

メタンハイドレートの強度特性に及ぼす温度と拘束圧の影響

山口大学工学部
(株)復建調査設計
大阪ガス(株)研究開発部
山口大学工学部

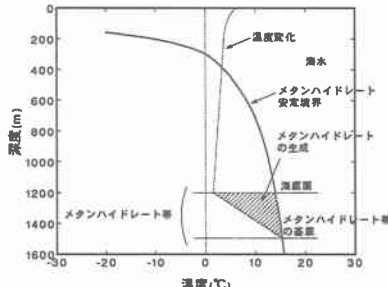
正 員 中田幸男 兵動正幸
正 員 福永 誠
正 員 中村和夫 山田研治
学生員 ○久保和子

1. 序論 近年、経済成長に伴い、世界のエネルギー消費量は急速に増加している。また、活発に地球温暖化の問題が議論されるようになり、二酸化炭素の排出量の必要性が重要視されるようになった。二酸化炭素の排出量の増加の要因には、私達が生活していく為のエネルギー資源の多くを、石油・石炭に依存してきたことが考えられる。二酸化炭素の排出量を減らす為、石油・石炭から新しいエネルギー資源に移行する案があるが、その新しいエネルギー資源として注目されているのが天然ガスとしてのメタンハイドレートである。メタンハイドレートとは、水分子の結晶構造の中にメタン分子が取り込まれた物質であり、海底や永久凍土に存在することが知られている(図-1)。実際にメタンハイドレートを資源として利用するためには、多くの課題を検討する必要がある。本研究では、掘削方法や掘削時の安定性を検討する上で必要となるメタンハイドレートの力学特性を明らかにする目的で、人工メタンハイドレートを用い、温度・拘束圧の違いが強度特性に与える影響を考察する。

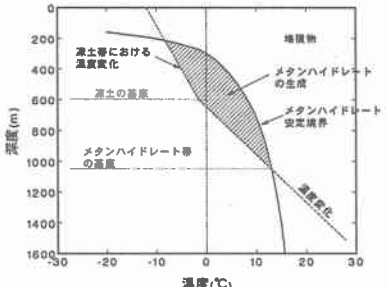
2. 試験の概要 1) 試料：本研究で用いたメタンハイドレートは、メタン及び水を原材料として合成装置により低温・高圧下で合成し、圧力晶析装置で更に 160MPa の圧力下で余剰水分を脱離して作成される。供試体の寸法は直径 15mm、高さ 30mm である。

2) 試験方法：試験機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試験機を用いた。試験中の温度はペDESTAL上部と下部およびセル中央部の三ヶ所に取り付けたサーモスタットによって計測され試験中管理している。荷重荷方法にはひずみ制御式で、ひずみ速度 1.0%/min、拘束圧 $\sigma_c=0, 4, 6, 8\text{MPa}$ 、温度 $T=+5, -5, -30\text{℃}$ の条件で低温高圧三軸圧縮試験を行った。

3. 結果と考察 図-2 はメタンハイドレートの軸ひずみ ϵ_1 と主応力差($\sigma_1-\sigma_3$)の関係について表したものである。この図より、拘束圧 σ_c の増加に伴い主応力差($\sigma_1-\sigma_3$)が増加していることがわかる。



