

様々な条件下におけるメタンハイドレートの力学特性

山口大学大学院 学生会員○武富一樹 上野俊幸

山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

（独）産業技術総合研究所 海老沼孝郎

1. はじめに

現在、日本近海に位置する南海トラフ、北海道周辺、オホーツク海海域などにメタンハイドレートの分布が確認され、石油に代わる一次エネルギーとして注目されている。このメタンハイドレートは水深 1000～2000m の海域に存在しているが、掘削・生産の際に周辺の地盤に影響を及ぼすことが懸念されている。また、メタンハイドレートの特性も未解明であり、その力学特性^{1),2)}については把握されていない部分が多いことから、メタンハイドレートの力学特性を把握することは重要である。本研究では人工的に作製したメタンハイドレート供試体を用いて、メタンハイドレートの強度に及ぼす温度、拘束圧、ひずみ速度の影響を検討することを目的に三軸圧縮試験を行った。

2. 試験の概要

人工メタンハイドレート供試体は、メタンガスと水を原材料として合成装置によって高圧下（8MPa）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 12MPa で加圧されて作製される。人工メタンハイドレートの供試体寸法は、直径 15mm、高さ 30mm である。図 1 に人工メタンハ

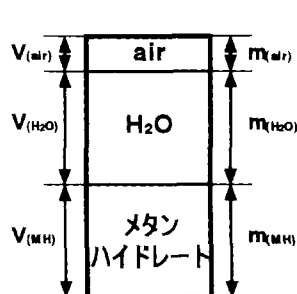


図1 人工メタンハイドレートモデル

$$m_p(MH) = \frac{V_{(Methane)}}{m_{(H_2O)} + m_{(MH)}} \times 100 = \frac{V_{(Methane)}}{m_{(MH)}} \times 100 \dots (1)$$

$m_p(MH)$: メタンハイドレート質量百分率(%)

$V_{(Methane)}$: 供試体中に含まれるメタンガスの体積(cc)

$m_{(H_2O)}$: 供試体中の H_2O の質量(g)

$m_{(MH)}$: 供試体中のメタンハイドレートの質量(g)

ρ_g : メタンガス密度【メタンハイドレート 1g に含まれるメタンガスの体積(cc/g)】

イドレートモデルを示す。作製したメタンハイドレートは、 H_2O 、メタンハイドレート、空隙から成る。空隙は平均で供試体体積の約 12%であった。また、供試体のメタンハイドレート質量百分率 $m_p(MH)$ は 73%であった。ここでメタンハイドレート質量百分率とは供試体中のメタンハイドレート・水の総質量に対するメタンハイドレートの質量の比率であり、式(1)で表すことができる。ここでは、供試体作製後、大気圧下でメタンガス量 $V_{(Methane)}$ と、分解後の水の量 ($m_{(H_2O)} + m_{(MH)}$) を測定することで求めている。三軸圧縮試験は三軸セル内の温度を -34°C まで下げることが可能で、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て行った。試験中の供試体温度は、ペDESTAL上部と下部及びセル中央部の三カ所に取り付けた熱電対によって計測を行う。軸荷重の載荷方法はひずみ制御式である。試験条件は、軸ひずみ速度 0.05, 0.1, 1.0, 2.0%/min、温度 $T=10, 5, 0, -5, -10, -30^\circ\text{C}$ 、拘束圧 $\sigma_c=1.5, 4, 8\text{MPa}$ とした。

3. 試験結果と考察

メタンハイドレートには低温・高圧な状態ほど安定して存在する性質がある。まず、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調べる。図2に拘束圧 8MPa における軸差応力と軸ひずみの関係に及ぼす温度の影響を示す。これより、マイナス温度では温度の低下に伴い軸差応力が増加しているが、プラス温度については、載荷初期に最大軸差応力を示した後、定常状態となっている。図3に各拘束圧条件における最大軸差応力と温度の関係を示す。図より、各拘束圧条件でマイナス温度では温度の低下に伴い最大軸差応力が増加しているが、プラス温度については各温度条件で最大軸差応力に差が見られない。また図中には、既往の研

究^{2),3)}で得られた氷 (T1) の強度も併せて示している。この図より、グラフの傾きに注目するとメタンハイドレートは氷 (T1) 以上に温度依存性が高いことがわかる。図4に、温度0、-30°Cにおける軸差応力と軸ひずみの関係に及ぼす拘束圧の影響を示す。図より、各温度条件で拘束圧の増加に伴い最大軸差応力は増加していることがわかる。図5に各温度条件における最大軸差応力と拘束圧の関係を示す。これよりメタンハイドレートは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は増加する傾向が見られる。また、温度の低下に伴い拘束圧の影響を受けやすくなると考えられる。しかし、氷 (T1) にはメタンハイドレートとは異なり、拘束圧による影響は見られない。次にひずみ速度による影響を調べるため

