

## 極低温の影響を受けた氷の強度・変形特性

愛媛大学工学部 正会員 稲田 善紀  
(株) パスコ 正会員 中平 修司

## 1 緒言

わが国の一次エネルギー構成において、液化天然ガス(以下LNGと呼ぶ)の割合が増加しており、その輸入量も増加する傾向にある。このような輸入量増大に対する受け皿として、貯蔵が重要な課題となっている。そこで、土地の立体的有効利用を考慮したLNGの貯蔵方式として、地山岩盤内に設けた空洞にLNGを直接貯蔵する方法が考えられる。

本研究では、上述の方法でLNGを貯蔵する場合、液漏れ、ガス漏れを防ぐため、原油の貯蔵に用いられている水封式を適応させることを想定した。すなわち、LNGが $-162^{\circ}\text{C}$ という極低温のため、空洞周辺の水が氷結するので、極低温下における氷の挙動を知る必要がある。本研究では、極低温下ならびに極低温の影響を受けた氷の強度・変形特性を実験によって求め、考察した結果について述べる。

## 2 氷の強度・変形特性

## 2・1 極低温下における氷の強度・変形特性

極低温下における圧縮強度および引張強度を求めた結果を図1および図2に示す。いずれも温度の降下とともに氷が収縮し、強度が上昇しているのがわかる。すなわち、 $-160^{\circ}\text{C}$ の氷の強度は、 $-20^{\circ}\text{C}$ のそれの、圧縮強度では2.7倍、引張強度では1.8倍である。これは、同じ条件における岩石の圧縮強度が約1.4倍、引張強度が約1.3倍であるのに比べ、非常に大きい<sup>1)</sup>。

圧縮試験時に得られた応力-ひずみ曲線から、接線弾性係数およびポアソン比を求めた。接線弾性係数およびポアソン比とも温度の降下とともに、その値が増加している傾向が認められた。この理由として、接線弾性係数においては温度の降下とともに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ものと思われる。また、ポアソン比においては、供試体が収縮し硬化することにより、圧縮による軸方向の変形量が横方向に伝わりやすくなったためと思われる。このことは、図3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、 $-160^{\circ}\text{C}$ の極低温下では弾性波速度の値は増加しており、供試体の収縮硬化現象を裏付けている。

