

メタンハイドレートの三軸圧縮特性

山口大学大学院 学生会員○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

山口大学大学院 学生会員 松尾知佳

(株)カナコン 正会員 南條勇太

大阪ガス(株)開発研究部 中村和夫

1.はじめに

21 世紀、人類は深刻なエネルギー危機に直面する可能性がある。中でも石油は安価で扱い易く、世界の一次エネルギーの約 40%を担う主要なエネルギー源となっている。しかし石油や石炭など化石燃料を燃焼させると、二酸化炭素や大気汚染物質が排出される。このような背景より主要なエネルギー源を石油から他のものに転換すべき時期がきている。その中で注目されているものの 1 つが、豊富でクリーンなエネルギーであるメタンである。メタンは世界中の深海底領域や永久凍土領域にメタンハイドレートとして分布が確認されている。¹⁾メタンハイドレートとは水分子がつくる包接氷の中にメタンガス分子が取り込まれた物質で、低温・高圧の条件で安定する性質を持つ。メタンハイドレートの実用化に向け、実地盤からメタンハイドレートを安定に採取するためには、力学特性の十分な解明が求められている。本論文では、人工的に合成したメタンハイドレートに対し、様々な温度・拘束圧条件下における三軸圧縮特性について考察する。

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。作製した人工メタンハイドレートの供試体寸法は、直径 15mm、高さ 30mm であり、初期密度は 0.758~0.819 g/cm³ の範囲である。三軸圧縮試験は三軸セル内の温度を-30℃まで下げることが可能で、かつセル内の圧力を 8MPa 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。本研究における試験条件は、軸ひずみ速度 0.1%/min, 1.0%/min、温度 T=5, -10, -30℃、拘束圧 $\sigma_c=1.5, 4, 8$ 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・高圧なほど安定して存在する性質があり、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た。図 1 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。これより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。他の温度条件についても最大軸差応力に対する拘束

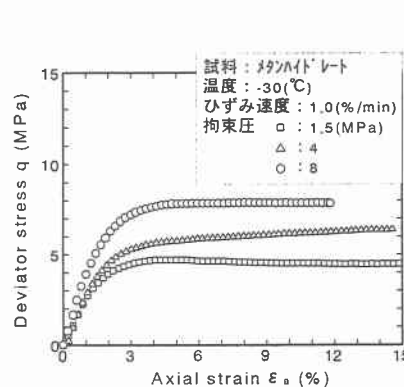


図 1 軸差応力と軸ひずみの関係

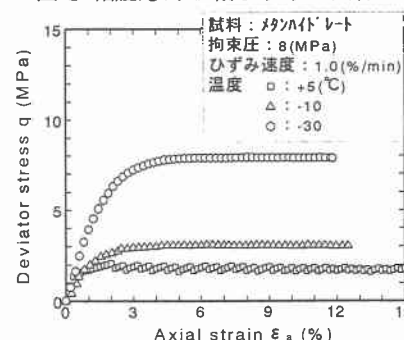


図 3 軸差応力と軸ひずみの関係

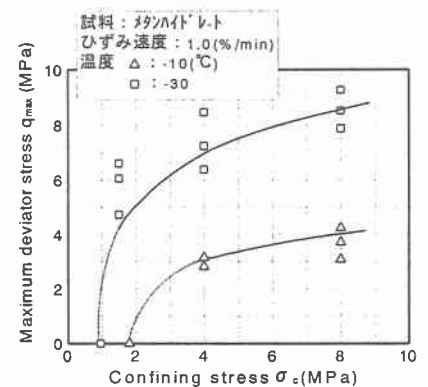


図 2 最大軸差応力と拘束圧の関係

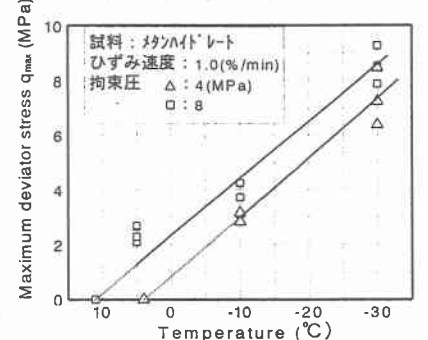


図 4 最大軸差応力と温度の関係

圧依存性を検討するため、図 2 に最大軸差応力と拘束圧の関係を示す。図中、各温度条件において最大軸差応力が 0 となるにプロットを示している。これはメタンハイドレートの安定境界から求めたメタンハイドレートの気化が始まる温度の点、つまり包接氷からメタンガスが抜け、メタンハイドレートとして存在しなくなる点を表すものである。この図より人工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対し、初期に最大軸差応力は急激に増加し、その後高拘束圧下では最大の軸差応力は緩やかに上昇する傾向が認められる。図 3 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。これより、温度の低下に伴い軸差応力は増加しているのがわかる。他の拘束圧条件についても最大軸差応力に対する温度依存性を検討するため、図 4 に最大軸差応力と温度の関係を示す。これより人工メタンハイドレートは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は増加する傾向が認められる。図 5 に 2 種類のひずみ速度で行った拘束圧 8MPa における最大軸差応力と温度の関係を示す。図中に示す直線は、実験結果を回帰したものである。これより、ひずみ速度 1.0%/min の結果の方が 0.1%/min の結果より上側にあることから、いずれの温度条件下においても、ひずみ速度が大きい方が最大軸差応力は大きくなる傾向が認められる。また温度が低い程ひずみ速度の影響を受けやすいと考えられる。

