

Ⅲ - B159

低温の影響を受ける岩盤空洞へのウレタン樹脂の適応性

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田 善紀 愛媛大学工学部 正会員 木下 尚樹
日産建設 正会員 松尾 暁 東急建設 正会員 西岡 哲

1. はじめに

近年我が国では、石油代替エネルギーとしてLNGおよびLPGの需給量が増加している¹⁾。また、冷凍食品の需給量も多種多様化した食生活を背景に増加しており²⁾、近い将来こ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等の観点から前述の低温物質を地山岩盤内に設けた空洞に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収縮放射状に亀裂を生じるため空洞の安定性が問題となる。本研究では、亀裂からの液・冷気漏出防止対策として空洞表面にウレタン樹脂によるライニングを施すことを想定し、低温下におけるウレタン樹脂の熱物性値および強度・変形特性を実験により求め、それらの値を用いて解析を行い、ウレタン樹脂のライニング材としての効果を検討した。またウレタン樹脂と断熱材³⁾を併用した場合についても同様に解析を行い、その効果を検討した結果について述べる。

2. 実験に用いた試料

本研究に用いた試料は、一般の建設材料として防水材およびコンクリート保護材等に用いられているT社製のウレタン樹脂である。表1に示すように主剤の粘度の異なる3種類のものを選定し、実験に用いた。ウレタン樹脂の特徴の一つとしてゴムのように大きな弾性変形をすることが挙げられる。

表1 実験に用いた試料

	sample 1		sample 2		sample 3	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
粘度(Pa・s)	0.45	0.50	0.60	0.55	1.16	0.55
比重	1.08	1.04	1.15	1.04	1.15	1.04
配合比(vol)	100	100	100	100	96	100
ゲルタイム(s)	10~20		10~20		30~40	
硬度	98		80		60	

3. 低温下におけるウレタン樹脂の熱物性値および強度・変形特性

要素分割法⁴⁾に実測値を適用させることにより低温下におけるウレタン樹脂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の低下に伴いわずかながら値は小さくなっているが実用上ほぼ一定の値であり、花崗岩の約1/20程度と非常に小さいことがわかった。次に熱伝導率を図2に示す。温度の低下に伴い、わずかながら値は低下し、値は花崗岩の約1/90程度と非常に小さくウレタン樹脂は熱を伝えにくい性質を持っていることがわかった。低温下におけるウレタン樹脂の圧縮強度および引張強度を図3および図4に示す。温度低下に伴い値が急激に大きくなっていることがわかる。

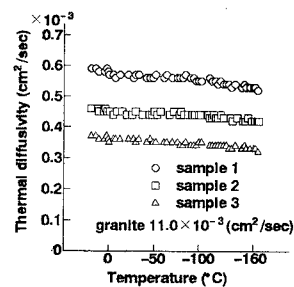


図1 熱拡散率

これは、低温下においてウレタン樹脂を構成している鎖状分子が結晶化し硬化したことによるものと考えられる。また、低温下で最も強度が大きいのは、sample 2であった。

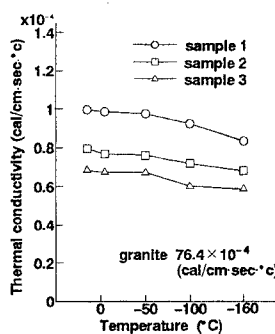


図2 熱伝導率

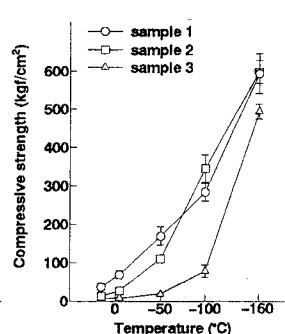


図3 圧縮強度

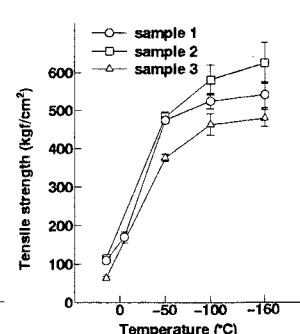


図4 引張強度

低温物質 貯蔵 熱応力軽減 漏出 空洞

〒790-77 松山市文京町3 愛媛大学工学部環境建設工学科 TEL 089-927-9815 FAX 089-927-9842

圧縮試験の際に得られた応力-ひずみ曲線より求めた接線弾性係数を図5に示す。常温から-160℃にかけて弾性係数は約50～150倍に値が増加しており、このことからウレタン樹脂は低温下において著しく硬化することがわかる。

