

質量百分率の異なるメタンハイドレートの力学特性に及ぼす温度及び拘束圧の影響

山口 TLO 正会員 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 学生会員 上野俊幸
 （独）産業技術総合研究所 海老沼孝郎

1. はじめに 現在、エネルギー問題・環境問題が議論される中で永久凍土内や、深海底に存在しているメタンハイドレートが新しいエネルギー資源として注目されている。わが国周辺海域においても多量の埋蔵が確認されており、次世代のエネルギーとして開発のための研究が進められている。メタンハイドレートの安定した生産を行うためにはまず、メタンハイドレートの力学特性を把握することが重要と考えられている。これまで当機関においては1995年より、氷(T1)、メタンハイドレート、南海トラフで試錘された天然メタンハイドレート、そして南海トラフ堆積土混じりメタンハイドレートなど、様々な状態の試料の力学特性を研究してきた¹⁾²⁾。本研究では、新たにメタンハイドレートと水の混合割合に着目し、人工的にそれを変化させ作製したメタンハイドレート供試体を用いて三軸圧縮試験を行い、その温度及び拘束圧の依存性について検討した。

2. 試料及び試験方法 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(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で加圧し作製したものである。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に人工メタンハイドレートのモデルを示す。作製し

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

$m_{p(MH)}$: 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)
 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) (ここでは理想値である 172cc/g を用いて計算する)】

図1 人工メタンハイドレート

た供試体は、 H_2O 、メタンハイドレート、空隙から成るが、空隙は供試体体積のわずか0.2%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・氷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、供試体作成後、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℃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 1.0%/min、温度 $T = +5, -10, -30$ ℃、拘束圧 $\sigma_c = 1.5, 4, 8$ MPa、メタンハイドレート質量百分率 $m_{p(MH)} = 18, 35, 73\%$ とした。 $m_{p(MH)} = 73\%$ の供試体については、-150℃に保存しておいた顆粒状のメタンハイドレートを、低温状態にある圧力晶析装置のモールドに入れ、12MPaで加圧して作製したものである。ハイドレート量を調整した18、35%のもの

キーワード: メタンハイドレート, 三軸圧縮試験, 質量百分率, 温度, 拘束圧 URL: <http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp/>

連絡先: 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9344 FAX0836-85-9301

については、顆粒状メタンハイドレートを-20 の冷凍庫で長時間放置することでメタンハイドレートを分解させ、その後、同様の圧力で作製した。図2にこれらの供試体作製工程を示す。

3. 実験結果と考察

低温高压三軸圧縮試験を行い、メタンハイドレートの三軸圧縮強度に及ぼすメタンハイドレート質量百分率の影響を調べる。図3は拘束圧 8MPa における温度 +5, -30 でのメタンハイドレート質量百分率をパラメータとした軸差応力と軸ひずみの関係を示したものである。

温度 +5 の $m_p(MH) = 35$, 73%の結果は、残留強度に顕著な差は認められないが、-30 の結果については、質量百分率が高いほど軸差応力も大きい。これより、メタンハイドレートの強度に対するメタンハイドレート質量百分率の依存性が確認できる。図4にこれらの結果から求めた最大軸差応力と温度の関係を示し、図中には、既往の研究²⁾³⁾より得られた氷(T1)の強度の分布領域も併せて示している。

いづれの質量百分率の結果についても温度の低下に伴い最大軸差応力が大きく発現されている。また質量百分率が大きくなる程、最大軸差応力も大きくなっている。さらにメタンハイドレートは質量百分率が大きくなると氷(T1)以上に温度依存性を示すことがわかる。図5は温度-30 における拘束圧 4, 8MPa での軸差応力と軸ひずみの関係を示したものである。

