

低温の影響を受けた地山岩盤内空洞の熱変形

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
愛媛大学大学院	学生員	○松尾 暁

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。また、冷凍食品の需給量も共働き夫婦の増加等に伴い増加の傾向を示している。これらの低温物質の貯蔵方法の一つとして地山岩盤内に設けた空洞内に直接貯蔵することが考えられる。本研究では、低温の影響を受けた地山岩盤内空洞の熱変形に着目し、小規模ながら種々の岩石供試体を用いた室内実験を行い、実験で得られた孔の熱変形と解析値とを比較し考察した。さらに、岩質の異なる地山岩盤内空洞を想定し解析により空洞の熱変形について考察した結果について述べる。

2. 孔壁のひずみの測定値と解析値の比較

本実験では、一辺30cmの立方体に成形された花崗岩および凝灰岩の新鮮な岩石供試体を使用した。供試体の中央に直径9cmの孔を設け孔壁表面にひずみゲージを設置した。熱源は液体窒素を使用し孔内を絶えず所定の温度に保ち、時間の経過にともなう孔壁表面のひずみを測定した。また、孔周辺に温度センサーを挿入し、時間の経過にともなう孔壁周辺の温度分布も同時に測定した。本実験ではLNGの貯蔵を想定して孔内の温度を -160°C として実験を行った。また、実験結果と比較するために熱応力を考慮した有限要素法を用い、ここでは便宜上平面ひずみ問題として解析を行った。まず、花崗岩供試体を用いた場合の実測値と解析値を比較した結果を図1に示す。孔は低温の影響を受け時間の経過とともに供試体周辺に向かって広がっていることがわかる。次に湿潤状態の凝灰岩の場合の結果を図2に示す。孔は中心に向かって大きく張り出していることがわかる。これは空隙中の水の氷結膨張の影響を大きく受けたものと考えられる。いずれの場合にも実測値と解析値はほぼ一致していることがわかった。これらの結果から、熱応力を考慮した有限要素法は実際の現象を表現し得るものと思われる。

3. 地山岩盤内空洞の熱変形

ここでは、地山岩盤内空洞に低温物質を貯蔵する際の空洞の熱変形を4種類の岩盤について解析し考察した。新鮮で亀裂のない花崗岩、砂岩、凝灰岩および泥岩の岩盤内の土被り100mの位置に直径10mの

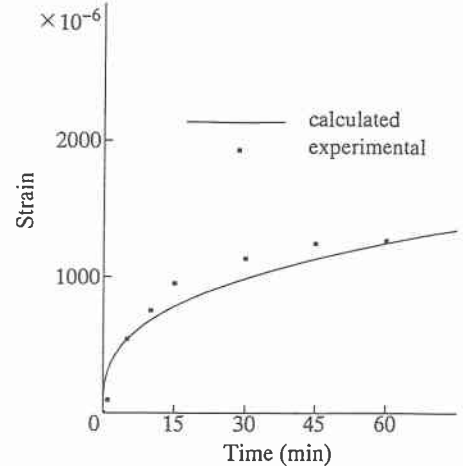


図1 孔壁のひずみの測定結果と解析値との比較 (花崗岩の場合)

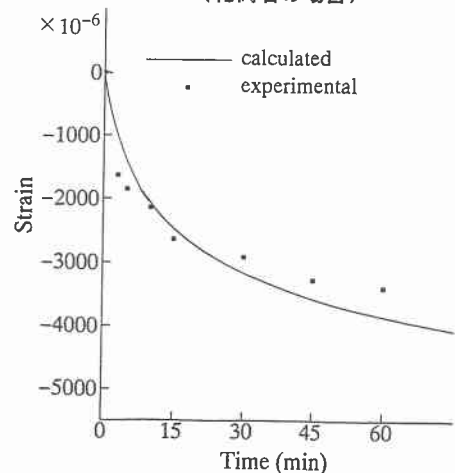


図2 孔壁のひずみの測定結果と解析値との比較 (凝灰岩の湿潤状態の場合)