4. 空洞周辺の温度分布

本解析では新鮮な花崗岩の地山に仕上がり直径10mの単一円形空洞を設け、空洞内に冷凍食品（-60℃）を貯蔵することを想定し、岩盤のみの場合（case 1）、空洞表面にウレタン樹脂を3cmライニングした場合（case 2）および空洞表面に断熱材を10cm施し、さらにウレタン樹脂を3cmライニングした場合（case 3）を想定した。解析に用いたウレタン樹脂は前述の実験結果より低温下において強度が最も大きいsample 2を選定した。ウレタン樹脂、断熱材および岩盤はそれぞれ防

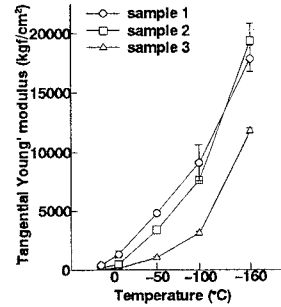


図5 接線弾性係数

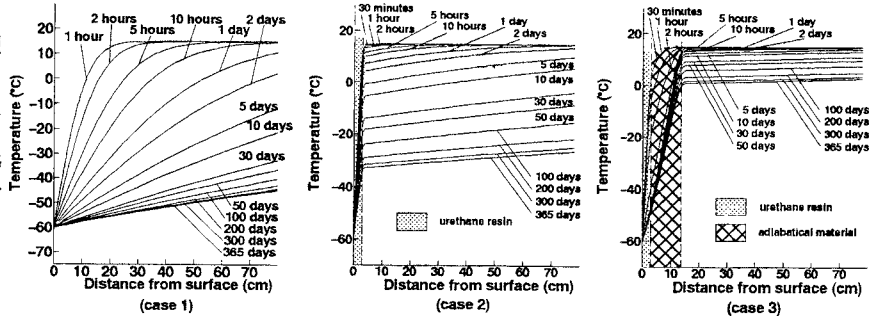


図6 空洞周辺の温度分布

水シート等で分離し互いに自由に伸縮できるものとしている。空洞周辺の温度分布を要素分割法により貯蔵1年後まで求めた結果を図6に示す。ウレタン樹脂および断熱材の熱拡散率および熱伝導率が花崗岩に比べ小さいため、ウレタン樹脂と断熱材を併用することにより、極めて遅く岩盤に熱を伝えていることがわかる。

5. 空洞周辺の応力分布

前述の温度分布をもとに亀裂解析法⁵⁾を用いて、冷凍食品貯蔵時に熱応力により放射状に生じる亀裂の進展長を求めた結果を図7に示す。case 1の場合、時間の経過とともに空洞周辺岩盤は熱の影響を受け収縮し亀裂が進展している。case 2の場合、ウレタン樹脂をライニングすることにより熱伝導が遅れるため亀裂の進展長はcase 1より短い。また、ライニング部分は破壊せず安定していることがわかった。case 3の場合、断熱材を併用することにより空洞周辺岩盤の熱応力は軽減されるため、亀裂の進展長はかなり抑えられることがわかった。

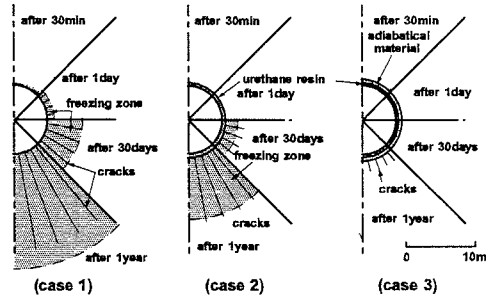


図7 亀裂の進展長

6. おわりに

ウレタン樹脂を空洞表面にライニングすることは、空洞からの液・冷気漏出防止対策として有効な手段となり、さらに断熱材と併用することにより空洞の安定性が高まることがわかった。

参考文献

- 1) 通商産業省資源エネルギー庁編：エネルギー 新世界へのシナリオ，通商産業省調査会出版部，1994.
- 2) 財団法人矢野恒太郎記念会：日本国勢図会，311頁，国勢社，1991.
- 3) 稲田善紀，他：土木学会第50回年次学術講演概要集，Ⅲ-684，1368～1369頁，1995.
- 4) 稲田善紀，他：日本鉱業会誌，99，1140，pp.179～185，1983.
- 5) 稲田善紀，他：日本鉱業会誌，103，1192，pp.365～372，1987.