

深海底地盤を想定したメタンハイドレートの三軸圧縮特性

山口大学大学院 学生員 ○松尾知佳
 山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正
 山口大学大学院 学生員 上野俊幸
 (株)カナコン 正会員 南條勇太
 大阪ガス(株)開発研究部 中村和夫

1.はじめに

次世代の有望なエネルギー資源として、深海底地盤中のメタンハイドレートが注目されている。メタンハイドレートは立体的な籠構造（ケージ）を作る水分子と、ケージの中に取り囲まれたメタンガス分子から形成されており¹⁾、低温・高圧下で安定状態を保つ特有の性質を持つ²⁾。メタンハイドレートは、永久凍土や深海底領域に、堆積土砂と混合した形で存在が確認されている。メタンハイドレートを安定的に採掘するためには、メタンハイドレート単体のみでならず、堆積土とメタンハイドレートの混合体としての力学特性を把握することが必要である。そこで本研究では、メタンハイドレートが埋蔵されている南海トラフ深海底地盤より採取された堆積土と、人工的に作製したメタンハイドレートを種々の割合で混合し、三軸圧縮試験を行った。

2.試験の概要

堆積土混じりメタンハイドレート供試体は、まずメタン・水を原材料としてメタンハイドレート合成装置によって高圧下(10MPa)で水分子にメタンガス分子を吹き付けて顆粒状に合成し、さらにこの顆粒状のメタンハイドレートと堆積土を所定の配合比で混合させ、圧力晶析装置により高圧下(12MPa)で余剰水分を脱離して作製した。供試体寸法は、直径 15mm、高さ 30mm である。本研究では三軸セル内の温度を-30℃まで下げ、かつセル内の圧力を 8MPa まで上げることが可能な低温高圧三軸圧縮試験機を用いた。実験は、温度 $T=+5, -10, -30℃$ 、拘束圧 $\sigma_c=1.5, 4, 8MPa$ のもとで軸ひずみ速度 1.0%/min のひずみ制御により行った。

表 1 堆積土試料の物理的性質

最大粒径 $D_{max}(mm)$	平均粒径 $D_{50}(mm)$	比重 G_s
0.3	0.026	2.649

3.試験結果と考察

用いた堆積土の物理的性質を表 1 に示す。以前著者らは、実際に南海トラフ深海底地盤より採取されたいくつかのメタンハイドレート試料の力学試験を行った²⁾。そのメタンハイドレート供試体中に含まれる堆積土の体積の割合（以下より、この割合を堆積土体積比 f_s とよぶ。）は、約 0.55 であった。このような理由から、本研究では人工的に作製したメタンハイドレートと堆積土の体積比を約 0.55 の割合で混合し、

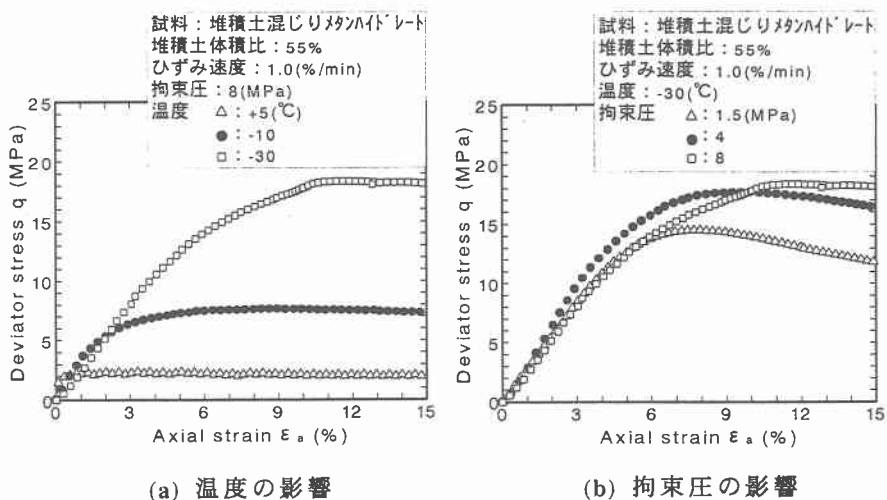


図 1 軸差応力～軸ひずみ関係

供試体を作製した。この供試体の三軸試験から得られた軸差応力と軸ひずみ関係を、温度と拘束圧をパラメータとして図 1(a), (b)に示した。図 1(a)から、温度の低下に伴い強度の増加が認められる。