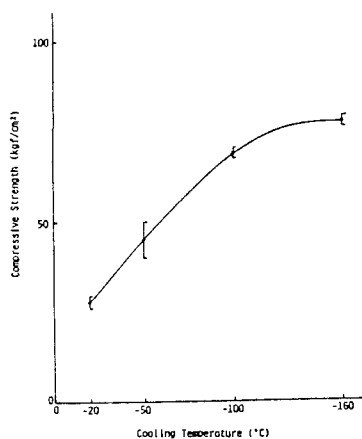


図1 極低温下における氷の圧縮強度

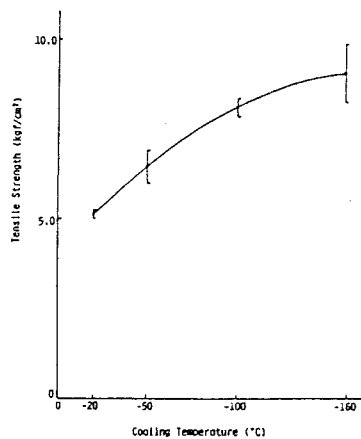


図2 極低温下における氷の引張強度

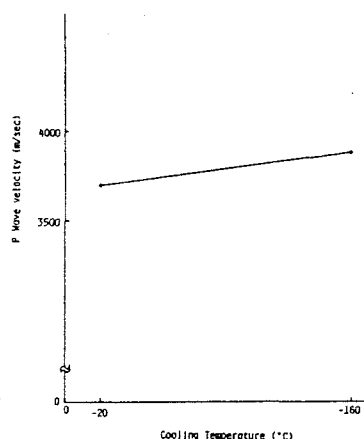


図3 極低温下における氷の弾性波伝播速度

## 2・2 極低温の影響を受けた氷の強度・変形特性

本実験では、初期温度（ $-20^{\circ}\text{C}$ ）から各履歴温度（ $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-50^{\circ}\text{C}$ 、 $-100^{\circ}\text{C}$ 、 $-160^{\circ}\text{C}$ ）、そして再び  $-20^{\circ}\text{C}$  へもどすという行程を1サイクルとし、1サイクルおよび3サイクルの熱処理を施した後、 $-20^{\circ}\text{C}$ にて実験を行った。極低温の影響を受けた氷の圧縮強度および引張強度を求めた結果を図4および図5に示す。いずれも1サイクル、3サイクルとも、履歴温度の降下とともに強度が減少している。すなわち  $-160^{\circ}\text{C}$  の履歴を受けた圧縮強度は、1サイクルでは  $-20^{\circ}\text{C}$  の7%の減少、3サイクルでは14%の減少である。また、引張強度は、1サイクルでは8.5%、3サイクルでは15%の減少である。このように、圧縮・引張強度ともにサイクル数の増加につれて減少の割合が大きいの、サイクル数の増加とともに供試体内部にマイクロクラックが増加したり、助長されたことに起因するものと思われる。また、圧縮強度に比べ引張強度の減少が著しいが、これは冷却作用や熱サイクルにより、供試体内のマイクロクラックが増加したり助長されるが、この影響を圧縮強度に比べ引張強度の方が受け易いことによるものと思われる。

圧縮試験時に得られた応力-ひずみ曲線より接線弾性係数およびポアソン比を求めた。接線弾性係数に関しては、1サイクルおよび3サイクルともに履歴温度の降下にしながら減少しているのがわかった。また、1サイクルに比べ3サイクルの方が値の減少が著しいが、これは、サイクル数の増加により、供試体内にマイクロクラックが増加したり助長されたため、圧縮に対しひずみやすくなったためと考えられる。また、ポアソン比も履歴温度の降下とともに減少しているが、これは圧縮によりマイクロクラックが埋められるため、 $-20^{\circ}\text{C}$  に比べ、たてひずみが履歴温度降下により大きくなったためと考えられる。弾性波伝播速度の測定結果を図6に示す。すなわち、1サイクルに比べ3サイクルの方がその値が小さいことから、温度履歴により供試体内にマイクロクラックが増加したり助長されたことを裏付けている。

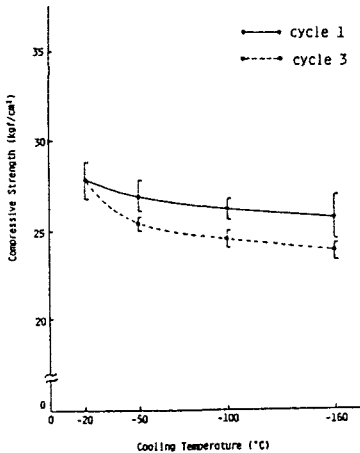


図4 極低温の影響を受けた氷の圧縮強度

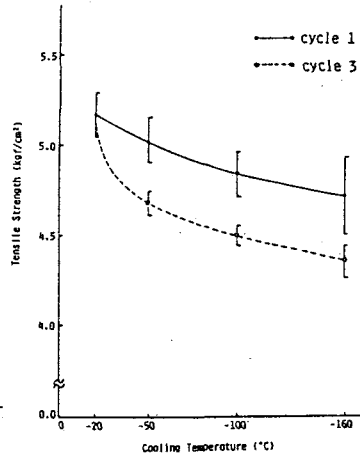


図5 極低温の影響を受けた氷の引張強度

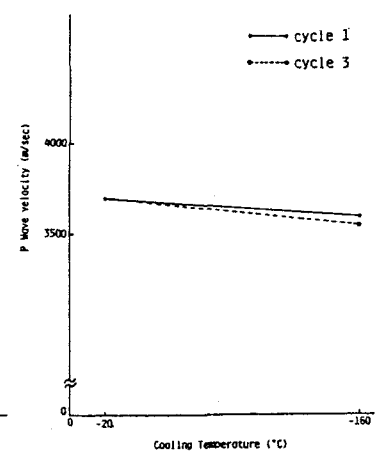


図6 極低温の影響を受けた氷の弾性波伝播速度

## 3 おわりに

本研究では、LNGを水封式地下岩盤内貯蔵した場合を想定し、亀裂内に形成される氷の物理的性質を実験によって求め考察した。その結果、極低温下における氷の強度、弾性係数およびポアソン比は、温度の低下にともない増加することがわかった。また、温度履歴を与えた氷の強度、弾性係数およびポアソン比は履歴温度の低下にともなって低下することがわかった。

## 参考文献

- 1) 稲田善紀, 八木則男; 極低温下における岩石の力学特性, 材料, 29, 329, pp. 67~73, 1980