

温度・拘束圧の違いがメタンハイドレートの方学特性に与える影響

山口大学

山口大学大学院

大阪ガス(株)研究開発部

正 員 兵動正幸 中田幸男 村田秀一

学生員○福永誠

中村和夫 山田研治

1.序論 二十一世紀を目前に控え、年々経済の成長に伴い、石炭・石油・天然ガス等の再生不能なエネルギー資源はこれまでにない勢いで消費されている。また、地球温暖化問題で二酸化炭素の排出量抑制の必要性が高まり、エネルギー生産量を減少させずに二酸化炭素の排出を抑制する柔軟な対応が求められている。そこで近年注目されているのが、水の分子が作るかご構造の中にメタン分子が取り込まれたメタンハイドレートという物質である。このメタンハイドレートは一定の温度・高圧力下で氷状の安定状態を保ち、氷が溶ける 0°C 以上でも高圧であれば安定であるという性質(図-1)から、日本を含む世界各地の海底や永久凍土地帯に分布している。さらに体積の 170 倍ともいわれるメタンが含まれているため、二酸化炭素の排出量の少ない天然ガス(メタン)として使えるようになれば、前述の一つの対応策として有力な存在になると考えられている。本研究では、掘削や生産の段階で必要となる基礎物性として、氷等の基準となる物質と合成ハイドレートをを用い、拘束圧や温度の違いがメタンハイドレートの方学特性に与える影響を考察する。

2.試験の概要 1)試料：本研究で用いた試料は合成ハイドレートと精製氷である。合成ハイドレートはメタン・水を原材料として合成装置により低温・高圧下(10°C , $100\text{kg}/\text{cm}^2$)で合成され、圧力晶析装置で $1600\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力下で余剰水分を脱離して作成される。精製氷は蒸留後イオン樹脂を通し精製処理した水を凍らせたものである。2)試験方法：用いた試験機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 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ まで上げることが可能な低温高圧三軸試験機である。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することができる。荷重載荷方法はひずみ制御式で、ひずみ速度は $1.0\%/ \text{min}$ である。試験は直径 15mm 、高さ 30mm の供試体にて拘束圧($\sigma_r=0, 40, 60, 80\text{kg}/\text{cm}^2$)と温度($T=5, -5, -10, -30^{\circ}\text{C}$)の条件で 5 本から 10 本の三軸圧縮試験を行う。

3.結果と考察 図-2 はメタンハイドレートの軸ひずみ ε 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_r の増加に伴い主応力差($\sigma_1-\sigma_3$)が増加しているのがわかる。図-3 は拘束圧 σ_r とピーク強度($\sigma_1-\sigma_3$)_{max} の関係を表したもので、各プロットは試験条件毎の平均値をとっている。この図から、拘束圧 σ_r の増加に伴い、ピーク強度(σ_1-

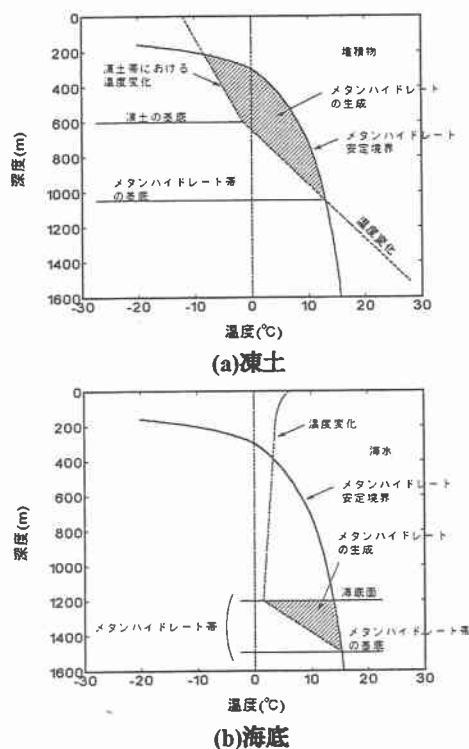


図-1 メタンハイドレートの生成領域

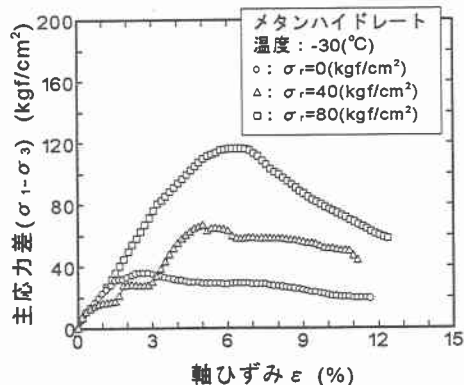


図-2 軸ひずみと主応力差の関係

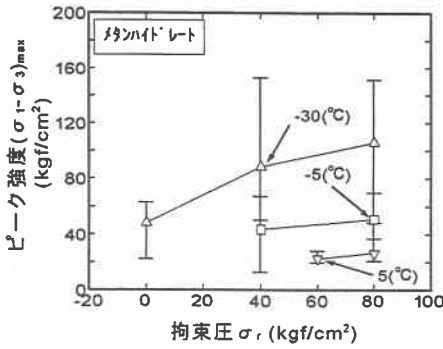


図-3 拘束圧とピーク強度の関係 (全実験結果)

