

## メタンハイドレートのシミュレーション材料としての氷の力学特性

山口大学大学院 学生会員 南條勇太 ○松尾知佳  
 山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男 村田秀一  
 株式会社リサーチコンサルタント 正会員 久保和子  
 大阪ガス(株)開発研究部 中村和夫

**1.まえがき** 世界のエネルギーの使用量は年々増加し続けている。しかし、実際にはこれらの資源には限りが見え始めている。また化石燃料の燃焼により、温暖化や大気汚染の原因となる二酸化炭素や硫黄酸化物、窒素酸化物などを排出するため、使用についての問題が議論されるようになってきている。そこで新しいエネルギー資源、かつクリーンなエネルギーとして注目されているのがメタンハイドレートである。メタンハイドレートは、包接氷の中にメタンガス分子が取り込まれた物質で、低温高圧で安定状態となる性質を持つ。その性質から永久凍土領域及び、大陸棚周辺の深海底領域に存在し、日本近海においても分布が確認されている<sup>1)</sup>。しかしながら、天然のメタンハイドレートの採取は現状では容易なことではなく、また、人工的に合成することもかなりの労力とコストを要することから、多くの実験個数をこなすことは困難を伴う。そこで本研究において、氷を対象に実験を行い、人工メタンハイドレートの実験結果と比較することにより、メタンハイドレートのシミュレーション材料としての可能性について検討を行った<sup>2)</sup>。

**2.試料及び実験方法** これまでの陸域の試錐及び深海掘削の結果、表1に示すようにメタンハイドレートと氷の物理的性質については非常に類似していることが明らかにされている<sup>3)</sup>。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低温高圧下(10°C, 10MPa)で粉末状ハイドレートに合成し、更に圧力晶析装置により高圧下(160MPa)で余剰水分を脱離して作製した。氷供試体は、蒸留後イオン交換樹脂を通して精製処理した水を凍らせ、かき氷機で粉碎し、その後1層につき15回づつ突き固めながら3層に分けてモールドに詰め、-30°Cの冷凍庫で3時間放置し、端面を整形することにより作製した。かき氷に粉碎した理由はメタンハイドレートと同様の結晶の精製を期待したことによる。作製したメタンハイドレート及び精製氷の供試体寸法は直径15mm、高さ30mmである。本研究で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10MPa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た。試験中の温度はペデスタル上部と下部及びセル中央部の三カ所に取り付けたサーモスタットによって計測を行う。実験はひずみ制御で、ひずみ速度1.0%/min、0.1%/min、温度(T=0,-5,-10,-20,-30°C)、拘束圧( $\sigma_c=0, 2, 4, 6, 8 \text{ MPa}$ )のもとで行った。

**3.実験結果と考察** 図1に、拘束圧2MPaでの各温度条件について行った三軸試験から得られた最大主応力差と温度の関係を示す。図中プロットは2種類のひずみ速度で行った結果である。図中に示す直線は、それぞれの温度条件の実験結果を回帰したものであるが、実線がひずみ速度1.0%/min、破線がひずみ速度0.1%/minに対応する。図より、いずれの温度条件下においても、ひずみ速度が大きいほど、最大主応力差は大きくなる傾向が認められる。次に、メタンハイドレートの主要な性質である温度・拘束圧依存性が、氷にも存在するのかを調べた。まず、温度依存性について検討する。図2に-5°Cと-30°Cの温度下における主応力差と軸ひずみの関係をそれぞれ示す。(a)は拘束圧条件4MPa、(b)は8MPaの結果であり、それぞれ実験の再現性を評価するために、同じ条件で行つたいくつかの実験結果を並べた。図より、いずれの拘束圧条件においても、低い温度(-30°C)の方

表1 メタンハイドレートと氷の物理的性質<sup>3)</sup>(奥田ら)

	メタンハイドレート	氷
弾性波速度(km/sec)	2.5~3.8	3.23
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.1	0.917

