

メタンハイドレートおよび氷のせん断特性

大阪大学大学院工学研究科 正会員 鍋島康之

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○高井祐輔

大阪大学大学院工学研究科 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、低温高圧の条件下で水分子がつくる立体かご状構造の中に、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、永久凍土の下部や水深約 400m 以深の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、低温高圧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せん断特性を比較した。

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水とメタンガスを温度-2℃、圧力 8.5～10MPa 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 12mm×高さ 20mm、氷で直径 15mm×高さ 30mm である。

本研究で用いた低温高圧小型三軸試験機の外観を図-1 に示す。本試験機は冷凍庫内に三軸セルを設置したもので、温度を 0～-30℃に調節でき、拘束圧を最大 10MPa 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%/min）で载荷し、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℃、拘束圧を 2、3MPa 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。メタンハイドレートと氷の試験結果を比較すると、メタンハイドレートの軸差応力にはピークが表れず、せん断挙動に大きな違いがみられる。

まず、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。

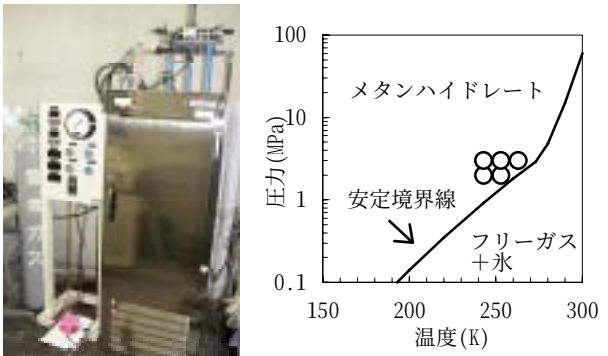


図-1 試験機外観

図-2 MHの安定境界線と試験条件

表-1 試験条件

ケースNo.	試料	温度(℃)	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

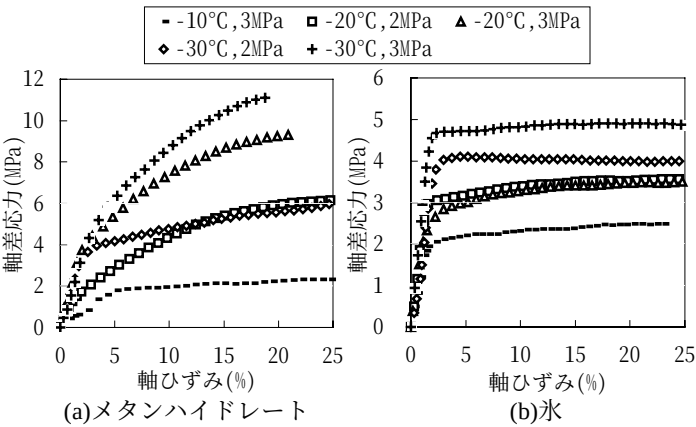


図-3 軸差応力-軸ひずみ関係

キーワード：メタンハイドレート、低温高圧小型三軸試験機、圧縮強度、初期せん断弾性係数
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7625 FAX06-6879-7626

図-4 はメタンハイドレートおよび水の圧縮強度-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、水に関しては、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、水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。一方、水の圧縮強度は、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がら増加し、温度条件によって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水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水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、通常の水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水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。

次に、図-6および7は、それぞれ、初期せん断弾性係数-温度関係および初期せん断弾性係数-拘束圧関係である。メタンハイドレートの初期せん断弾性係数は水よりもかなり小さいことがわかる。これらの原因として、供試体作成時における端面処理の影響が考えられる。また、メタンハイドレートおよび水の初期せん断弾性係数は、温度の低下あるいは拘束圧の増加に伴って増加する傾向がみられる。

4. まとめ

本研究ではメタンハイドレートおよび水の三軸圧縮試験を行い、両者のせん断特性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水よりも高い圧縮強度を示すことがわかった。また、メタンハイドレートおよび水の初期せん断弾性係数は、温度および拘束圧に依存して増加する傾向がみられた。

謝辞：本研究にあたりメタンハイドレート試料を提供して下さった(独)産業技術総合研究所 駒井 武氏、北海道大学 川村太郎氏に謝意を表します。

<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.