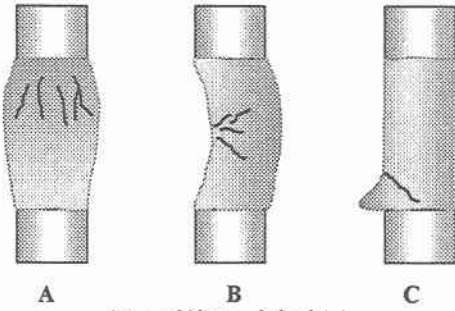
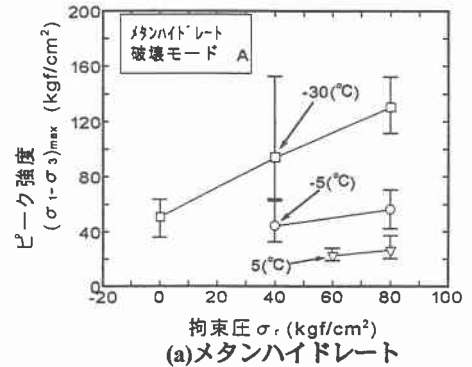
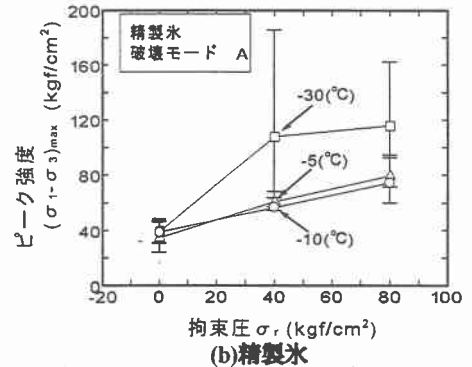


図-4 破壊モード概念図

$\sigma_3)_{\max}$ の値のばらつきが増大しているのがわかる。図-4 は試験後の観察に基づいて供試体の破壊形態を大きく三つのパターンに分類したものである。それぞれの破壊形態は、破壊モード B は端面整形の不備、破壊モード C は供試体内の気泡やクラック等による不均一性に起因すると言える。上述したばらつきはこの破壊形態によるものと考え、真の三軸圧縮強度を表すものと考えられる破壊モード A の拘束圧 σ_r とピーク強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ の関係について表したものが図-5(a)、(b)である。図-3 と同様、各プロットは各々の実験条件における平均値である。精製水では、拘束圧の増加に伴い、いずれの温度条件においてもピーク強度が増加すること、拘束圧 0kgf/cm² の場合、温度によらずピーク強度はほぼ一定であること、拘束圧 40,80kgf/cm² の場合、温度の-5℃から-30℃の減少に伴い、ピーク強度が 5 割程度増加していること、がわかる。メタンハイドレートでは、拘束圧の増加に伴うピーク強度の増加は、温度の低いものほど顕著で、+5℃のそれは、明確にみられないことがわかる。図-6 は内部摩擦角 ϕ と粘着力 c の温度との関係を表したものである。この図より、粘着力 c は精製水では温度の変化に関わらず 15kgf/cm²、メタンハイドレートでは 0℃を越えた付近で 15kgf/cm² から 20kgf/cm² と余り変化が見られないことがわかる。内部摩擦角 ϕ においては、温度が低下すると精製水で 10° から 20° まで、メタンハイドレートで 5° から 20° まで増加しているのがわかる。



(a)メタンハイドレート



(b)精製水

図-5 拘束圧とピーク強度の関係

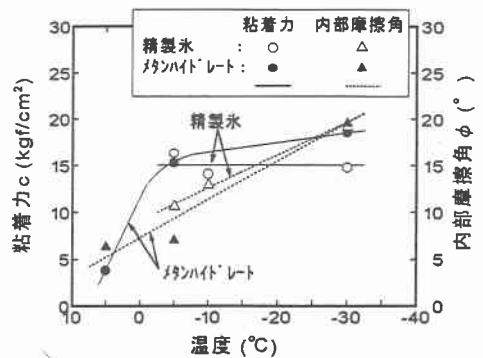


図-6 温度と強度定数の関係

4.結論

今回の試験結果より得られたことは次の通りである。
1)メタンハイドレート・精製水の三軸圧縮強度は、両試料共に拘束圧、温度に依存し、低温高压であるほど高強度を示す。
2)破壊形態による影響を除き両試料を比較すると、メタンハイドレートの方が精製水より若干せん断強度が小さい。

【参考文献】1)松本良(ほか):メタンハイドレート ～21 世紀の巨大天然ガス資源～、日経サイエンス社(1994)