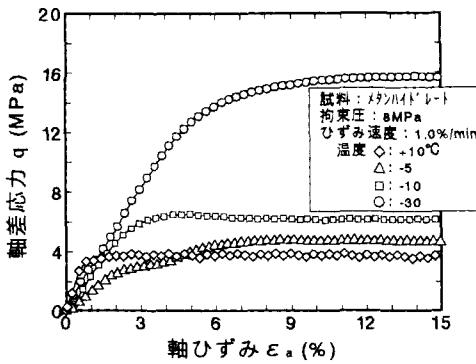


図2 軸差応力と軸ひずみの関係

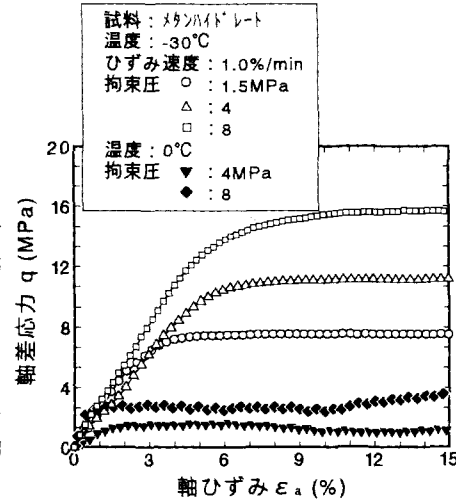


図4 軸差応力と軸ひずみの関係

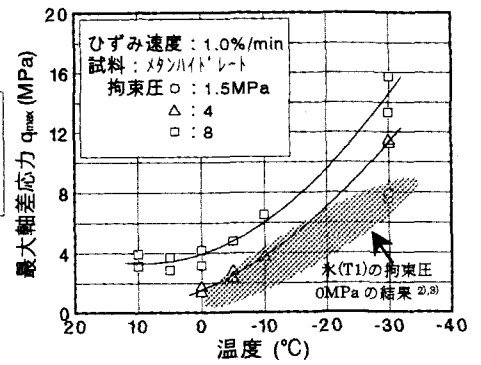


図3 最大軸差応力と温度の関係

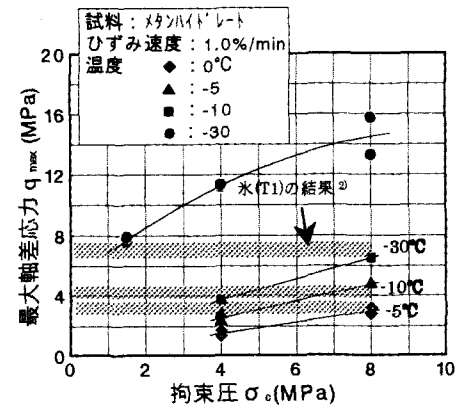


図5 最大軸差応力と拘束圧の関係

に図6に拘束圧4, 8MPaの各温度条件における最大軸差応力とひずみ速度の関係を示す。これより、0°C、4MPaについては、ひずみ速度の違いによる最大軸差応力の差がほとんど見られなかったが、他の条件においては、ひずみ速度が大きくなると最大軸差応力は大きくなることがわかる。また、グラフの傾きに注目すると、温度の低下に伴いひずみ速度の影響を受けやすくなると考えられる。また、氷 (T1) とメタンハイドレートのグラフの勾配がほぼ等しいことより、メタンハイドレートのひずみ速度依存性は氷とほぼ同等であることが確認できる。

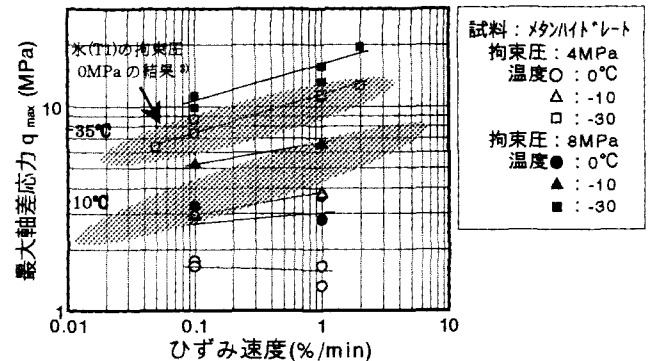


図6 最大軸差応力とひずみ速度の関係

4.結果

本試験の結果より、①温度による影響について、マイナス温度では強度に対する温度の依存性が確認されたが、プラス温度では確認されなかった。また、メタンハイドレートの温度依存性は、氷 (T1) と比較すると高いことがわかった。②拘束圧による影響について、拘束圧の増加に伴い三軸圧縮強度が増加する傾向が確認された。また、氷 (T1) には拘束圧依存性は確認されなかった。③ひずみ速度による影響については、ひずみ速度が大きくなると三軸圧縮強度は増加する傾向が見られ、温度の低下がひずみ速度依存性に影響していた。また、メタンハイドレートのひずみ速度依存性は、氷 (T1) と比較するとほぼ同等であるとわかった。

【参考文献】

- 1) 兵動正幸・中田幸男・福永誠ら：砂混じりメタンハイドレートの三軸圧縮特性，第54回土木学会年次学術講演会，1999，pp.704～705
- 2) 松尾知佳・兵動正幸・中田幸男・吉本憲正ら：メタンハイドレートと氷の三軸圧縮特性，土木学会第57回年次学術講演会，2002，pp.301～302
- 3) B.Michel：ICE MECHANICS, LES PRESSES DE L'UNIVERSITE LAVAL Quebec, 1978, pp.52～59