

1. まえがき

近年、我が国のエネルギー自給率向上のためメタンハイドレート（以下 MH と略す）が新たな天然ガス資源として期待されている。MH から天然ガスの経済的かつ安全な生産を目的として南海トラフを対象に研究開発が行われている。MH を多く貯留する MH 濃集層は、タービダイトから成る砂泥互層となっている。そのため MH 濃集層の粒度分布は様々であり、力学特性も場所によって異なることが予想される¹⁾。本研究では現地基礎試験により得られたデータをもとに作製した MH 模擬試料の細粒分含有率を連続的に変化させ三軸試験を行い、そのせん断特性の評価を行う。

2. 実験方法

MH 模擬試料作製及びせん断試験は、当研究室で開発した深海底における応力及び温度の再現、制御可能な三軸試験装置（温度可変高圧三軸試験機）²⁾を用いた。せん断試験のための模擬試料として、MH 飽和率 $S_{MH} \approx 0$, 30, 50% 試料をそれぞれ作製した。図 1 に模擬試料の粒度分布を示す。鉱物及び粒度を近似させるために、8 号・7 号・R5.5 珪砂、カオリン、雲母を混合し、模擬試料を作製した。細粒分含有率は 8 号・7 号珪砂を $75\mu\text{m}$ ふるいで 0, 8.9, 15, 20, 25% に調整した。また南海トラフの天然コアの密度試験の結果から、模擬試料の間隙率は 45% とした。MH 模擬試料作製にあたって、まずホスト砂模擬試料に目標とする MH 飽和率となるように初期含水比を調節し、タンピング法により $\phi 30 \times H 60 \text{mm}$ の不飽和円筒模擬試料を準備する。次に、準備した模擬試料を三軸室内に設置する。MH 安定境界内の圧力・温度を保ちながら 24 時間かけて MH を生成させる。その後、模擬試料を水で飽和させ、任意の条件に有効拘束圧・温度・間隙水圧を制御し、せん断速度 $0.1\%/min$ で圧縮排水せん断試験を行った。

3. 実験結果

図 2 に初期間隙率 45% の模擬試料 $T_b(F_c=0, 8.9, 15, 20, 25\%)$ について、有効拘束圧 3MPa の三軸圧縮試験の結果を示す。図より、細粒分含有率の増加に伴い剛性が低下すること、ピーク強度が増加すること、ピーク強度に至る軸ひずみが大きくなること、体積収縮量が増加するという傾向が確認できる。しかし $F_c=15\%$ の剛性が最も低く、

