

メタンハイドレートを含む砂の三軸圧縮せん断特性に及ぼす粒度分布の影響

山口大学大学院 学生会員 ○中島晃司

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

山口大学大学院 学生会員 加藤晃 梶山慎太郎

1. まえがき

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。日本近海においては南海トラフを中心に研究開発が行われており、2012 年～2013 年にかけては世界初の海洋産出試験も行われた。MH が多く賦存している MH 濃集層は砂層であるが、粒度分布は様々であり、力学特性も様々であることが予想される¹⁾。本研究では MH 濃集層における天然コアの粒度分布を模擬した 4 種類の試料を対象に三軸圧縮試験を行った^{2),3)}。さらに、これらの試料の間隙中に種々の飽和率となるように MH を生成させ、MH の有無におけるせん断特性の比較から MH 濃集層を模擬した試料の強度の評価を行った。

2. 実験方法

MH 模擬供試体作製及びせん断試験は、深海底における圧力、応力及び温度条件を表現可能な三軸試験装置（温度可変高压三軸試験機）を用いた。MH 濃集層の鉱物及び粒度を近似させるために 9 号・8 号・7 号・6 号・R5.5 珪砂、カオリン、雲母を用いて模擬試料を作製した。図-1 に本研究で使用した試料の粒度分布を示す。それらの間隙中に MH 飽和率 S_{MH} が 0, 30, 50% となるように初期含水比を調整し、タンピング法により 30mm×60mm, 15 層に分けて不飽和模擬供試体を作製し凍結した。次に準備した供試体を三軸室内に設置した。その後供試体内にメタンガスを注入し MH 安定境界内の圧力・温度を保ちながら 24 時間かけて MH を生成した。その後、供試体の間隙を水で飽和させ、任意の有効拘束圧・温度・間隙水压を制御し、せん断速度 0.1%/min で圧密排水三軸圧縮せん断試験を行った。

3. 実験結果

図-2 に圧密前後における供試体の間隙比の変化量を示す。図より細粒分含有率が高い試料程、圧密後においてより密になる特徴が見られる。また MH 飽和率が高くなる程、間隙比の変化量が小さいことが確認される。図-3 に有効拘束圧 3MPa, MH 飽和率 $S_{MH}=0\%$ における軸差応力・軸ひずみ関係を示す。図よりピーク強度に関しては試料による大きな差は見られないことが分かる。また、細粒分含有率が高い試料程、剛性が低くなる傾向を示している。体積ひずみは、いずれの試料においても収縮一辺倒の挙動が見受けられる。

