

メタンハイドレートと氷の三軸圧縮特性

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

1. はじめに

近年、経済成長に伴い世界の石油、石炭などのエネルギー消費量は増加し、これら化石燃料の埋蔵には限りが見られる。また、それらの使用は、温暖化の原因となる二酸化炭素などを大量に排出する。そこで注目されているのが豊富でクリーンなエネルギーであるメタンハイドレートである。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、ケージの中に取り込まれたメタンガス分子とから形成されており¹⁾、低温・高圧で安定状態を保つ性質を持つ。メタンハイドレートは世界中の深海底領域や永久凍土に分布が確認されているが、その力学特性の把握はまだ十分でない。本研究では人工的に作製したメタンハイドレートに対し、様々な温度・拘束圧条件下において三軸圧縮試験を行った。また、メタンハイドレートは氷と物理的特性が類似しているため、氷を対象とした実験も行い、メタンハイドレートの圧縮特性と比較した。

2. 試料及び試験方法²⁾

人工メタンハイドレート供試体は、メタン・水を原材料として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作られた顆粒状のメタンハイドレートを圧力晶析装置により更に高圧下(12MPa)で余剰水分を脱離して作製される。また、人工メタンハイドレートが顆粒状のメタンハイドレートの結合体であることから、今回かき氷機で顆粒状にした氷を低温(-30℃)状態にしたモールドに詰め、高圧下(12MPa)で突き固め作製した。以下、これをかき氷精製氷と呼ぶ。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-34℃まで下げ、かつセル内の圧力を 10MPa 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。軸荷重の載荷方法はひずみ制御式で行った。試験条件は軸ひずみ速度 1.0%/min とし、人工メタンハイドレートは温度 $T=5, -10, -30$ ℃、拘束圧 $\sigma_c=1.5, 4, 8$ MPa、かき氷精製氷は、温度 $T=5, -10, -20, -30$ ℃、拘束圧 $\sigma_c=0, 2, 4, 8$ MPa とした。

3. 実験結果と考察

メタンハイドレートには低温・高圧であるほど安定して存在する性質があるため、この主要な性質である温度、拘束圧の違いが三軸圧縮特性に及ぼす影響をかき氷精製氷と比較しながら検討する。まず、図 1 は、拘束圧 8MPa における軸差応力と軸ひずみの関係に与える温度の影響を示したものである。図より、メタンハイドレート、かき氷精製氷のどちらにおいても、延性的な挙動を示しており、温度の低下に伴い軸差応力が増加することがわかる。また、温度条件

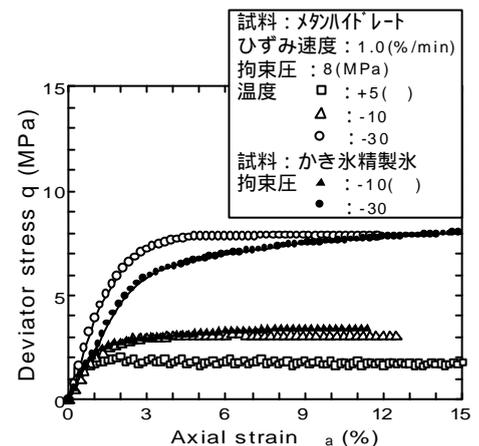


図 1 温度の違いに着目したメタンハイドレートと
かき氷精製の軸差応力～軸ひずみ関係

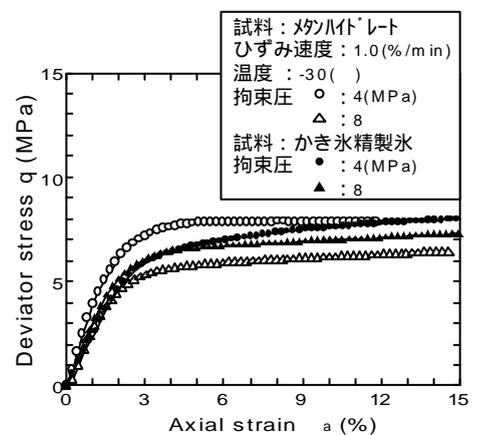


図 2 拘束圧の違いに着目したメタンハイドレートと
かき氷精製氷の軸差応力～軸ひずみ関係

+5 におけるメタンハイドレートの結果においては、最大軸差応力を示した後残留状態の部分で上下に増減を繰り返すメタンハイドレート特有の挙動を示していることが観察される。これは温度条件+5 が、氷の融解温度である 0 付近であるため生じた結果だと考えられる。図 2 は、温度-30 の軸差応力と軸ひずみの関係に与える拘束圧の影響を示したものである。図より、メタンハイドレートについては拘束圧の増加に伴い軸差応力が増加することが確認できるが、かき氷精製氷に関しては、拘束圧の違いによる軸差応力の違いは見られず、どちらの拘束圧においてもほぼ同様の結果が得られた。ここで他の温度、拘束圧条件についても検討するため、まず、図 3 にメタンハイド

