

III-599

低温物質貯蔵時の液・冷気漏れ対策としての高分子系材料の適応性

愛媛大学工学部 正会員 稲田善紀

愛媛大学大学院 学生員 関 正造

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を示している¹⁾。また、多様化した社会を背景として冷凍食品の需給量も増加の傾向にあり²⁾、近い将来それらの大規模な貯蔵施設の増加が予想される³⁾。土地の立体的有効利用、環境保護、維持管理費の節減および安定供給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それらを直接貯蔵することが考えられる。その際、空洞に存在する亀裂および岩盤の熱収縮による亀裂からの液漏れおよび冷気漏れ対策が重要な問題となる。本研究では、その防止対策の一つとして、空洞表面に高分子系材料によるライニングを施し、層を設けた場合の空洞周辺岩盤および層の安定性について検討した結果について述べる。

2. 本研究に使用した高分子系材料

本研究に使用した高分子系材料は、熱収縮により発生する引張応力に有効であると考えられるU社製のガラスフレーク混入エポキシ樹脂である。高分子系材料の低温下での強度・変形特性を実験により求めた結果から解析に用いた物性値を表1に示す。また母岩となる花崗岩の物性値を表2に示す。

表1 解析に用いた高分子系材料の物性値

Temperature (℃)	Expansion coefficient (1/℃)×10 ⁻⁴	Young's modulus (kgf/cm ²)×10 ⁴	Poisson's ratio	Compressive strength (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)
20～10	0.0000	4.814	0.376	-729.4	265.4
10～0	0.3590	5.019	0.380	-803.6	275.0
0～-10	0.3590	5.225	0.383	-877.8	284.7
-10～-20	0.3590	5.430	0.387	-952.0	294.3
-20～-30	0.3590	5.635	0.391	-1026.2	303.9
-30～-40	0.3590	5.840	0.394	-1100.4	313.6
-40～-50	0.3590	6.046	0.398	-1174.6	323.2
-50～-60	0.3590	6.251	0.402	-1248.8	337.6
-60～-70	0.3590	6.456	0.405	-1323.0	342.4
-70～-80	0.3590	6.661	0.409	-1397.3	352.1
-80～-90	0.3590	6.866	0.413	-1471.5	361.7
-90～-100	0.3590	7.072	0.416	-1545.7	371.3
-100～-110	0.3590	7.277	0.420	-1619.9	380.9
-110～-120	0.3590	7.482	0.424	-1694.1	390.6
-120～-130	0.3590	7.687	0.427	-1768.3	400.2
-130～-140	0.3590	7.893	0.431	-1842.5	409.8
-140～-150	0.3590	8.098	0.435	-1916.7	419.5
-150～-160	0.3590	8.303	0.438	-1990.9	429.1
-160～-170	0.3590	8.508	0.442	-2065.1	438.7

表2 解析に用いた花崗岩の物性値

Temperature (℃)	Expansion coefficient (1/℃)×10 ⁻⁴	Young's modulus (kgf/cm ²)×10 ⁴	Poisson's ratio	Compressive strength (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)
20～10	0.0000	0.494	0.250	-1670.0	79.0
10～0	0.1510	0.494	0.250	-1670.0	79.0
0～-10	0.1490	0.495	0.250	-1678.0	95.0
-10～-20	0.1450	0.495	0.250	-1689.0	104.0
-20～-30	0.1400	0.496	0.250	-1711.0	111.0
-30～-40	0.1360	0.496	0.250	-1741.0	116.0
-40～-50	0.1320	0.497	0.240	-1778.0	121.0
-50～-60	0.1270	0.497	0.240	-1819.0	124.0
-60～-70	0.1230	0.498	0.240	-1859.0	127.0
-70～-80	0.1190	0.498	0.240	-1899.0	129.0
-80～-90	0.1140	0.499	0.240	-1938.0	132.0
-90～-100	0.1100	0.499	0.230	-1978.0	133.0
-100～-110	0.1060	0.500	0.230	-2017.0	135.0
-110～-120	0.1010	0.500	0.230	-2057.0	137.0
-120～-130	0.0970	0.501	0.230	-2097.0	138.0
-130～-140	0.0930	0.501	0.230	-2137.0	140.0
-140～-150	0.0880	0.501	0.220	-2167.0	142.0
-150～-160	0.0840	0.502	0.220	-2216.0	143.0
-160～-170	0.0800	0.502	0.220	-2256.0	145.0

3. 空洞周辺の温度分布

本解析で用いたモデルを図1に示す。土被り100mの新鮮な花崗岩岩盤内に厚さ5cmの高分子系材料の層を設けた仕上がり直径10mの単一円形空洞を設け、その空洞内に冷凍食品を貯蔵した場合を想定した。なお、熱源の温度については冷凍食品の中でも-60℃という一番厳しい条件を設定した。その際の空洞周辺岩盤の温度分布の経時変化を、要素分割法⁴⁾により一年後まで求めた結果を図2に示す。比較のために、空洞周辺岩盤に層を設けない場合の温度分布も図中に示してある。図より初期の時間では層を設けた場合の方が温度分布に遅れが見られる。これは、高分子系材料の熱拡散率が