(a) 海底



(b) 永久凍土

図-1 メタンハイドレートの生成領域

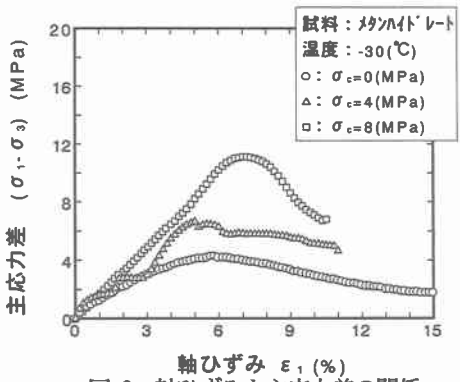


図-2 軸ひずみと主応力差の関係

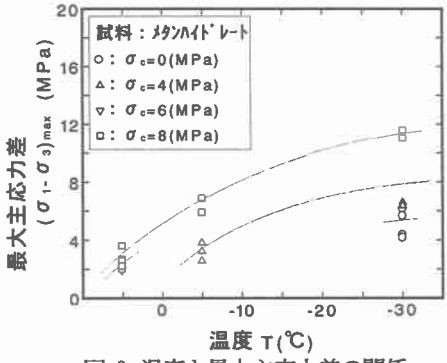


図-3 温度と最大主応力差の関係

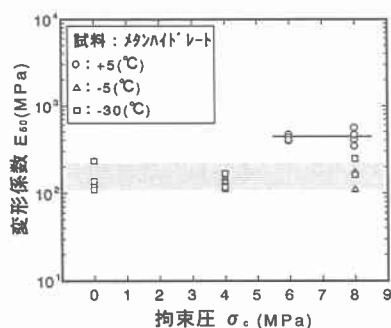


図-4 拘束圧と変形係数の関係

図3にメタンハイドレートの温度と最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ の関係を示す。この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主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ が増加していることがわかる。また、同じ温度で比較すると拘束圧 σ_c が高い方が最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ は大きくなっている。上記のことからメタンハイドレートの三軸圧縮強度は温度・拘束圧に依存するといえる。次に、図-4はメタンハイドレートの拘束圧 σ_c と変形係数 E_{50} の関係について表したものであり、この図より変形係数 E_{50} は+5℃と-5、-30℃で違いがあるもののいずれの温度条件下においても拘束圧 σ_c によらずほぼ一定の値を示している。図-5は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。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 を提案する。メタンハイドレートの安定境界線には温度 $T=273$ (K)、圧力 $P=2.6$ (MPa)で変曲点が見られるので温度 T ・圧力 P のそれぞれを $T=273$ (K)、圧力 $P=2.6$ (MPa)で正規化し、この変曲点を境に近似線Line-1、Line-2を求める。ある温度・圧力条件の点から2本の近似線までの距離をそれぞれ求め、短い方を L とする(図-6)。図-7は L と最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ の関係について表したものである。この図より、 L が長くなるにつれて最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ が一義的に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。また、異なる温度・圧力下においても L の値が同じならばメタンハイドレートの強度は等しくなると考えられる。このことから、 L を用いることによりメタンハイドレートの力学強度を力学的検知から認識でき、 L によって掘削時のメタンハイドレートの強度を予測することができる可能性を示唆している。

4. 結論 1)メタンハイドレートの三軸圧縮強度は温度・拘束圧に依存し低温・高圧であるほど高強度を示す。

2)パラメータ L を用いることで、力学的にメタンハイドレートの強度特性を認識できる。 L の値が大きい程低温・高圧であり、強度は高くなる。 L の値を知ること、掘削現場のメタンハイドレート強度を容易に予測できる可能性を示唆している。

【参考文献】 1)松本良・奥田義久・青木豊(1993)メタンハイドレート(Methane Hydrate)-21世紀の巨大天然ガス資源

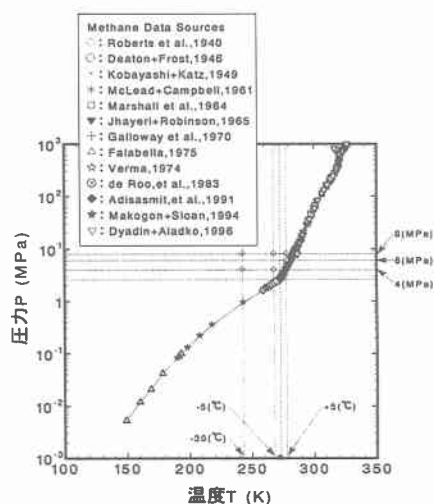


図-5 安定境界

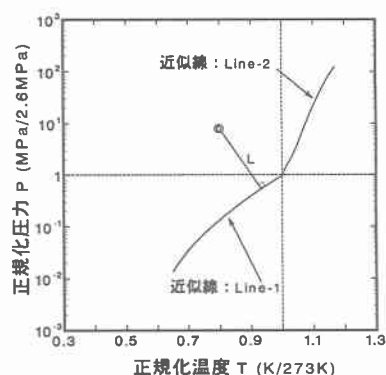


図-6 Lの求め方

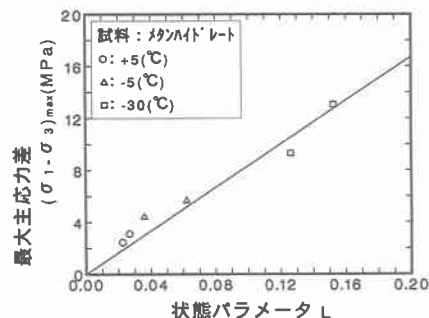


図-7 Lと最大主応力差の関係