

極低温下における氷の熱物性値

愛媛大学工学部 正会員 稲田 善紀
愛媛大学大学院 学生員 甲村 雄一
(株)阪神コンサルタンツ 楠 裕行

1. はじめに

LNG, LPGおよび冷凍食品等の低温物質を地山岩盤内に設けた空洞に直接貯蔵する場合、空洞周辺の岩盤には熱応力が生じ、亀裂を生じる¹⁾。このため液漏れ、ガス漏れが重要な問題となるが、この対策として現在原油の貯蔵に実用化されている水封式貯蔵を適用することが有望視されている²⁾。この場合、空洞周辺に発生する亀裂内の地下水は氷結し、液漏れやガス漏れを防ぐことが期待されるが、水封式の効果を検討する際には、水および氷の強度・変形特性および熱物性値が必要となる。氷の強度・変形特性についてはすでに報告しているので³⁾、本研究では水および氷の熱物性値を実験によって求め、考察した結果について述べる。

2. 水および氷の熱物性値

2. 1 熱拡散率

実験に使用した供試体は、蒸留水を断熱材製の型わく(20×20×20cm)に注入後デシケータ内で真空ポンプで1時間抜気したものを用いた。実験の概念図を図1に示す。供試体の熱源に近い面には熱伝導性が十分に良い厚さ0.4mmの金属板を用いた。熱源から0.2cm, 0.4cmおよび0.6cmの位置に温度計を配置し各位置における温度変化を測定し、これを要素分割法⁴⁾に適用して熱拡散率を求めた。また、熱源の温度は-160℃とした。実験結果を図2に示す。水から氷に変化する際に値の急激な変化が見られる。また、水および氷の状態での熱拡散率はそれぞれ $\kappa = 1.0 \times 10^{-3} \sim 1.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ および $\kappa = 5.3 \times 10^{-3} \sim 5.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ でありこれは実用上ほぼ一定とみなせることがわかる。

2. 2 線膨張係数

使用した供試体は、金属製の円筒型の型わくに蒸留水を注入後1時間抜気したものを用いた。供試体の寸法は $\phi 3 \times 10 \text{ cm}$ とした。実験の概念図を図3に示す。実験は石英ガラス棒を用いた比較法⁵⁾により1/1000mmまで測定可能なダイヤルゲージを用いて行った。水が氷に変化する際には1方向のみに膨張させて体積ひずみを測定し、この値からひずみを計算した。また、氷へと変化した後は型わくを取り外して実験を行った。