一方図(b)においては、一定温度条件では、拘束圧 1.5MPa よりも拘束圧 4MPa の方が高い強度を示しているが、拘束圧 4MPa と 8MPa では強度に大差は見られない。次に、供試体の堆積土含有量の違いが最大軸差応力に及ぼす影響を検討するために、様々な配合率で堆積土を混合させた堆積土混じりメタンハイドレート供試体を対象に実験を行い、図 2 に最大軸差応力と堆積土体積比の関係で示した。ここで、堆積土の最大間隙比より、土粒子が骨格を成し得る最小の堆積土体積比を求めると、 $f_s=0.345$ (図中破線)となった。これより、破線から右の実験結果は堆積土粒子が骨格を成す混合体と考えられ、左側は、メタンハイドレート粒子がマトリックスを成し、堆積土粒子が、その中に散在する混合体であるとみなされる。図より、破線より右の実験結果に着目すると、温度 +5℃、拘束圧 8MPa では、ほぼ一定となっているが、その他の条件ではすべて、右上がりの傾向を示している。このことから、最大軸差応力は、堆積土体積比の増加に伴い大きくなることが言える。これは、破線より右側では土粒子同士が接触し、砂粒子同志の接触の増加により、強度が増加したものと考えられる。次に、破線から左側の実験結果について考察する。図より、温度 +5℃、拘束圧 8MPa の結果においては、ほぼ一定の強度を示しているが、その他の条件ではすべて、 $f_s=0.15$ 付近でピークを示すことが観察される。ここで、各配合率におけるメタンハイドレート部分の初期密度と堆積土体積比の関係を求め、図 3 に示した。図から、体積比の増加に伴い一度密度が増加し、その後破線に向かって減少している。この傾向は図 2 の、温度 +5℃、拘束圧 8MPa 以外の実験結果と対応している。今回は供試体作製において、全て同じ成型圧力(12MPa)をかけ作製した。しかし、図 3 を見る限り、同じ成型圧力でも、純粋メタンハイドレート単体で作製する場合よりも堆積土を混合させて作製した場合の方がメタンハイドレート部分の密度は高くなる傾向が見られる。したがって、図 2 の $f_s=0.345$ の破線から左の実験結果については、このような性質が現れたものと考えられる。

4.まとめ

深海底堆積土混じりメタンハイドレートの強度は、堆積土が骨格を成している場合、温度、拘束圧の他に、堆積土との混合割合にも依存する。また、メタンハイドレートがマトリックスを成す場合、温度、拘束圧依存性の他に、メタンハイドレート部分の密度の影響が現れると考えられる。

(参考文献)1) 松本良：メタンハイドレート科学の展望一、日本エネルギー学会誌、第 76 巻、第 5 号、1997、pp. 355-361

2) 福永誠：メタンハイドレートの力学特性に与える温度と拘束圧の影響、第 34 回地盤工学発表概要集、

1997p633-34

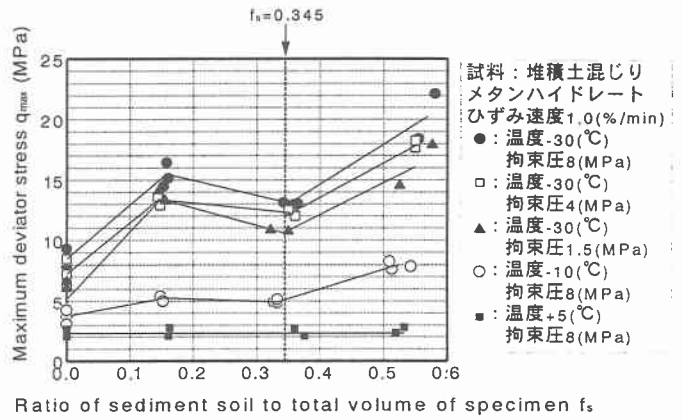


図 2 最大軸差応力～堆積土体積比関係

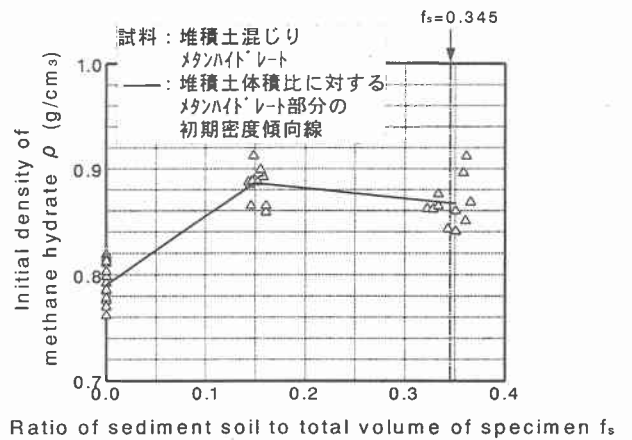


図 3 メタンハイドレート部分の初期密度～堆積土体積比