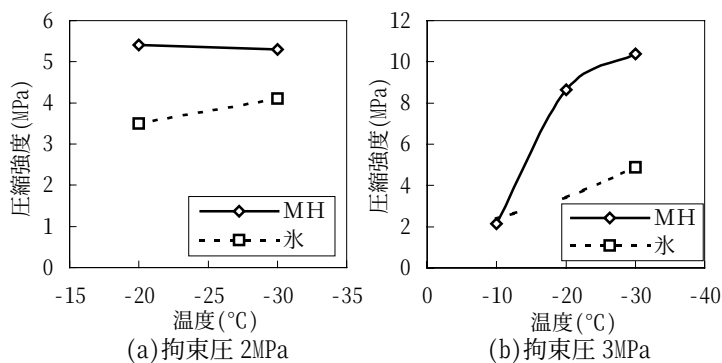


図-4 圧縮強度-温度関係

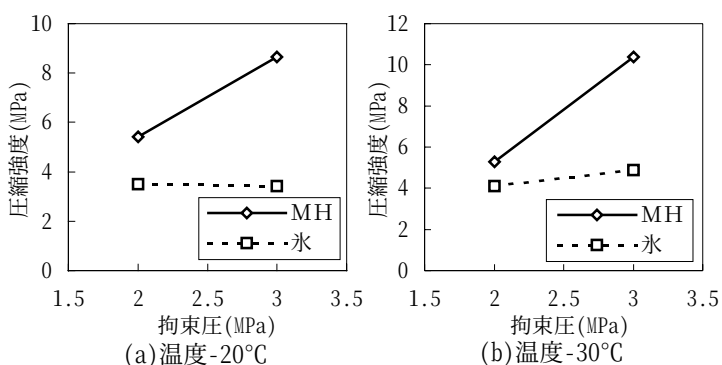


図-5 圧縮強度-拘束圧関係

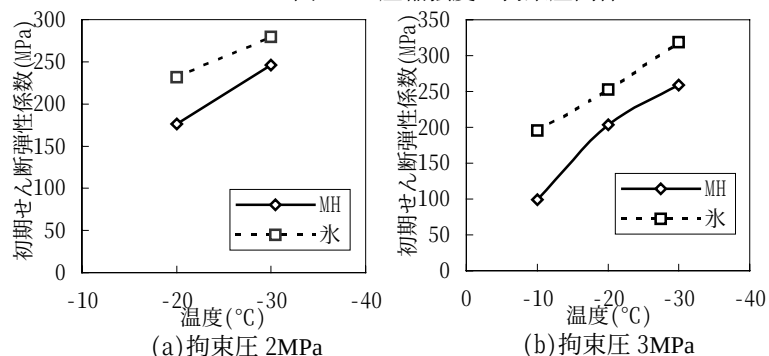


図-6 初期せん断弾性係数-温度関係

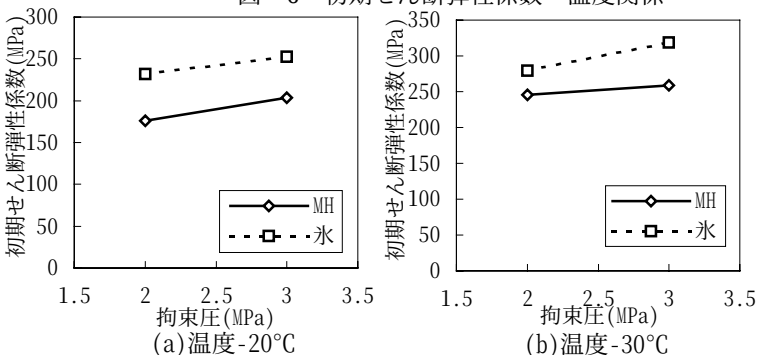


図-7 初期せん断弾性係数-拘束圧関係