

大阪大学大学院工学研究科
大阪大学工学部
大阪大学大学院工学研究科

正会員 鍋島康之
学生会員 ○高井祐輔
フェロー 松井 保

1. はじめに

新しいエネルギー資源として、近年、メタンハイドレートが注目されている。メタンハイドレートとは、低温高压の条件下で水分子がつくる立体的な構造の中に、メタンガスが閉じ込められてできた物質であり、低い温度と高い圧力において安定に存在するという性質上、永久凍土の下部や海底地層中に存在することが明らかになっている¹⁾。

本研究では、低温高压小型三軸試験機を用いて、メタンハイドレートおよび物理特性の類似している氷の三軸圧縮試験を行い、所定の温度および拘束圧下におけるメタンハイドレートと氷の圧縮強度を比較した。

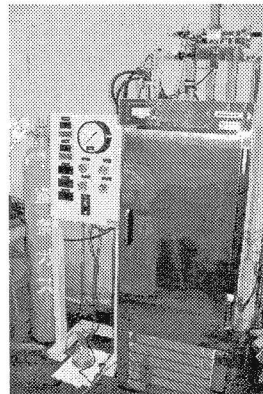
2. 試験試料および試験方法

試料として用いたメタンハイドレートは純氷とメタンガスを温度 -2°C 、圧力 $8.5\sim 10\text{ MPa}$ の条件下で合成した粉末状の人工メタンハイドレートを使用し、氷はかき氷機で粉碎することで粉末状にしたものを使用した。両供試体ともモールドで突固めて作製した。供試体の寸法は、メタンハイドレートで直径 $12\text{ mm}\times$ 高さ 20 mm 、氷で直径 $15\text{ mm}\times$ 高さ 30 mm である。

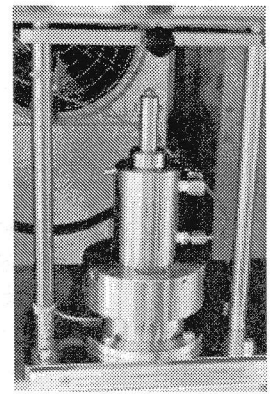
本研究で用いた低温高压小型三軸試験機の外観を図-1 (a)に示す。本試験機は図-1 (b)に示すように冷凍庫内に三軸セルを設置したもので、温度を $0\sim -30^{\circ}\text{C}$ に調節でき、拘束圧を最大 10 MPa まで負荷することが可能である。軸力はモーターによるひずみ制御方式（ひずみ速度 $0.5\%/ \text{min}$ ）で載荷し、温度および拘束圧条件は図-2に示すメタンハイドレートの温度および圧力に対する安定境界²⁾を考慮し、表-1に示すように温度を $-10, -20, -30^{\circ}\text{C}$ 、拘束圧を $2, 3\text{ MPa}$ の条件で行った。これらの試験ケースは図-2にデータポイントで示した点である。

3. 試験結果および考察

図-3はメタンハイドレートおよび氷の軸差応力 - 軸ひずみ関係をま



(a) 試験機外観



(b) 冷凍庫内の三軸セル

図-1 低温高压小型三軸試験機

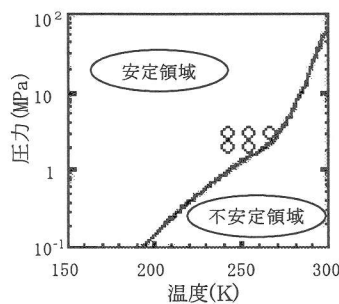


図-2 メタンハイドレートの安定境界線と試験条件の関係

表-1 試験条件

ケースNo.	試料	温度($^{\circ}\text{C}$)	拘束圧(MPa)
1	MH	-10	3
2	MH	-20	2
3	MH	-20	3
4	MH	-30	2
5	MH	-30	3
6	氷	-10	3
7	氷	-20	2
8	氷	-20	3
9	氷	-30	2
10	氷	-30	3

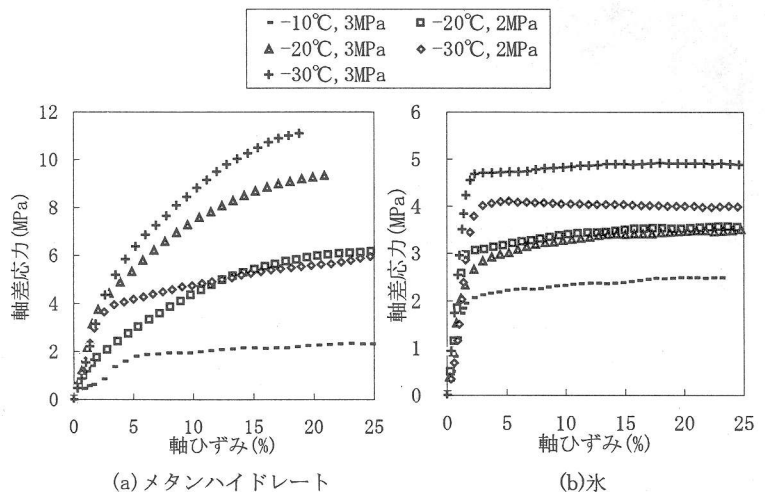


図-3 軸差応力 - 軸ひずみ関係

とめたものである。図-3(a)より、メタンハイドレートは拘束圧および温度条件によりせん断挙動に違いが見られる。また、図-3(b)より、氷は温度の変化に対しては顕著な違いがみられるものの、温度-20℃の場合と温度-30℃の場合では拘束圧に対する挙動に違いがみられ、温度条件に対する拘束圧の影響に異なった傾向がみられる。また、メタンハイドレートの軸差応力にはピークが表れず、氷の試験結果と比較するとせん断挙動に大きな違いがみられる。この理由として、供試体の作成方法による差が考えられる。