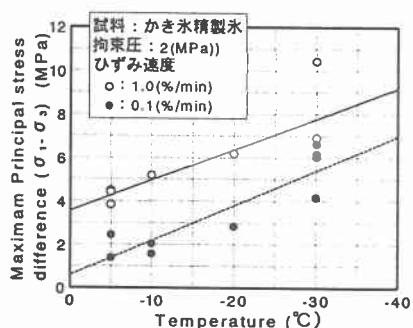


図1 最大主応力差と温度の関係

が主応力差は大きく現れていることがわかる。ここで他の拘束圧条件についても強度に対する温度依存性を検討するため、図3に最大主応力差と温度の関係を拘束圧0, 2, 4, 6, 8MPaについてそれぞれ示す。図より、いずれの拘束圧条件においても温度が低くなるほど、最大主応力差は大きくなる傾向が見られる。このことから、かき氷精製氷の最大主応力差に対する温度の依存性が認められる。図中★プロットは拘束圧8MPaにおけるメタンハイドレートの実験結果を示し、実線は各温度におけるプロットに対する回帰線である。この回帰線は、氷の実験結果のほぼ中央を通っていることよりかき氷精製氷は、メタンハイドレートの強度に対する温度依存性を再現できることを示唆している。図4は主応力差と軸ひずみの関係を揚げたものであり、図(a)は温度条件-5℃、図(b)は-30℃にそれぞれ対応する。図(b)の-30℃の結果では、高い拘束圧(8MPa)の方が主応力差は大きくなっているが、図(a)の-5℃では、拘束圧の違いによる主応力差の違いは見られない。他の温度条件についても強度の拘束圧依存性を検討するため、図5に最大主応力差と拘束圧の関係を、温度-5,-10,-20,-30℃について示す。図より、強度に対する拘束圧依存性は、温度条件が-30℃では見られるが、それ以外の温度条件では、ばらつきが大きく拘束圧依存性は認められない。したがって、かき氷精製氷を用いてメタンハイドレートの強度に対する拘束圧依存性を再現することは難しいようである。

しかし、メタンハイドレートの拘束圧増加に伴う強度の増加を、かき氷精製氷の温度低下に伴う強度の増加で表現できれば、氷はメタンハイドレートのシミュレーション材料と成り得ると考えられる。

**4.まとめ** 氷がメタンハイドレートのシミュレーション材料として利用できるかについて検討を行った結果、本研究では氷には温度依存性はあるが、拘束圧依存性についてはある一定の条件下でしか表れなかった。よってメタンハイドレートの代表的な性質である強度に対する温度・拘束圧依存性については、両者ともに氷の温度依存性の性質を用いて表現できれば、氷はメタンハイドレートのシミュレーション材料として成り得ると考えられる。

【参考文献】 1) 福永誠：第34回地盤工学研究発表会「メタンハイドレートの力学特性に与える温度と拘束圧の影響」 p633-634

2) 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～, pp. 9-107.

3) 奥田義久：工業技術 Vol. 40, No. 5, 1999～次世代の巨大天然ガス資源の探査に関する地質学的研究～

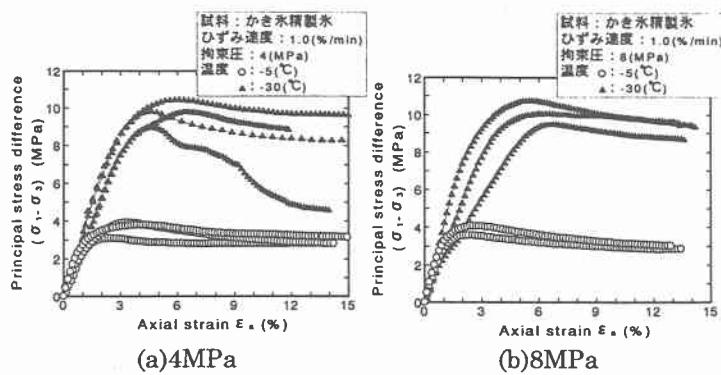


図2 主応力差と軸ひずみの関係

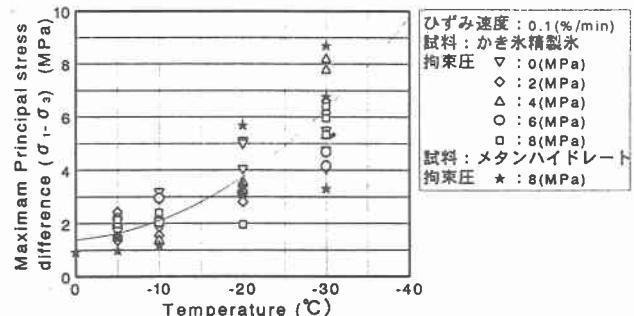


図3 最大主応力差と温度の関係

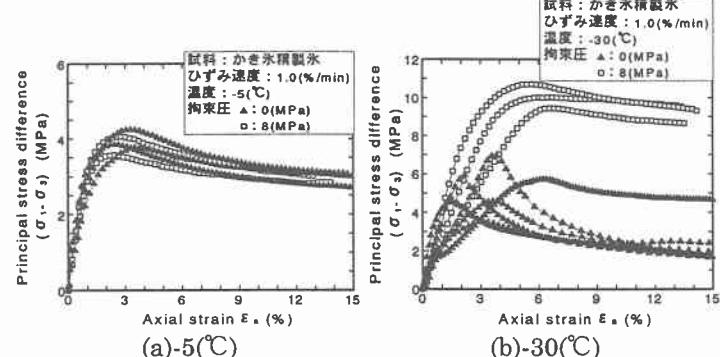


図4 主応力差と軸ひずみの関係

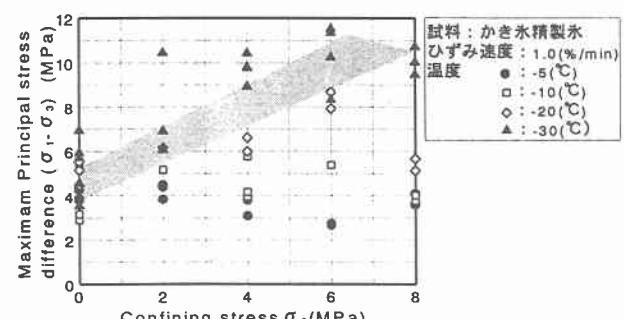


図5 最大主応力差と拘束圧の関係