円形空洞を設け、この空洞にLNGを100% 貯蔵した場合を想定し、有限要素法に時間の概念を取り入れ逐時破壊を考慮した亀裂解析法¹⁾を用いて空洞周辺岩盤に発生する亀裂の進展状況および空洞の熱変形を求めた。貯蔵1年後の亀裂の進展状況を図3(a)～(d)、空洞の熱変形を図4(a)～(d)に示す。なお図4では、比較のために自重による変形も示している。花崗岩および砂岩の場合は自重による影響があまり見られないものの、凝灰岩および泥岩の岩盤空洞は自重の影響を受け楕円形に変形していることがわかる。貯蔵後は花崗岩および砂岩の場合は岩盤が地山へ向かって収縮し放射状に亀裂が発生するため、見かけ上空洞が広がる方向に変形している。凝灰岩および泥岩の場合は花崗岩および砂岩に比べて空隙率が大きく鉱物粒子間の結合力が弱いため空隙中の水の氷結膨張の影響を多大に受け、時間の経過とともに楕円形に変形していた空洞は円形となるように変形している。また時間の経過とともに空洞周辺の氷結域が広がってくると、氷結域の空洞表面側の方が接線弾性係数が大きいために空洞側へ膨張できず地山の方に膨張するため空洞は広がることわかった。また、常温下では引張強度がかなり小さいために氷結膨張の影響を受け氷結域の周辺に亀裂が発生していることがわかった。

以上のことから、岩質の違いによりLNG貯蔵時における各岩盤の挙動は異なり、空隙率の比較的小さい花崗岩および砂岩の挙動が互いによく似ており、また、空隙率の比較的大きい凝灰岩および泥岩の挙動は互いによく似ているが、結果として貯蔵1年後はいずれの岩盤においても空洞が見かけ上広がることわかった。

4. おわりに

熱応力を考慮した有限要素法は実際の現象を表現し得ることがわかった。また、岩盤内に空洞を設けてLNGを貯蔵した場合、いずれの岩盤においても長時間経過後は空洞は見かけ上広がることわかった。

亀裂からの液・ガス漏出防止対策については又別の機会に報告したい。

参考文献

- 1) 稲田善紀：地下の空間利用，118～119頁，森北出版，1989。

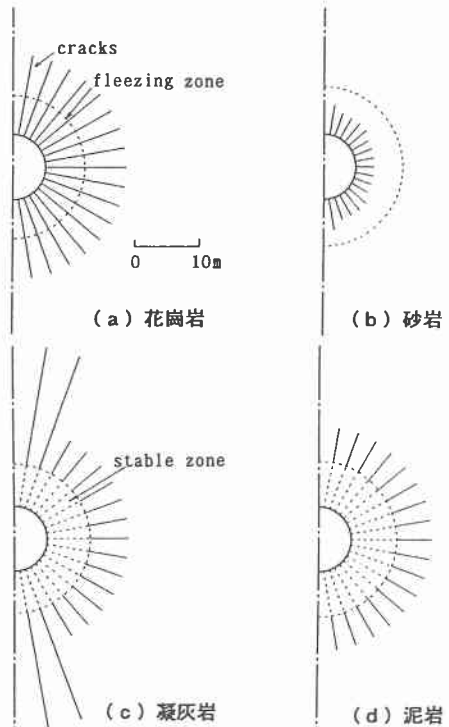


図3 貯蔵1年後の亀裂の進展状況

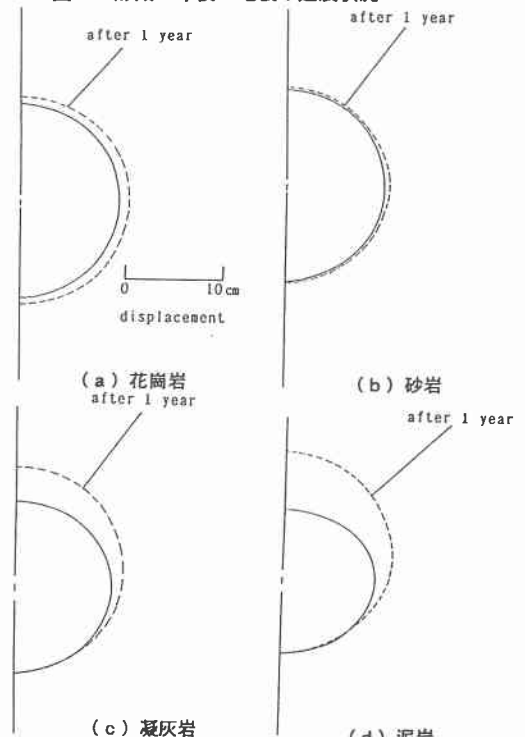


図4 貯蔵1年後の空洞の変形