

細粒分を含むメタンハイドレート胚胎砂の強度特性

山口大学大学院 学生会員 ○日下部真佑

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

学生会員 加藤晃 西村顕

1. はじめに

南海トラフ深海底からメタンハイドレート(以下 MH と略す)を分解しメタンガスを経済的かつ安全に生産することを目的として研究開発が行われている¹⁾。南海トラフの海底地盤はタービダイトから成る砂泥互層を構成しており、MH は砂層の中に濃集している。MH 濃集層の粒度分布は多様なものであり、力学特性もそれに依存して異なるものと考えられる。本研究では、南海トラフ MH 濃集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 T_b ²⁾を基本粒度とし、細粒分含有率、密度を連続的に変化させた試料に MH を生成し、それらが強度特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

MH 模擬試料作製に対するせん断試験は、深海底における応力及び温度条件に対応して制御可能な三軸試験装置（温度可変高压三軸試験機）を用いた。図-1 に本研究で使用した模擬試料の粒度分布を示す。MH は、図中の水色部分の粒度から成る土層内に多く含まれることが明らかにされている²⁾。試料は、細粒分含有率 $F_c=0$ 、8.9、25%の3種類に調整し、それぞれに MH 飽和率 $S_{MH} \div 50\%$ を目指して MH を生成した。供試体は、現地砂層の密度²⁾を参考に間隙比 $e=0.67 \sim 0.82$ の範囲で3通りの突固めエネルギー $E_c=40\text{kJ/m}^3$ 、 120kJ/m^3 、 360kJ/m^3 で突固め作製した。供試体は、所定の含水比で高さ 60mm、直径 30mm となるよう15層に分けて突固め作製した。作製した不飽和供試体を冷凍し、三軸室に設置して、MH 安定境界内の圧力及び温度に保ちながら24時間かけて間隙水を MH に置換した。その後供試体を脱気水で飽和させ、背圧を 10MPa 負荷し有効拘束圧 3MPa で圧密し、軸ひずみ速度 0.1%/min の排水状態でせん断を行った。

3. 実験結果

表-1 にホスト砂及び MH 模擬試料の細粒分含有率と圧密前後の間隙比 e_i, e_c を示す。表より、一定の突固めエネルギーにおいては、 $F_c=0 \sim 8.9\%$ で間隙比の変化はさほどないが、 $F_c=25\%$ では間隙比は大きく減少することがわかる。また、ホスト砂と MH 模擬試料で比

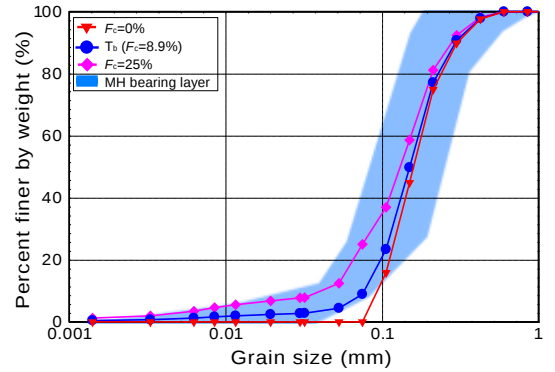


図-1 模擬試料の粒度分布

表-1 ホスト砂及び MH 模擬試料の
圧密前後の間隙比

Host sand						
$E_c(\text{kJ/m}^3)$	40		120		360	
$F_c(\%)$	e_i	e_c	e_i	e_c	e_i	e_c
0	0.92	0.86	0.82	0.77	0.74	0.69
8.9	0.94	0.86	0.82	0.77	0.74	0.69
25	0.82	0.72	0.70	0.64	0.67	0.62
MH simulation sand						
$E_c(\text{kJ/m}^3)$	40		120		360	
$F_c(\%)$	e_i	e_c	e_i	e_c	e_i	e_c
0	0.95	0.92	0.79	0.77	0.75	0.72
8.9	0.93	0.91	0.80	0.78	0.73	0.71
25	0.80	0.77	0.70	0.67	0.66	0.63

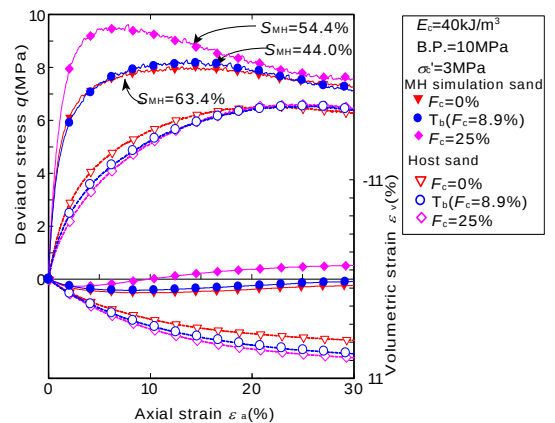


図-2 ホスト砂及び MH 模擬試料の
応力ひずみ曲線($E_c=40\text{kJ/m}^3$)

