

南海トラフ堆積土を含んだメタンハイドレートの力学特性

山口大学大学院 学生員○南條勇太 松尾知佳

山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男

(株)計測リサーチコンサルタント 正会員 久保和子

大阪ガス(株)開発研究部 中村和夫

1.はじめに メタンハイドレートは、次世代のエネルギーとして利用の可能性が検討されている。その化学的性質については、これまでに多くの研究により明らかにされてきたが、力学的性質についてはほとんど知られていない現状にある。著者らは、これまでにメタンハイドレートの力学的性質を調べることを目的に、温度と拘束圧を制御できる三軸試験機を作製して、特に人工的に合成した試料を対象にせん断試験を行ってきた。その結果、メタンハイドレートは、低温・高圧になる程強度を増し、より安定に存在し得ることが確認された。メタンハイドレートは、日本近海では、四国・紀伊半島沖の南海トラフで最も多く分布し、1999年には、静岡県御前崎沖において初めての試錐が行われた。筆者らはわずかではあるが、そこで試錐されたメタンハイドレートと海底地盤の堆積土試料を入手し、物性と力学試験を行った。天然のメタンハイドレートは、堆積土を混入する形で存在していることから、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。本研究では、実際に南海トラフで採取した堆積土と、人工的に作製したメタンハイドレートを合成した試料に対し三軸圧縮試験を行うことにより、深海底地盤を想定したメタンハイドレートの力学特性を明らかにすることを目的としている。

2.試料及び実験方法 メタンハイドレートの天然試料の採取は困難で数に限りがあり、不均質なため系統的に力学特性を調べることは不可能である。そこで、本研究では人工的に作製した堆積土混じりメタンハイドレートをを用いて実験を行った。堆積土混じりメタンハイドレートはメタン・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低温高圧下(10℃、10MPa)で合成された顆粒状のMドレートに、南海トラフより採取された海底堆積土を所定の配合割合で混合し、これを圧力晶析装置で合成し、余剰水分を脱離して作製した。堆積土試料は 1999 年 11 月の御前崎沖南海トラフにおいて水深 945m 地点で、海面から深度 1110~1272m の堆積土岩層からサンプリングされたものである。堆積土試料の粒径加積曲線を図 1 に、物理的性質を表 1 に示す。実験は、温度を最低-34℃まで、かつ拘束圧を最大 10MPa まで制御可能な低温高圧三軸試験機により行った。実験中の温度はベDESTAL上部と下部及びセル中央部の三カ所に取り付けたサーモスタットによって同時に計測を行った。供試体の寸法は直径 15mm、高さ 30mm であり、実験は温度 $T=+5$ 、 -30 ℃及び拘束圧 $\sigma_c=4,8$ MPa の下でひずみ制御式により、ひずみ速度 1.0%/min で行った。

3.実験結果と考察 三軸試験より得られた堆積土混じりメタンハイドレートの軸差応力と軸ひずみの関係を図 2 に示す。温度条件-30℃で拘束圧 4MPa と 8MPa の結果を図(a)に、温度条件+5℃で拘束圧

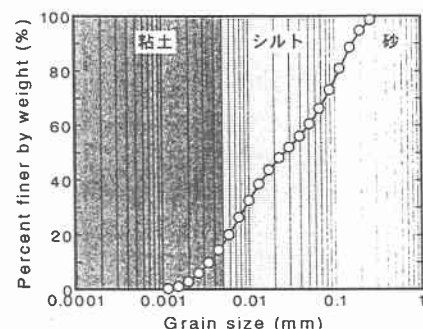
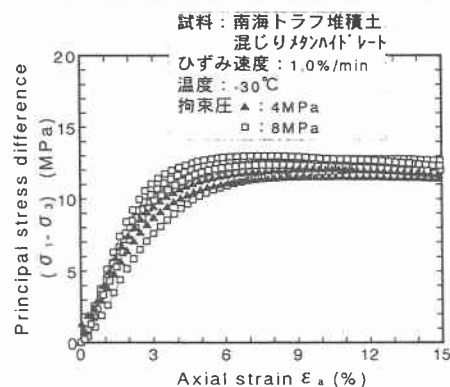


図 1 南海トラフ堆積土試料の
粒径加積曲線

表 1 物理的性質

(南海トラフ堆積土試料)

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



(a)-30℃

図 2 軸差応力～軸ひずみ関係

8MPaの結果を図(b)に示す。図(b)は、深海底領域におけるメタンハイドレート地盤を想定した条件に基づく結果である。すなわち深海底においては地熱の影響で温度はプラスであり、水深による拘束圧は10MPa付近と考えられるからである。図2の応力-ひずみ関係より、温度条件の高い+5℃では、急勾配で立ち上がり、脆性的挙動を示しているのに対して、温度条件の低い-30℃では延性的挙動を示している。また(b)において実験結果がばらつき、曲線の形状に凸凹が見られるが、これはメタンハイドレートの安定境界の限界付近で実験したためと考えられる。図の拘束圧8MPaにおける軸差応力の最大値をそれぞれの温度に対しプロットし、図3に示した。図中の直線はそのプロットを回帰したものである。図より同じ拘束圧条件8MPaについて温度の低い-30℃の方がはるかに大きな値を示していることから、温度が低いほど強度が高くなることが明らかである。