これより拘束圧 4MPa における $m_p(MH) = 18, 35\%$ には顕著な差は見られなかったが、その他の条件ではいづれの拘束圧条件においても質量百分率が高いほど軸差応力も大きい。これより、メタンハイドレートの強度に対するメタンハイドレート質量百分率依存性が確認できる。図6にこれらの結果から求めた最大軸差応力と拘束圧の関係を示す。各質量百分率条件において高压であるほど強度が大きく、それに伴い質量百分率に対する強度の影響が顕著に現れている。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。

4. まとめ メタンハイドレートの三軸圧縮強度は、メタンハイドレート質量百分率が高いほど増加する傾向が見られ、低温・高压条件であるほど、強度に対しその影響が大きくなることがわかった。また氷(T1)には拘束圧依存性は見られない。

【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

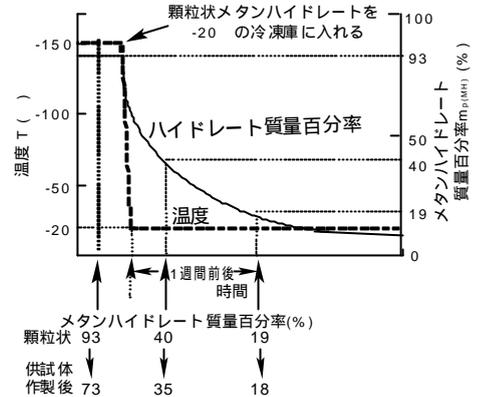


図2 質量百分率の異なる顆粒状メタンハイドレートの作製

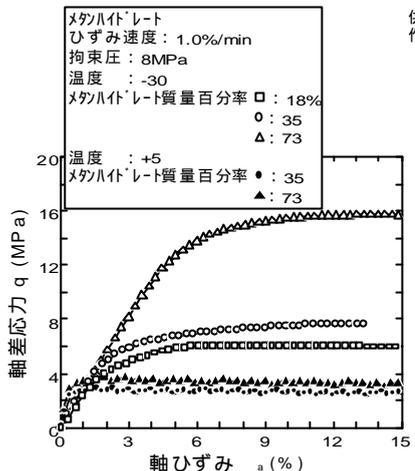


図3 軸差応力と軸ひずみの関

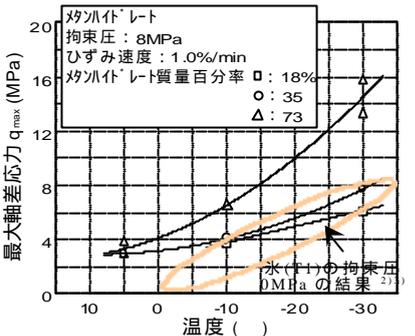


図4 最大軸差応力と温度の関

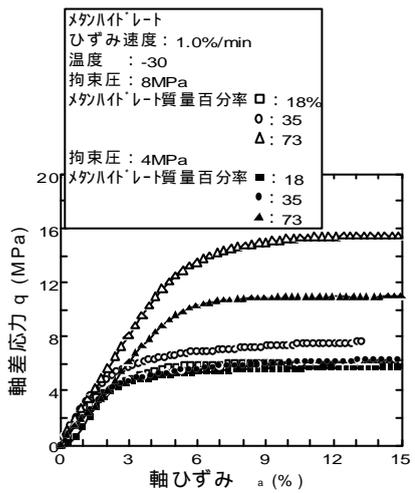


図5 軸差応力と軸ひずみの関

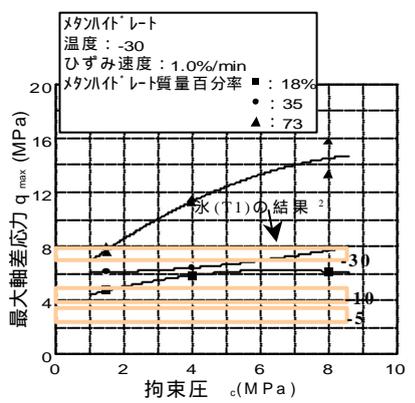


図6 最大軸差応力と拘束圧の関