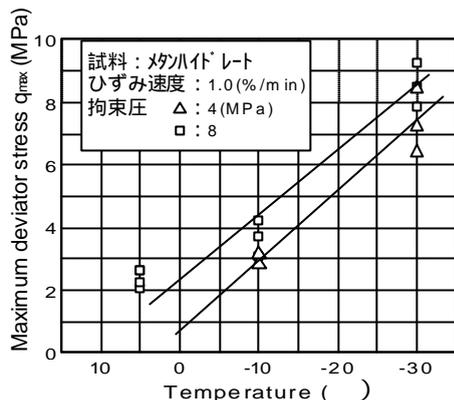


図 3 メタンハイドレートの三軸圧縮強度に与える温度の影響

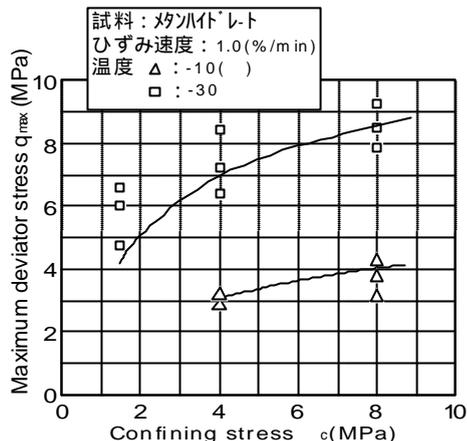


図 4 メタンハイドレートの三軸圧縮強度に与える拘束圧の影響

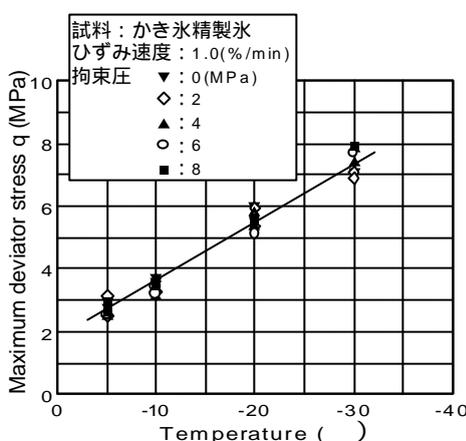


図 5 かき氷精製氷の三軸圧縮強度に与える温度の影響

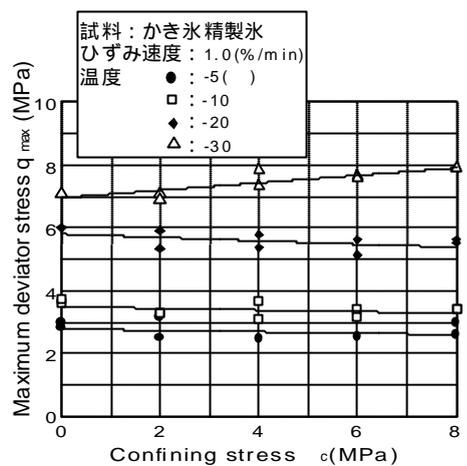


図 6 かき氷精製氷の三軸圧縮強度に与える拘束圧の影響

レートの最大軸差応力と温度の関係を拘束圧条件 4、8(MPa)について示す。図より、いずれの拘束圧条件においても温度の低下に伴い、最大軸差応力が増加する傾向が認められる。次に、メタンハイドレートの他の温度条件についても検討するため、図 4 に最大軸差応力と拘束圧の関係を示す。これより、いずれの温度条件においても拘束圧の増加に伴い最大軸差応力が増加する傾向が認められる。図 5 にかき氷精製氷の最大軸差応力と温度の関係を拘束圧 0、2、4、8MPa について示す。図より、いずれの拘束圧条件においても最大軸差応力に対する温度の依存性が現れ、温度が低くなるほど、最大軸差応力は高くなる傾向が見られる。また、かき氷精製氷の他の温度条件について、図 6 に最大軸差応力と拘束圧の関係を温度-5、-10、-20、-30 について示す。図より、いずれの温度条件においても最大軸差応力に対する拘束圧の依存性は現れておらず、拘束圧が増加しても最大軸差応力はほぼ一定の値を示す。以上の結果より、メタンハイドレートは温度、拘束圧に依存するが、かき氷精製氷はメタンハイドレートの結果と異なり、三軸圧縮強度の拘束圧依存性は確認できなかった。しかし、メタンハイドレートとかき氷精製氷の、0 以下の条件における軸差応力と軸ひずみの関係における挙動や、温度依存性の類似は、メタンハイドレートが水分子を基本とした分子構造を有していることによるものといえる。

4. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。メタンハイドレートの三軸圧縮強度は、温度、拘束圧に依存するが、かき氷精製氷のその拘束圧依存を確認できなかった。しかし、0 以下の条件における軸差応力と軸ひずみの関係における挙動や、三軸圧縮強度の温度依存性の類似性などが確認された。

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

2)南條勇太：メタンハイドレートの三軸圧縮特性に与える温度と拘束圧の影響、第 37 回地盤工学会講演概要集、2002（投稿中）