

極低温下における氷の強度・変形特性

愛媛大学工学部 正会員 稲田 善紀
愛媛県土木部 垣見 創也
日本舗道(株) 栗林 正忠

1 はじめに

液化天然ガス(LNG)の貯蔵方式としては、現在地上式と半地下式が主流を成しているが、これらの方式は土地の立体的有効利用の観点からは必ずしも得策とはいえない。そこで、それらの問題を考慮した貯蔵方法として、地下岩盤内空洞にLNGを直接貯蔵することが考えられる。

本研究では、上述の方式でLNGを貯蔵する場合、液漏れやガス漏れを防ぐため、原油の貯蔵に実用化されている水封式地下貯蔵を適用させることを想定した。この場合、LNGが -162°C という極低温であるため、空洞周辺の地下水は氷結し、ボイルオフガスを封じ込め得ることが期待出来る。すなわち、極低温下における氷の挙動を知る必要がある。そこで、本研究では極低温下における氷の種々の物理的性質を実験によって求めたのでその結果について述べる。

2 氷の物理的性質

2.1 熱拡散率

今回は、要素分割法¹⁾を実験値に適用することにより、種々の温度における熱拡散率を同時に求めた。測定結果をとりまとめたものが図1である。熱拡散率の値(κ)の値は、今回の温度範囲内では、その値に大きな差はなく、 $\kappa = 11.8 \sim 12.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ の値をとることがわかった。これは実用上ほぼ一定と考えてよと思われる。

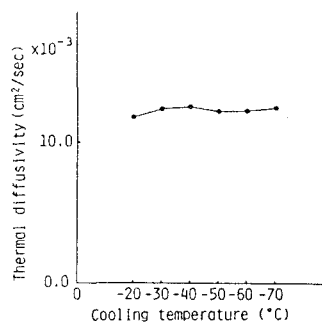


図1 極低温下における氷の熱拡散率の変化

2.2 線膨張係数

本研究では、石英ガラス棒を用いた比較法により、氷のひずみを測定した。図2はその結果をとりまとめたものである。温度の降下と共にひずみが増加しているが、増加の割合は温度の降下と共に減少していることがわかる。また、降温・昇温のサイクル数の増加と共に一定の値に収束していくことが推察される。このひずみをもとに得られた割線線膨張係数を図3に示す。これより温度の降下と共に減少する傾向がみられる。割線線膨張係数は、所要の温度におけるひずみを初期温度との温度差で除したもので、応力解析の際に非常に都合のよいものである。

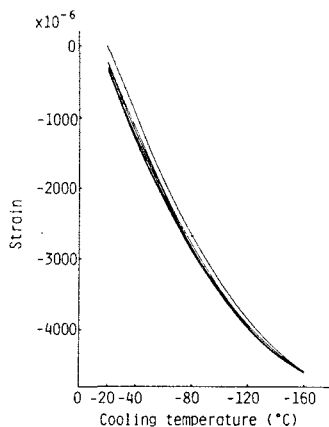


図2 氷のひずみの履歴曲線

2.3 強度・変形特性

強度試験の結果を図4及び図5に示す。氷の強度は、圧縮強度及び引張強度のいずれも温度の降下と共に上昇していることがわかる。 -160°C の圧縮強度及び引張強度は、ともに -20°C の約3.6倍であり、これは岩石の圧縮強度