$1.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ に対し花崗岩では $11.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ とかなり小

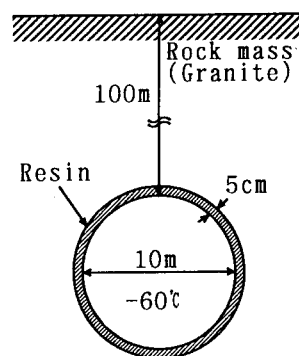


図1 解析に用いたモデル

さいためにこのような結果になったものと考えられる。しかし時間の経過とともにその遅れは回復し、貯蔵10日後には差もなくなり、一年後には準定常状態に達していることがわかる。

4. 応力解析

本解析では、3で得られた温度分布により空洞周辺岩盤および高分子系材料のライニング層の安定性の検討を、有限要素法に時間の概念を

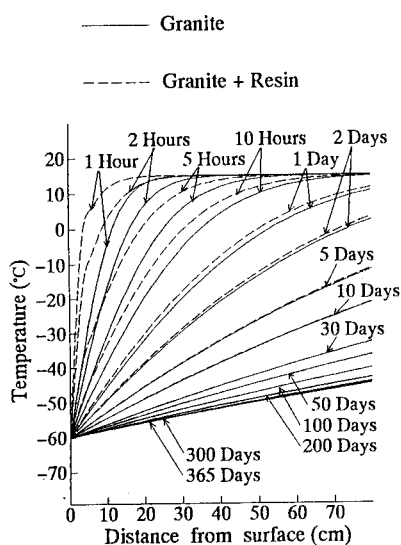


図2 空洞周辺の温度分布

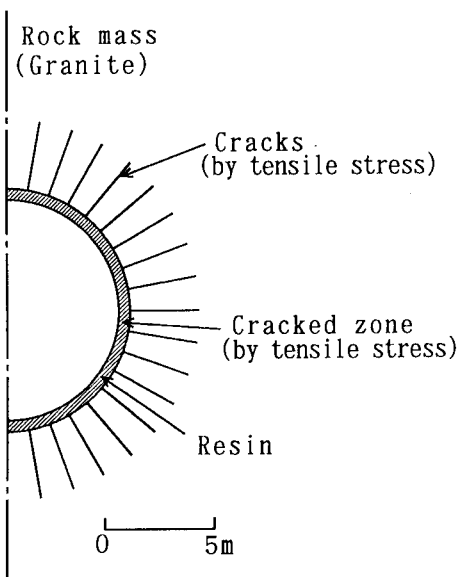


図3 応力解析の結果(貯蔵30日後)

取り入れ逐次破壊を考慮した亀裂解析法⁵⁾を用いて検討した。解析結果を図3に示す。図より貯蔵30日後には熱収縮により岩盤に亀裂が生じ、高分子系材料の層が破壊することがわかった。破壊のメカニズムについて述べると、はじめに低温の影響を受け岩盤が熱収縮により引張破壊する。これは高分子系材料に比べて花崗岩の接線弾性係数が大きいため発生する熱応力が大きく、引張強度がさほど大きくないためにこのような結果になったものと考えられる。続いて岩盤が破壊した際、岩盤と高分子系材料との接着面において応力集中を生じ、接着面からライニング層が破壊することがわかった。このことについて比較検討のため直径10mで厚さ5cmの高分子系材料のみのリングを想定し、前述と同様の温度条件下で応力解析を行ったが、貯蔵一年後においても高分子系材料の層は安定していることがわかった。以上のことから高分子系材料の層は、岩盤の熱収縮による影響を大きく受けているものと考えられる。

5. 実用化に向けての一考察

4の結果より、地山岩盤内空洞に高分子系材料のライニングを施し低温物質を貯蔵した場合、その接着面から高分子系材料の層が破壊し、液・冷気漏れ対策として困難であることがわかった。そこで実用化に向けて岩盤と高分子系材料を接着させずに層を設けることが考えられる。その一つとして、岩盤表面にコンクリートライニングを行い、さらに防水シート等の上に高分子系材料の吹き付けを行う方法である。これにより高分子系材料の挙動は岩盤等の挙動とは別になる。またライニング層の厚さについては、費用および施工上の観点ならびに破壊の問題等を考慮する必要がある今後の課題としたい。

なお、本研究を遂行するにあたり、試料を提供していただいた宇部興産(株)に感謝の意を表しておく。

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) 前掲 2)
- 4) 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。
- 5) 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。