較すると、MH 模擬試料では圧密による間隙比変化がホスト砂に比べて少ないことが特徴的である。

次に図-2 に突固めエネルギー $E_c=40\text{kJ/m}^3$ における、ホスト砂及び MH 模擬試料の三軸圧縮試験の結果を示す。ホスト砂について、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様子が認められる。一方、MH 模擬試料では、細粒分含有率の増加に伴いピーク強度及び剛性の増加、正のダイレイタンスーがより顕著になる傾向が認められた。砂粒子が細粒分とともに MH によって固結され、団粒化したことによるものと考えられる。突固めエネルギー $E_c=120\text{kJ/m}^3$ 、 360kJ/m^3 においても同じような挙動が見られた。

図-3 に MH 模擬試料とホスト砂の最大軸差応力と間隙比の関係を示す。図より $F_c=0$ 、 8.9% の試料においては、MH を含むとホスト砂と同様に密になるにつれて強度は増加する。 $F_c=25\%$ において、ホスト砂では間隙比が小さい程強度は増加しているが、MH 模擬試料では強度にばらつきが見られ、間隙比と強度の相関性が必ずしも見られない。

図-4 に $T_b(F_c=8.9\%)$ を対象とした過去の試験結果と本研究による試験結果について、最大軸差応力と間隙比の関係を MH 飽和率($S_{MH}=0$ 、 30 、 50%)ごとに示す。図より MH 飽和率が 30% を越えると強度が急増し、また間隙比が小さいほど強度が急激に増加することが確認できる。

図-5 に、MH 模擬試料とホスト砂のそれぞれの軸差応力・軸ひずみ関係の軸差応力の差の最大値を求め、細粒分含有率との関係を突固めエネルギーごとに示した。図より細粒分含有率の増加に伴い軸差応力の差は増加し、突固めエネルギーが高いほど、増加傾向が鈍化する傾向が認められる。この図からも砂単体よりも細粒分を含む砂のほうが MH による固結力がより大きくなることが認められる。

4. まとめ

本研究では、南海トラフ MH 濃集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と、その中に MH を生成させた試料を対象にせん断試験を行った。ホスト砂では細粒分含有率の増加に伴い剛性は低下、体積収縮量が増加した。MH 模擬試料では、強度のばらつきが見られ、間隙比との相関性は見られなかった。MH 模擬試料において、細粒分含有率の増加に伴い MH の固結力による強度増加傾向は増大する様子が認められた。

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」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) MH21 Research Consortium : <http://www.mh21japan.gr.jp/>
- 2) 鈴木清史, 海老沼孝郎, 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, 地盤雑誌, Vol.118, No.5, pp.899-912, 20

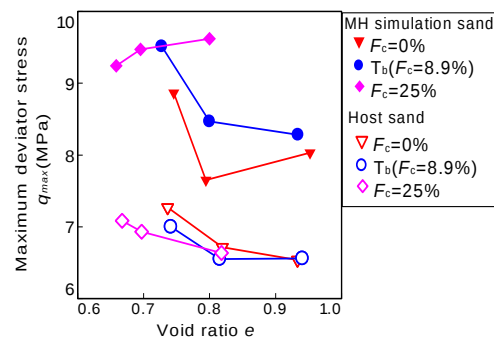


図-3 最大軸差応力と間隙比(e)の関係

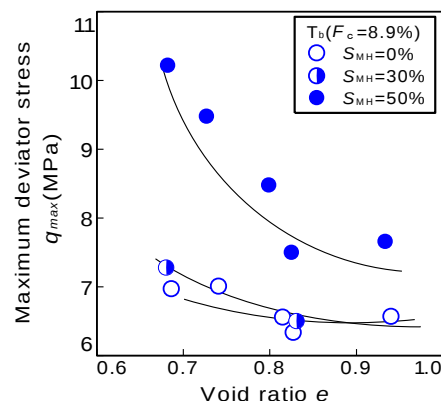


図-4 最大軸差応力と間隙比(e)の関係(T_b)

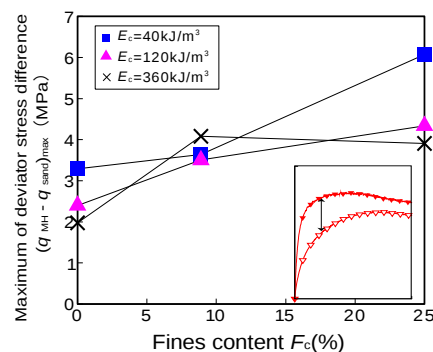


図-5 細粒分含有率ごとの MH による固結力の関係