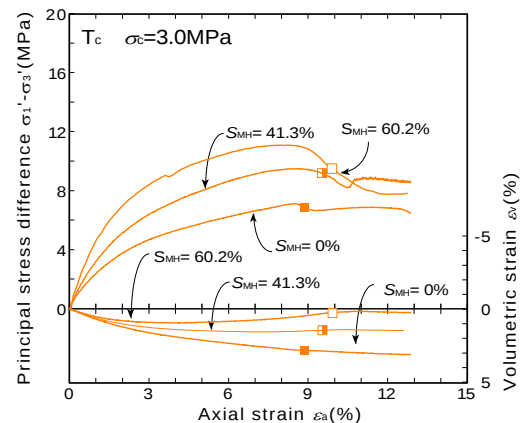


図-2 応力-ひずみ関係

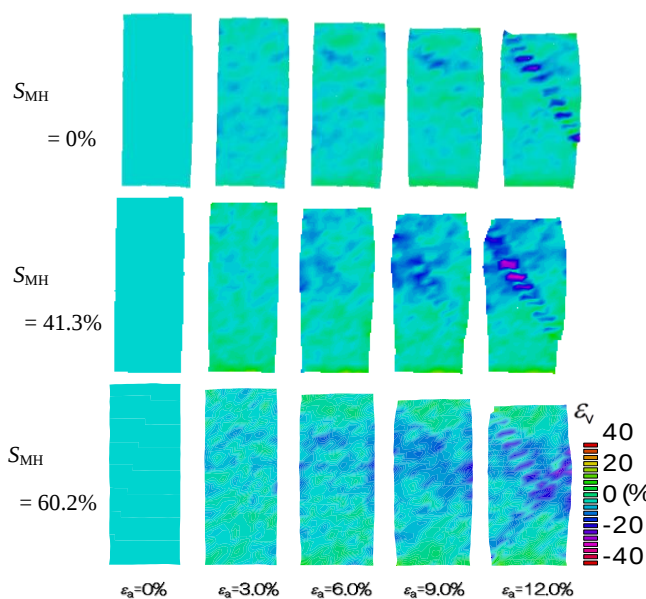


図-3 体積ひずみ ϵ_v コンター

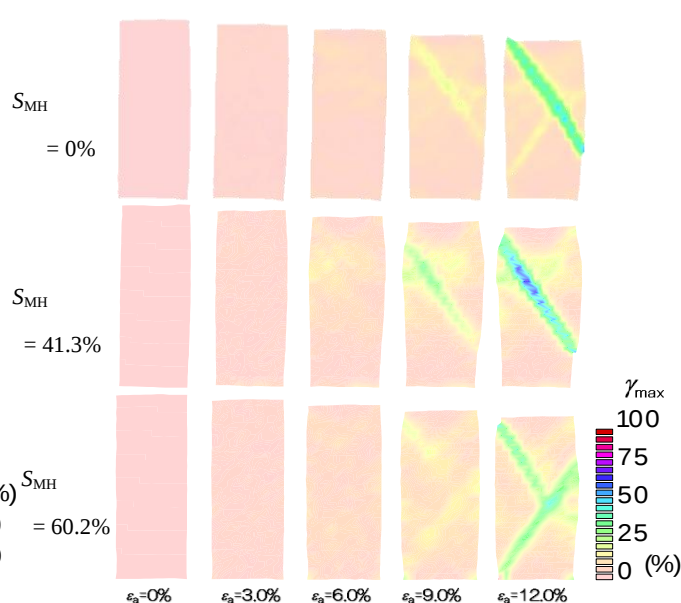


図-4 最大せん断ひずみ γ_{max} コンター

のコンターの結果を図-3に、最大せん断ひずみのコンターの結果を図-4にそれぞれ示す。図-2から、全体的な体積ひずみは収縮から膨張挙動へ推移しているものの、収縮挙動が卓越していることが分かる。一方図-3より、せん断帯付近では膨張傾向を示しており、MH飽和率が増加するほどに膨張傾向が顕著になっている。図-4から、ホスト砂と比較するとMH胚胎砂の方がせん断帯付近に最大せん断ひずみが集中し、その値が大きくなっていることが確認される。このことから、MH飽和率が増加するほど局所変形が顕著に起こると推察される。次に、ピーク強度を示した後強度が急減する付近(図-2中のプロットの点)でのせん断帯の傾斜角および幅を求めた。今回、メンブレンに描いたメッシュが描く変形曲線の最急曲率の点をせん断帯の端とした⁴⁾。角度は、得られた点から近似線描き、上下近似線の平均の角度をせん断帯の角度とした。幅に関しては、上下近似線の距離の幅をせん断帯の幅とした。その結果、MH飽和率が増加するほど、せん断帯の角度は増加し、せん断帯の幅は減少する傾向が認められる。

5.結論 MH飽和率の異なる砂を用いて恒温高圧平面ひずみ試験機によるせん断試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。(1)MH飽和率が高くなるほど、ピーク強度および初期剛性が増加し、体積ひずみは膨張傾向が強くなる。(2)MH飽和率が高くなるほど局所変形が顕著になり、せん断帯の角度が高くなり、幅は減少する。

【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」の研究活動の一環として行なったものである。関係各位に記して謝意を表する次第である。

参考文献 1) Hyodo, M., Yoneda, J., Yoshimoto, N., Nakata, Y.: Mechanical and dissociation properties of methane hydrate-bearing sand in deep seabed, *Soils and Foundations*, Vol.53, No. 2, pp.299-314, 2013.

2) 今村豊, 米田純, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正: 高圧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, pp.95-103, 2011. 3) Hyodo, M., Kajiyama S., Yoshimoto, N., Nakata, Y.: Triaxial behaviour of methane hydrate bearing sand, *Proc. 10th Int. ISOPE Ocean Mining & Gas Hydrate Symposium OMS-2013*, pp.126-134, 2013. 4) Yoneda, J., Hyodo, M., Yoshimoto, N., Nakata, N., Kato, A.: Development of high-pressure low-temperature plane strain testing apparatus for methane hydrate-bearing sand, *Soils and Foundations*, Vol.53, No.5, pp.774-783, 2013.

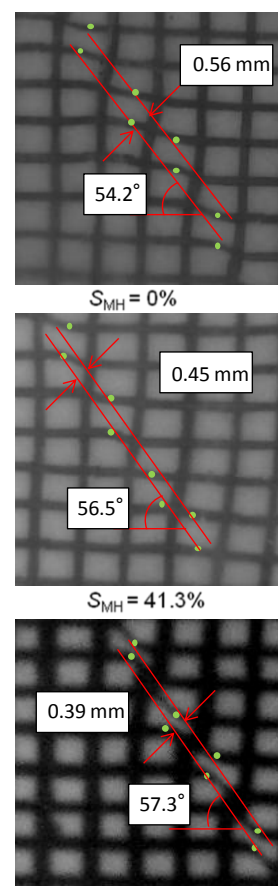


図-5 せん断帯の角
および幅