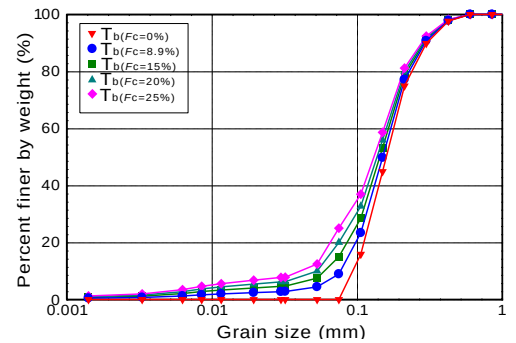


図 1 模擬試料の粒度分布

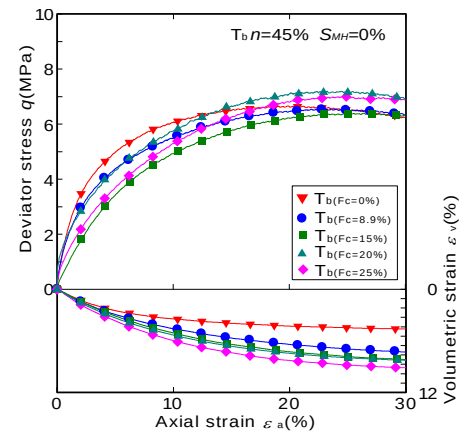


図 2 ホスト砂の応力-ひずみ関係

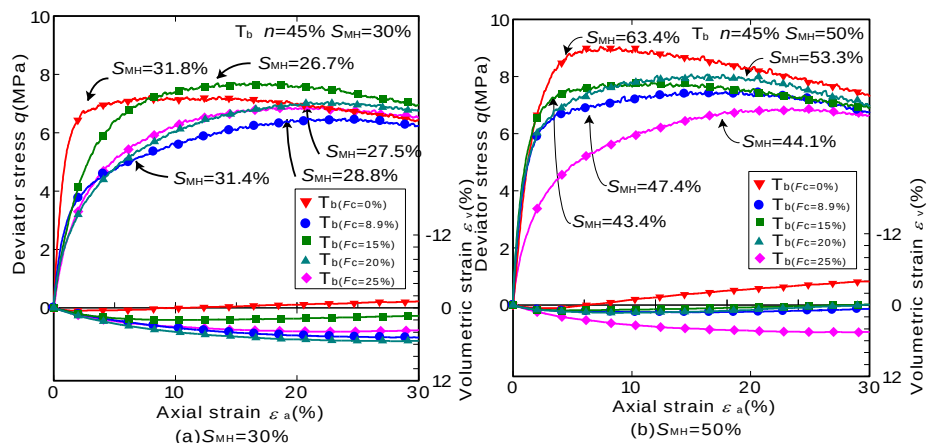


図 3 MH 模擬試料の応力-ひずみ関係

$F_c=20\%$ のピーク強度が最も大きくなるという特徴も見られる。このことから模擬試料の骨格の主体が粗粒分から細粒分に推移する境界が $F_c=20\%$ 前後にあることが推察される。次に、 $T_b(F_c=0 \cdot 8.9 \cdot 15 \cdot 20 \cdot 25\%)$ をホスト砂として MH を生成した MH 模擬試料のせん断試験結果を図 3 にそれぞれ示す。いずれも細粒分含有率のみによる影響をみるために、間隙率 45%, 有効拘束圧 3MPa 一定で MH 飽和率の異なる結果についてそれぞれ示している。図より MH 飽和率 30%程度では $F_c=0\%$ 及び $F_c=15\%$ の強度が他の細粒分含有率より高く、収縮傾向が鈍化している。また MH 飽和率 50%程度では細粒分含有率の上昇に伴い、強度及び膨張傾向が低下することが確認できる。図 4 に各軸ひずみにおける MH 模擬試料とホスト砂模擬試料の軸差応力差分 ($q_{MH}-q_{sand}$)を、図 5 に各

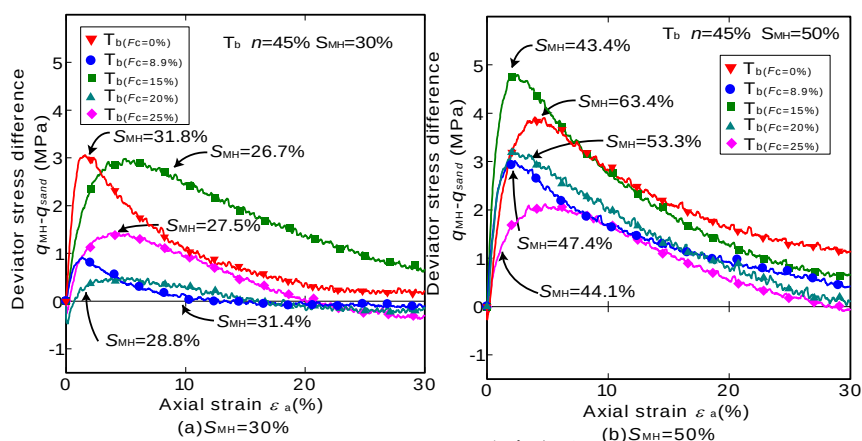


図 4 MH による強度増分

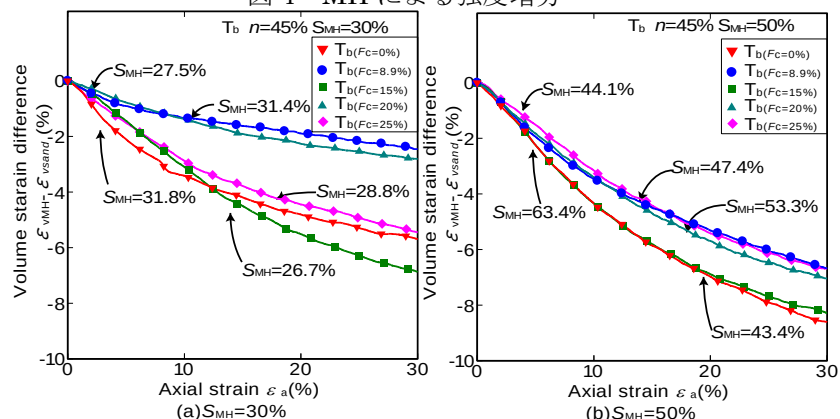


図 5 MH による体積みずみ差分

軸ひずみにおける MH 模擬試料とホスト砂模擬試料の体積ひずみ差分 ($\varepsilon_{vMH}-\varepsilon_{vsand}$) を異なる MH 飽和率ごとにそれぞれ示す。図 4 より高い MH 飽和率において強度増加が大きいこと、MH 飽和率によらず軸ひずみ 2~4%において MH の固結力による強度増加が最大となること、MH による強度増加が顕著なものは残留強度が増加していることが確認できる。このことから MH が高い軸ひずみにおいても土粒子のように個体として存在することが推察される。両図より MH による強度増加が大きいほど体積ひずみが膨張傾向を示していることが分かる。また、細粒分含有率の増加に伴い強度増加が鈍化する傾向が確認できる。しかし、 $F_c=15\%$ においては MH 飽和率によらず大きな強度増加が得られている。この挙動はホスト砂模擬試料において最も剛性が低かったことが要因と考えられる。

4. まとめ

本研究では、南海トラフ MH 貯留層付近の堆積土の鉱物組成と細粒分含有率を考慮して作製したホスト砂模擬試料とそこに MH を生成させた MH 模擬試料を対象に圧密排水三軸圧縮試験を行った。ホスト砂模擬試料において、細粒分含有率の増加に伴い剛性は低下し、体積ひずみは収縮傾向が顕著となった。骨格の主体が粗粒分から細粒分に推移することに伴い $F_c=15\%$ において剛性の低下、 $F_c=20\%$ においてピーク強度が増加する傾向が見られた。また MH 模擬試料において、MH 飽和率によらず軸ひずみ 2~4%において MH の固結力による強度増加が最大となった。MH 模擬試料においては細粒分含有率の増加に伴い、MH による固結力の影響が低下し剛性や強度増加、体積膨張傾向に転ずる傾向も鈍化する傾向が認められた。

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 (MH21 研究コンソーシアム)」の研究活動の一環として実施したものである。関係各位に対し、深甚の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研究コンソーシアム, <http://www.mh21japan.gr.jp/japanese/index.html>.

2)米田純, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正: 深海底におけるメタンハイドレート堆積土の三軸せん断特性, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.4, pp742-756, 2010.