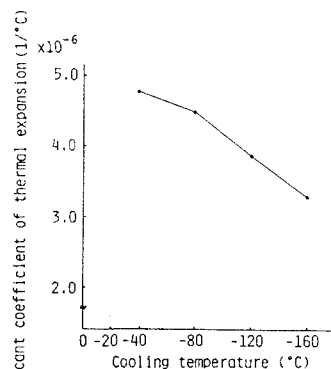


図3 極低温下における氷の割線線膨張係数の変化

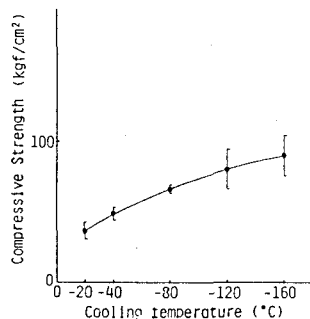


図4 極低温下における
水の圧縮強度

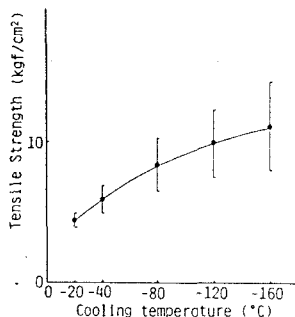


図5 極低温下における
水の引張強度

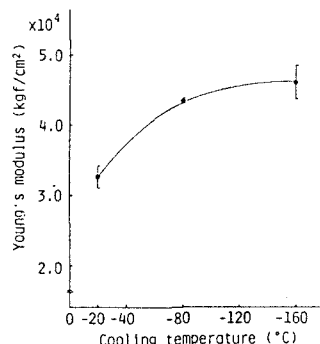


図6 極低温下における水の
接線弾性係数の変化

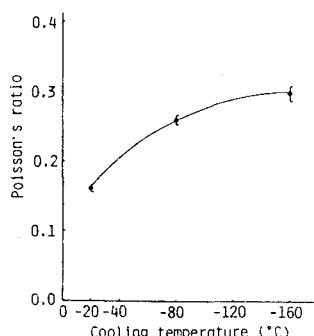


図7 極低温下における水の
ポアソン比の変化

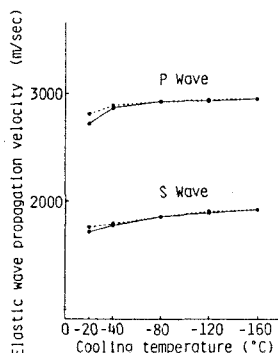


図8 極低温下における水の
弾性波伝播速度の変化

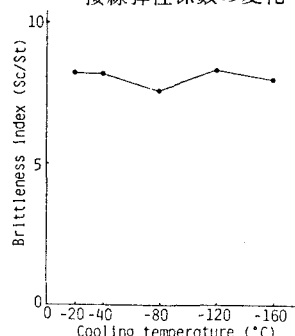


図9 極低温下における
水の脆性度の変化

の増加が約1.4倍、引張強度が約1.3倍であるのに比べ非常に大きな上昇といえる。

圧縮試験時に得られた応力ひずみ曲線から計算によって接線弾性係数及びポアソン比の値を得た。それらの結果をとりまとめて図6と図7に示す。接線弾性係数は、温度の降下と共に次第に増加していく傾向にある。すなわち、温度の降下によって供試体が収縮して硬化し、変形しにくくなっていることに起因している。このことは強度の増加とも一致している。また、ポアソン比も増加しているが、このことも温度の降下と共に供試体が収縮硬化したことに起因している。すなわち、軸方向の圧縮による変形量が横方向に伝わりやすくなったためと考えられる。以上のことは図8に示す弾性波伝播速度の測定結果からも推察される。すなわち、温度の降下と共にP波、S波とも伝播速度が増加し、供試体が収縮硬化していることがわかる。また、図9に示す氷の脆性度は各温度において8程度となっている。これは、氷が水という均質材料で出来ていることに起因しているものと思われる。岩石の脆性度は20程度であり、このことから氷の均一性がうかがえる。

3 おわりに

本研究では、LNGを水封式地下貯蔵した場合に必要な氷の各種の物理的性質を実験によって考察した。これらの値を用いて空洞の安定性について解析した結果については別の機会に報告したい。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 重信純: 液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵した場合の空洞周辺の温度分布, 日本鉱業会誌, Vol. 98, NO. 1141, PP. 179-185, 1983.