

Ⅲ-684

低温物質貯蔵時の断熱材による熱応力軽減の効果

愛媛大学工学部 正会員 稲田善紀

愛媛大学工学部 正会員 木下尚樹

愛媛大学研究生 学生員 関 正造

愛媛県 正会員 兵頭 学

1. はじめに

近年、石油の代替エネルギーとしてLNGおよびLPGの需給量が年々増加の傾向にある¹⁾。また、人々の食生活の多種多様化を背景として冷凍食品の需給量も増加の傾向にあり²⁾、近い将来それら低温物質の貯蔵施設の増加が見込まれる。土地の立体的有効利用、省エネルギーおよび環境保全等を考慮した貯蔵方法の一つとして地山岩盤内に設けた空洞に前述の低温物質を直接貯蔵することが考えられる。その際、空洞周辺岩盤は低温の影響を受け熱応力により亀裂を生じ、空洞の安定性が問題となる。本研究では、空洞周辺の熱応力軽減対策の一つとして、空洞表面に断熱材を施した場合を想定した。そこで、断熱材の低温下における熱物性値を実験により求め、それらの値を用いて解析を行い、断熱材による熱応力軽減の効果について考察した結果について述べる。

2. 低温下における断熱材の熱物性値

本研究に使用した断熱材は、一般の建築材料としても広範囲に亘り用いられているD社製の押出発泡ポリスチレン(試料1)とA社製の硬質ウレタンフォーム(試料2)である。要素分割法³⁾を実測値に適用させることにより低温下における断熱材の熱

拡散率を求めた結果を図1に示す。

いずれの試料も温度に関係なくほぼ一定の値であり、花崗岩と比較すると試料1については同程度、試料2については半分程度であることがわかった。次に、比熱を測定した結果を図2に示す。いずれの試料も温度に関係なくほぼ一定の値であり、花崗岩とほぼ同程度の値であることがわかった。続いて、熱容量を求めた結果を図3に示す。いずれの試料も

ほぼ一定の値であり、試料1および試料2の値はそれぞれ花崗岩の1/80程度および1/60程度と小さいことがわかった。次に、前述の熱拡散率および熱容量の値より熱伝導率を求めた結果を図4に示す。いずれの試料も温度に関係なくほぼ一定の値であり、試料1および試料2の値は花崗岩と比較すると、それぞれ1/90程度および1/170程度と極めて小さいことがわかった。