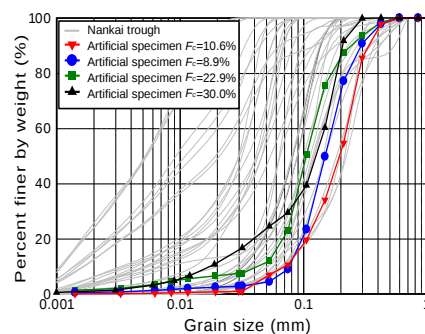


図-1 使用した模擬試料の粒度分布

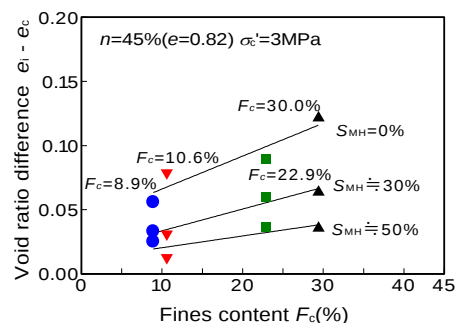


図-2 圧密前後における間隙比の変化量

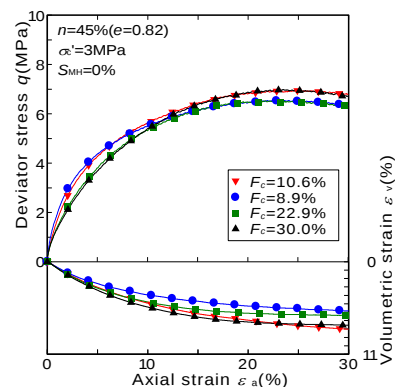


図-3 ホスト砂模擬試料の軸差応力・軸ひずみ関係

キーワード メタンハイドレート, 細粒分含有率, 三軸せん断

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL 0836-85-9344

次に有効拘束圧 3MPa, MH 飽和率 $S_{MH} \approx 30$, 50%における軸差応力・軸ひずみ関係を図-4に示す。図より, MH 飽和率 $S_{MH}=0\%$ 時と比べて, 剛性及びピーク強度が高く出現している。また体積ひずみは, 初期に収縮挙動を示した後, 膨張傾向に転ずる特徴が見られる。これらの特徴は MH 飽和率が高くなるにつれて試料の違いによる差が顕著に現れている様子が確認される。間隙中の MH によって土粒子が固結されることにより, ピーク強度やダイレイタンシーに影響を与えたものと推察される。図-5に MH 飽和率とピーク強度の関係を示す。ここでピーク強度は MH 生成時の実験結果をホスト砂時の実験結果で除すことにより正規化したものを示している。また図-6には MH 飽和率と変形係数 E_{50} の関係を示す。変形係数に関しても正規化したものを示している。図よりいずれの試料においても MH 飽和率が 30%付近からピーク強度及び変形係数の増加割合が高くなる傾向が見受けられる。この結果から MH が間隙の 30%程度を占めるとピーク強度や変形係数に大きな影響を与えることが分かる。また $F_c=30\%$ の試料において MH 飽和率の上昇に伴うピーク強度及び変形係数の増加割合が他の試料に比べて高い傾向を示している。これらの結果は, MH をメタンガスと水に分解し回収した後の地盤の強度は MH が存在しているときのものに比べて低くなり, また細粒分含有率が高い地盤程, 生産前後の強度の差は大きいことを示している。

4. まとめ

本研究では, 南海トラフの MH 濃集層付近における堆積土の鉱物組成と粒度分布を考慮して作製したホスト砂とその間隙中に MH を生成させた MH 模擬試料を対象に圧密排水三軸圧縮せん断試験を行った。細粒分含有率の高い試料ほど, 圧密後においてより密になる傾向が見られた。またいずれの試料においても MH 飽和率の増加に伴い, 圧密前後の間隙比の変化量が小さくなる傾向を示し, 剛性, ピーク強度が増加する特徴が見受けられた。体積ひずみはホスト砂時には終始収縮傾向を示していたが, MH を含むことで初期には収縮挙動を, その後膨張挙動に転ずる特徴を示した。また $F_c=30\%$ の MH 飽和率の増加に伴う剛性及びピーク強度の増加割合が他の試料に比べて高い傾向が見受けられた。

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」の研究活動の一環として実施したものである。関係者各位に対し, 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/> 2) 鈴木清史, 海老沼孝朗, 成田英夫：メタンハイドレートを胚胎する砂質堆積物の特徴とメタンハイドレート胚胎メカニズムへの影響 Journal of Geography, 118(5), 899-912, 2009 3) Jun Yoneda, Akira Masui, Yoshihiro Konno Yusuke Jin, Kosuke Egawa, Masato Kida, Takuma Ito, Jiro Nagao, Norito Tenma : Mechanical properties of hydrate-bearing turbidite sediments in the first gas production test site of the Eastern Nankai Trough, Journal of Marine and Petroleum Geology (in review)

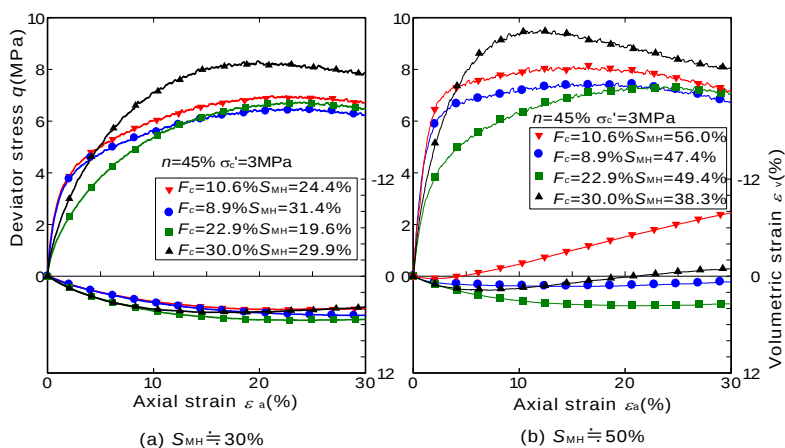


図-4 MH 模擬試料の軸差応力・軸ひずみ関係

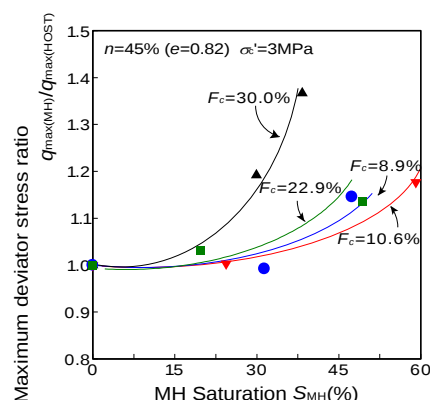


図-5 MH 飽和率とピーク強度の関係

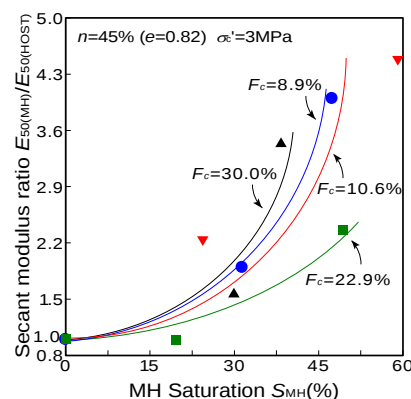


図-6 MH 飽和率と変形係数 E_{50} の関係