

メタンハイドレートの三軸圧縮特性に及ぼす濃度の影響

山口大学大学院 学生会員○上野俊幸 武富一樹

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 これまで当機関においては、氷（T1）やメタンハイドレート、堆積土混じりメタンハイドレートなど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氷の混合割合がせん断強度特性に及ぼす影響に着目し、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. 試験の概要 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)で表される。ここでは、実験終了後、ガ

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

$m_{p(MH)}$: 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)】

ここでは理想値である 172cc/g を用いて計算する】

ス量測定器を用いて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。本研究では供試体作製後のメタンハイドレート質量百分率が 18, 35, 73% の供試体を用いた。質量百分率 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。メタンハイドレート量を調整した 18, 35% のものについては、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 1 にこれらの供試体作製工程を示す。いずれの供試体寸法も、直径 15mm、高さ 30mm である。

3. 試験結果と考察 低温高圧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 2 は拘束圧 8MPa で温度 +5, -30℃ における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 35% と 73% の質量百分率の結果より、これらの残留強度には顕著な差が見られないが、-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く発揮されている。これにより、メタンハイドレートには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存在することがわかる。図 3、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と、最大軸差応力と拘束圧の関係を示す。また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。低温・高圧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。さらにメタンハ

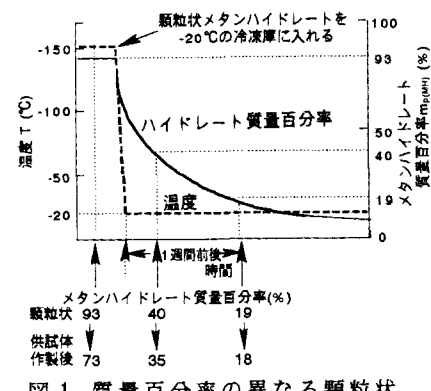


図 1 質量百分率の異なる顆粒状メタンハイドレートの作製工程

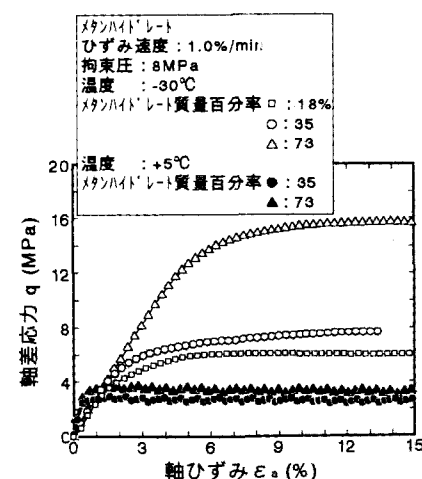


図 2 軸差応力と軸ひずみの関係

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り、氷 (T1) には拘束圧依存性は見られない。ここで、これらの種々の温度・拘束圧条件下における低温高压三軸圧縮試験の結果から、作製しにくいと考えられる質量百分率 100% の強度を推定する。図 5 はそれぞれ (a) 拘束圧 4MPa, 温度 -10, -30°C、(b) 拘束圧 8MPa, 温度 -10, -30°C における最大軸差応力とメタンハイドレート質量百分率との関係について示している。これらの図に、過去の本研究で行った、異なる機関で合成された顆粒状メタンハイドレートを、同様の条件で作製したメタンハイドレート供試体 (Δ $\blacktriangle$) と、氷 (T1) ($\circ$ $\bullet$) の三軸試験結果²⁾も併せて示す。氷 (T1) とは精製水を凍らせ、顆粒状に粉碎したものを圧力晶析装置にてメタンハイドレート供試体と同様の 12MPa の圧力で作製したものである。これらの密度は、今回本研究で用いたメタンハイドレート供試体と同様の 0.8g/cm^3 である。ここで、メタンハイドレート質量百分率 18, 35, 73% と氷 (T1) の結果を用い、最小二乗法を用いて直線近似し、100% の強度を外挿する。図 6、7 にこれらの質量百分率 100% 推定強度を用い、最大軸差応力と温度、および拘束圧の関係を示す。図中、最大軸差応力が 0 の点はメタンハイドレートの安定境界から求めたメタンガスが分解し始める点であり、図 6 の Δ 、 $\square$ は圧力 4, 8MPa における温度で、図 7 の $\circ$ 、 ∇ は温度 -10, -30°C における圧力を示す。今後供試体作製方法を検討し、これらの精度を高めていく必要があるが、現時点では、メタンハイドレート質量百分率 100% のメタンハイドレートにおいても、低温・高压であるほど三軸圧縮強度は大きく、強度に対する温度、拘束圧依存性が確認できる。