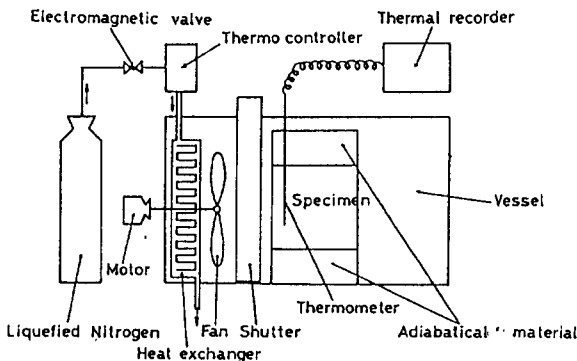


図1 実験の概念図

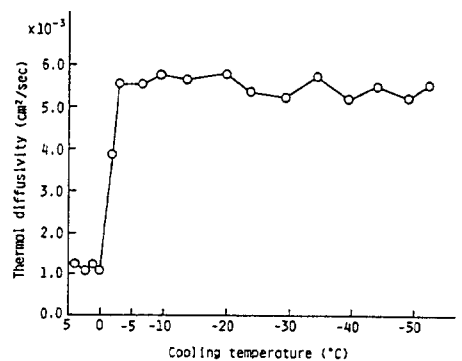


図2 水および氷の熱拡散率

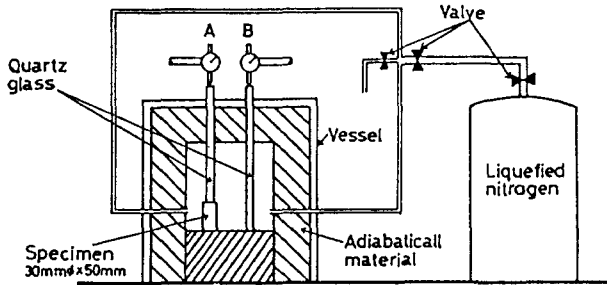


図3 実験の概念図

供試体を降温する際、熱衝撃による破壊が起こらないように考慮する必要がある。ここでは試行錯誤の結果、降温速度は $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とした。また、所要の温度に達してからも供試体の表面と中心部の温度を均一にするために40分間の保温を行った後、ダイヤルゲージの値が変化しなくなったのを確認し測定を行った。低温下における水および氷のひずみを図4に示す。水から氷へと変化する際に急激な膨張を示している。また、氷となった後は温度の降下とともに収縮していることがわかる。

2. 3 弾性波伝播速度

使用した供試体は、ゴムスリーブに蒸留水を注入後1時間抜かし、両端面に金属板を張り付けたものを用いた。供試体の寸法は $\phi 3 \times 10\text{cm}$ とした。降温速度および保温時間は前述のとおりとした。測定はP波およびS波について50kHzの振動子を使用して行ったが、水についてはP波のみ測定した。また、測定の際に超音波振動子を低温から保護するため供試体と振動子の間に石英ガラス棒を挿入した。実験結果を図5に示す。水から氷への変化の際にP波伝播速度の急激な上昇が見られる。また、氷となった後は温度の降下とともにP波、S波とも値が上昇しており氷が収縮し、硬化していることがわかる。

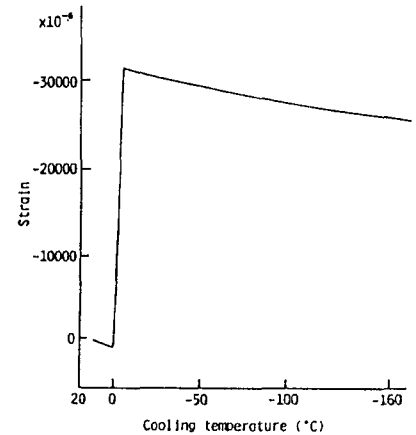


図4 水および氷のひずみ

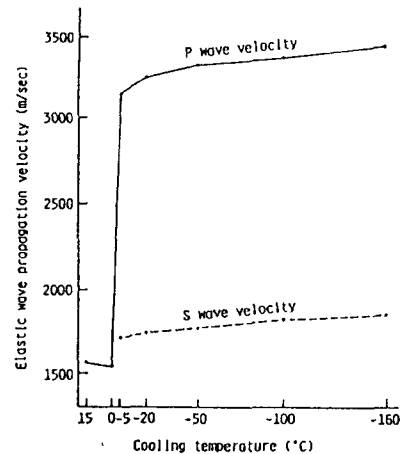


図5 水および氷の弾性波伝播速度

3. おわりに

本研究では低温物質の貯蔵に水封式を併用する際に必要となる水および氷の熱物性値を実験により求め考察した。これらの値を用いて水封式の効果について検討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, 甲村雄一: 地下空間利用シンポジウム1989論文集, 83~88頁, 1989.
- 2) Y. INADA: Proc. Int. Conf. on Storage of Gases in Rock Caverns, pp. 259~266, 1989.
- 3) 稲田善紀, 中平修司: 土木学会中国四国支部第41回研究発表会講演概要集, 324~325頁, 1989.
- 4) 稲田善紀, 重信純: 日本鉱業会誌, 99巻, 1141号, 179~185頁, 1983.
- 5) 稲田善紀, 寺田孚, 伊藤一郎: 水曜会誌, 17巻, 5号, 200~203頁, 1971.