次に、メタンハイドレートおよび氷の圧縮強度を土質試験と同様に軸ひずみ 15%における最大軸差応力とし、圧縮強度に及ぼす温度と拘束圧の影響について検討した。

図-4はメタンハイドレートおよび氷の圧縮強度 - 温度関係である。メタンハイドレートの圧縮強度は、拘束圧 3MPa では温度の低下とともに明らかに増加するが、拘束圧 2MPa では温度による違いがほとんどみられず、拘束圧により異なった傾向がみられる。また、氷に関しては、温度が低下するとともに圧縮強度は増加する傾向がみられるため、氷の圧縮強度は明らかに温度に依存することがわかる。

図-5は圧縮強度 - 拘束圧関係である。メタンハイドレートの圧縮強度は、温度-20℃および-30℃の一定条件下において拘束圧が増加するとともに明らかに増加するため、拘束圧に対する依存性が認められる。また、氷の圧縮強度に関しては、温度-20℃では拘束圧による違いがほとんどみられないが、温度-30℃では拘束圧の増加にともないわずかなではあるが増加し、温度により異なった傾向がみられる。

図-4および5より、メタンハイドレートと氷の圧縮強度を比較すると、図-4(b)の-10℃の場合を除いたすべてのケースで、メタンハイドレートの方が氷よりも大きな値を示す。このことからメタンハイドレートの特徴である立体かご状構造が、通常の氷の構造より高い強度を発揮することがわかる。さらに、図-4(b)の-10℃のケースにおいて、メタンハイドレートと氷の圧縮強度がほぼ同じ値になっている理由として、この温度・拘束圧条件がメタンハイドレートの安定境界付近であり、メタンハイドレートの構造が不安定であったことが考えられる。

4. まとめ

本研究ではメタンハイドレートおよび氷の三軸圧縮試験を行い、両者の圧縮強度について比較を行った。その結果、メタンハイドレートが安定である温度・圧力条件下において、メタンハイドレートは氷よりも高い圧縮強度を示すことがわかった。また、温度が一定である条件下においてメタンハイドレートの圧縮強度は拘束圧に依存する。一方、氷の圧縮強度は拘束圧よりも温度に依存して増加する傾向が顕著にみられる。

<参考文献>

- 1) 松本良, 奥田義久, 青木豊: 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.
- 2) M.Hyodo, A.F.D.Hyde, Y.Nakata, N.Yoshimoto, M.Fukunaga, K.Kubo, Y.Nanjo, T.Matsuo and K.Nakamura: Triaxial compressive strength of methane hydrate, Proceedings of the Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.422~428, 2002.

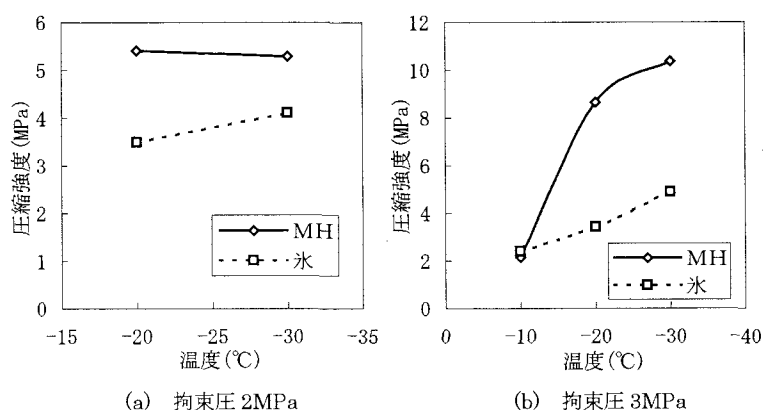


図-4 圧縮強度 - 温度関係

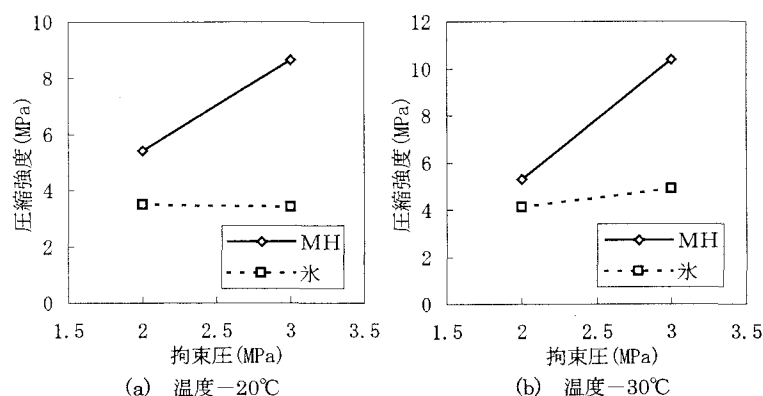


図-5 圧縮強度 - 拘束圧関係