3. 空洞周辺の温度分布

本解析では図5に示すように土被り100mの新鮮な花崗岩岩盤内に仕上がり直径10mの単一円形空洞を設

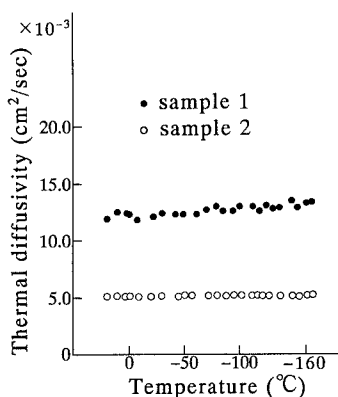


図1 熱拡散率

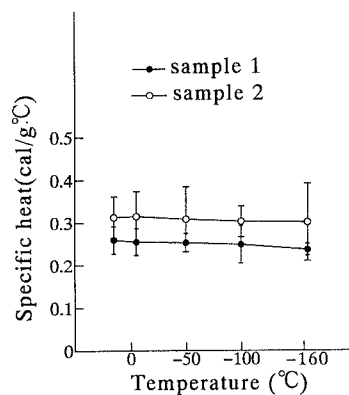


図2 比熱

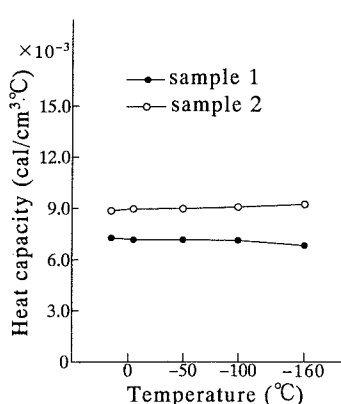


図3 熱容量

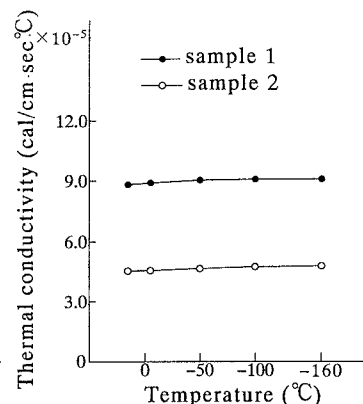


図4 熱伝導率

け、空洞表面に厚さ10cmおよび20cmの断熱材を施し、その空洞内にLNG(-162℃)を貯蔵した場合を想定した。その際の空洞周辺の温度分布の経時変化を要素分割法により貯蔵1年後まで求めた。代表例として岩盤のみの場合、試料1および試料2を施した場合のLNG貯蔵1年後の空洞周辺の温度分布を比較した結果を図6に示す。図より、岩盤のみの場合に比べ、断熱材を施した場合は岩盤部分に極めて遅く熱を伝えており、断熱材の厚さを増した方がよりその傾向がみられる。これは、試料1の熱伝導率が花崗岩に比べ1/90程度と極めて小さいためであると考えられる。また、試料1と試料2を比較すると試料2の方が岩盤部分に熱を遅く伝えている。これは、試料2の熱拡散率および熱伝導率が試料1に比べいずれも半分程度と小さいためであると考えられる。

4. 空洞周辺の応力解析

ここでは、前述の温度分布をもとに亀裂解析法⁴⁾を用いて、LNG貯蔵時に熱応力により空洞周辺岩盤に放射状に生じる亀裂の進展長を求めた。解析結果を図7に示す。図より、熱応力により空洞表面から発生した亀裂は時間の経過とともに空洞周辺に進展している。試料1を空洞表面に10cm施した場合、20cm施した場合および試料2を10cm施した場合の亀裂の進展長は、LNG貯蔵1年後において岩盤のみの場合に比べそれぞれ1/2程度、1/3程度および1/3程度であり、断熱材を施すことにより熱応力が軽減されていることがわかる。このことより、断熱材の厚みを増した方がよりその効果が得られており、試料1と試料2を比較すると試料2を施した場合の方が亀裂の進展長は小さく、試料1を20cm施した場合と同程度の効果が得られていることがわかった。

5. おわりに

本研究では、低温物質貯蔵時に空洞周辺に発生する熱応力の軽減対策の一つとして、空洞表面に断熱材を施すことを想定し、実験により求めた低温下における断熱材の熱物性値を用いて、LNG貯蔵時における空洞周辺の温度分布および応力分布の解析を行った。その結果、断熱材を空洞表面に施すことは空洞周辺岩盤の熱応力の軽減対策として有効であることがわかった。今回はLNG貯蔵の場合を対象としたが、冷凍食品貯蔵の場合およびLPG貯蔵の場合についても解析を行い、貯蔵温度の差異が断熱材による熱応力軽減の效果に及ぼす影響について検討する必要がある。また、貯蔵後1年以上の長期間経過した場合についても検討する必要がある、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 財団法人省エネルギーセンター：省エネルギー便覧，38～39頁，1990。
- 2) 農林水産省経済統計情報部編集：ポケット農林水産統計，36頁，1992。
- 3) 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，99，1140，pp.179～185，1983。
- 4) 稲田善紀・谷口浩二：液化天然ガスの地下岩盤内貯蔵による空洞周辺の塑性領域，日本鉱業会誌 第103巻，365～372頁，1987。

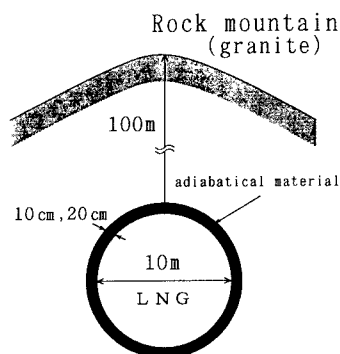


図5 解析に用いたモデル

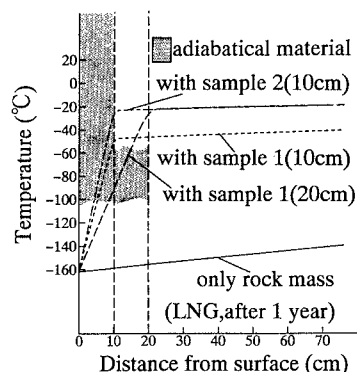


図6 空洞周辺の温度分布

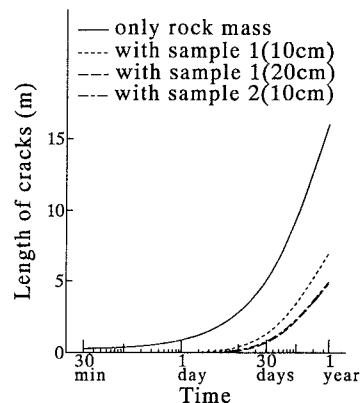


図7 亀裂の進展長