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・高压状態であるほど、強度に対しその影響が大きくなることが明らかとなった。また、これらの結果を用いて質量百分率 100% の強度の推定を試みた。

【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

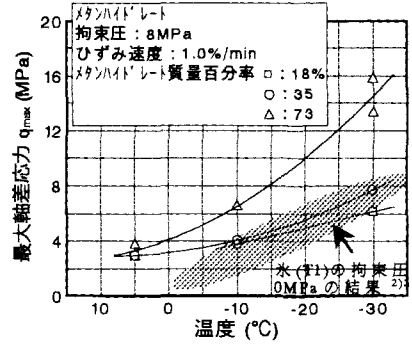


図 3 最大軸差応力と温度の関係

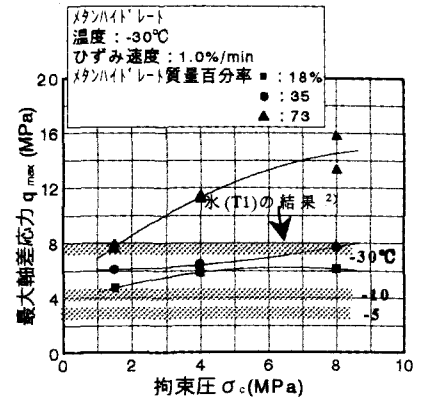
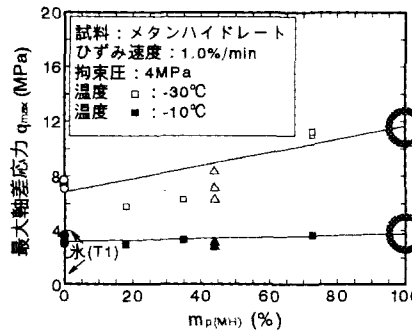
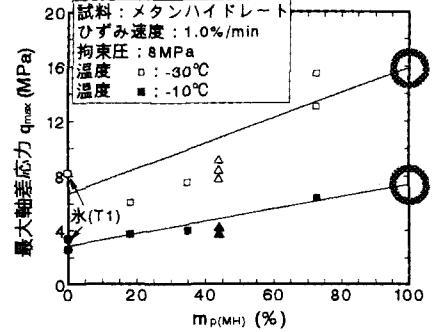


図 4 最大軸差応力と拘束圧の関係



(a) 拘束圧 4MPa, 温度 -10°C, -30°C



(b) 拘束圧 8MPa, 温度 -10°C, -30°C

図 5 最大軸差応力とメタンハイドレート質量百分率の関係

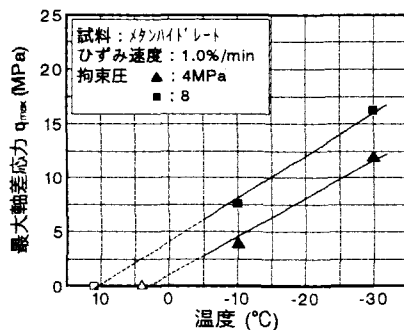


図 6 最大軸差応力～温度関係
(メタンハイドレート推定強度)

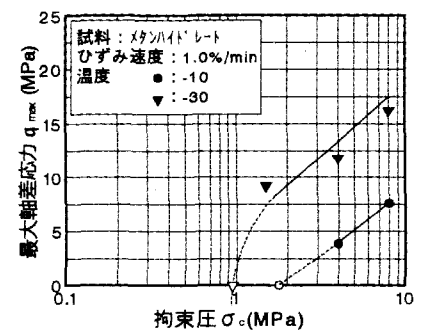


図 7 最大軸差応力～拘束圧関係
(メタンハイドレート推定強度)