次に供試体の堆積土含有量の違いによる最大軸差応力の影響を検討するために、図4に最大軸差応力と堆積土体積比の関係を示す。堆積土体積比 f_s とは、全体の体積における堆積土粒子体積が占める割合($f_s = V_s/V$)で定義される。まず、本実験で用いた南海トラフ堆積土混じりメタンハイドレートが、堆積土により骨格を成しているかどうかについて検討する。実験に用いたモールドに緩くつめた堆積土試料の体積と質量から、仮定最大間隙比を算出し、その値から堆積土粒子が接触し、骨格となる始める堆積土体積比を求めると、 $f_s = 0.345$ (図中実線)となった。これより、図中、 $f_s = 0.345$ の実線から右の実験結果は堆積土粒子が骨格を成す混合体であると考えられ、実線から左の実験結果に至っては、メタンハイドレートがマトリックスを形成する状態と考えられる。したがって、実線より右側では堆積物粒子同士が接触していると考えられ、堆積土体積比が大きい程、供試体の密度が増加し、

強度も増加すると予測される。図より、▲プロットの温度-30℃、拘束圧8MPaと、■プロットの温度+5℃、拘束圧8MPaのそれぞれの結果に対し最小二乗法により近似直線を引くと、それぞれ、点線のようにになる。これらの直線はいずれも右上がりになっていることから、予測通り、最大軸差応力は堆積土体積比に依存し、堆積土体積比の増加に伴い最大軸差応力は大きくなる傾向にある。また、各実験条件ごとに実験結果を比較すると、▲プロットの温度-30℃、拘束圧8MPaの結果は■プロットの温度+5℃、拘束圧8MPaの結果よりも大きな強度であることから、堆積土体積比の大きさに拘わらず、強度に温度依存性があることがわかる。また、▲プロットの温度-30℃、拘束圧8MPaの結果は○プロットの温度-30℃、拘束圧4MPaの結果よりもわずかに大きい強度を示していることから、強度に対する拘束圧の依存性も認められる。

4.まとめ 本研究では深海底領域におけるメタンハイドレートの力学特性の把握を目的に、南海トラフから採取した堆積土を用いて、人工的に堆積土混じりメタンハイドレートを合成して実験を行った。堆積土混じりメタンハイドレートは、メタンハイドレート同様、温度に大きく依存し、拘束圧についても若干の依存性が見られた。また、堆積土体積比の増加に伴い強度は大きくなる傾向が認められた。

【参考文献】1) 久保和子：第52回土木学会中国支部研究発表会「メタンハイドレートの圧縮挙動に及ぼす諸要因」p459-460

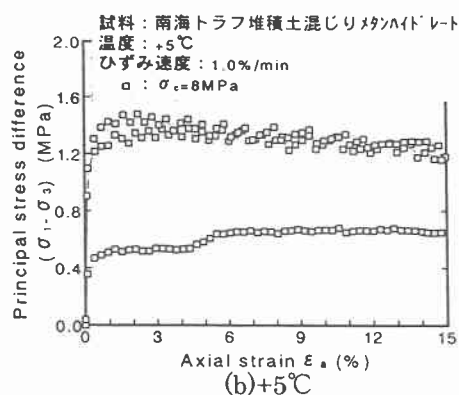


図2 軸差応力～軸ひずみ関係

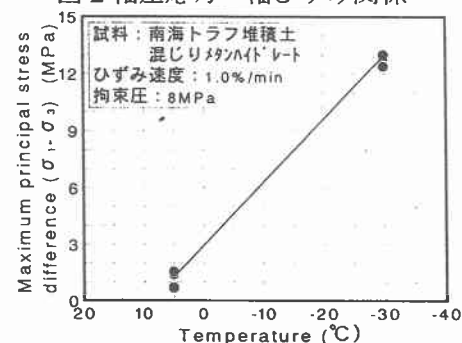


図3 最大軸差応力と温度の関係

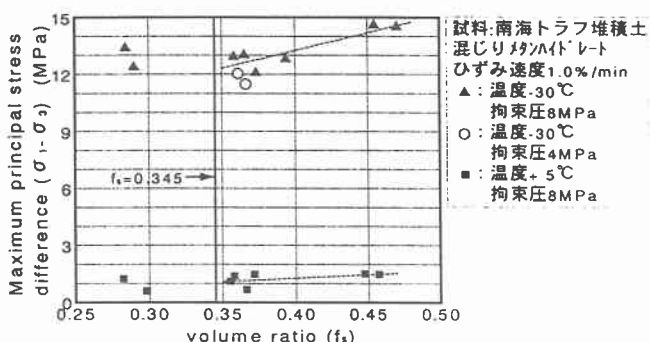


図4 最大軸差応力と堆積土体積比の関係