図 6 は過去に化学的実験から得られたメタンハイドレートの安定境界を示している。また、今回行ったメタンハイドレートの低温高圧三軸試験の試験条件も併せて図中に◎プロットで示している。この安定境界と力学強度の相関関係を考える上で、温度 T 、圧力 P の要素を含む状態パラメータ L を定義した。メタンハイドレートの安定境界線はその変曲点の値の温度 $T=273\text{K}$ 、圧力 $P=2.6\text{MPa}$ により正規化した。 L は図 7 に示すように、実験の温度・圧力条件と正規化安定境界線の最短距離として定義される。図 8 は最大軸差応力と L の関係について表したものである。この図より、 L が大きくなるにつれて最大軸差応力が増加していることがわかる。つまり、メタンハイドレートの安定条件である低温・高圧域に入る程、強度が増すことを意味している。状態パラメータ L を用いるメリットは状態パラメータ L が温度と圧力の 2 つの要素を兼ね備えていることにある。このパラメータ L は、メタンハイドレートの力学的性質を評価する有力なパラメータになり得ると判断される。

4.まとめ

本研究のまとめを以下に示す。①メタンハイドレートの三軸圧縮強度は、拘束圧、温度、ひずみ速度に依存することが確認できた。②状態パラメータ L を用いることで、様々な温度と圧力条件におけるメタンハイドレートの三軸圧縮強度を評価できる。

【参考文献】

- 1) 株式会社ニュートンプレス : Newton, 2001 年 1 月号, pp. 92-101
- 2) 松尾知佳他 : メタンハイドレートと氷の三軸圧縮特性, 第 57 回年次学術講演概要集, 2002 (投稿中)

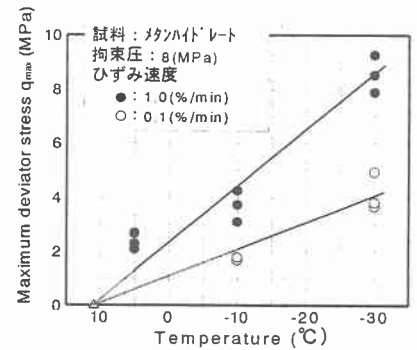


図 5 最大軸差応力と温度の関係

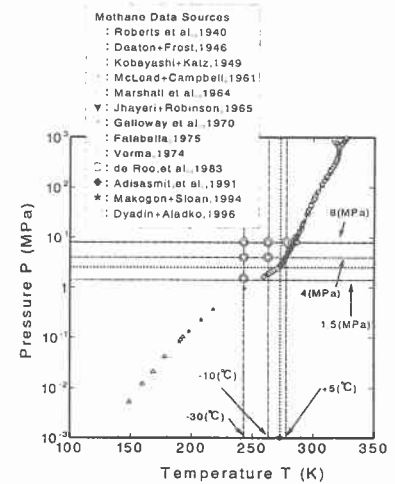


図 6 メタンハイドレートの安定境界と安定境界上にプロットした今回の試験条件

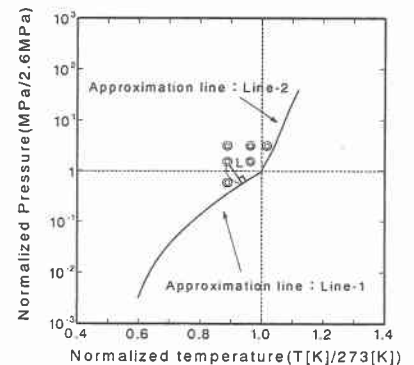


図 7 近似線 Line-1、Line-2 と近似線からの距離 L

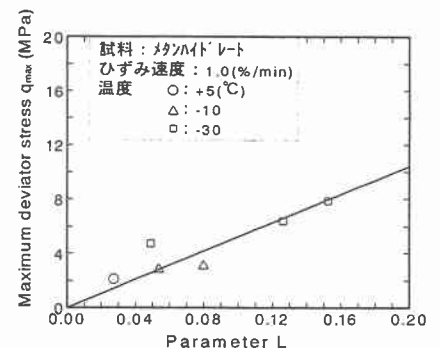


図 8 最大軸差応力と状態パラメータ L の関係