

極低温の影響を受けた空洞周辺の塑性領域に関する研究

愛媛大学工学部（正会員） 船田 善紀

愛媛大学大学院（学生員） ○谷口 浩二

1. まえがき

LNGを地下の岩盤内空洞に貯蔵する場合には空洞の安定性が問題になる。すなわち、空洞周辺の温度分布が時間的に変化するので、それに伴い塑性領域も変化してゆくと考えられる。一方、岩石の強度試験を行なつた試料の破壊面を観察すると、構成鉱物粒子自身およびそれらの目地で亀裂が進展し破壊したものとと思われる。本研究では、これらの現象を考慮に入れて、亀裂が逐次進展してゆく状況を解析によって求めた。ここでは、この解析法を亀裂解析法と呼び、従来からの解析法のNo Tension法と区別し、両解析法によって得られた塑性領域の比較を行った。一方、岩石の供試体を冷却した実験により供試体周辺に発生した塑性領域を顕微鏡を用いて微視的に観察すると同時に、亀裂解析法によって得られた結果とを比較した。さらに、これらの基礎事項を踏まえ、空洞周辺に発生する塑性領域の範囲を検討した結果について述べる。

2. 応力解析の方法

直径3cm、長さ15cmの岩石の供試体を極低温の液体窒素中に投入することによって、熱衝撃を受けた場合の岩石の組織内に発生する亀裂の進展状況を観察した。また、同一条件での亀裂の理論解析を別に行い比較検討した。一方、土被り100mの均質な等方性岩盤の地山内に直径10mの単一円形空洞を設け、ここにLNGを貯蔵する場合を想定して理論解析を行った。実際の岩盤では地下水等の影響により湿潤状態になっていると考えられるが、これらの低温下における熱物性値は別の実験によって求められているので^{1), a)}ここではそれらを用いて解析している。また、すべて平面ひずみ問題として取扱い、解析手法としては非引張解析法のうちのNo Tension法と亀裂を逐次進展させる亀裂解析法の2種類で解析を行った。ただし、岩盤内の破壊はMohrの破壊包絡線説に従った。

3. 応力解析の結果および考察

岩石供試体の場合について、以下、No Tension法と亀裂解析法による解析結果の比較を行う。さて、供試体中に潜在的なマイクロクラックが存在しないものと仮定した場合の0.58秒後の解析結果は、いずれも塑性領域が表面から1.5mmまで進展するが、両者の差はほとんどみられない(図1(a), (b)参照)。

実際の岩石では無数の潜在的なマイクロクラックが存在しているが、それらは任意の方向を向いている。そこで、円周方向に卓越した引張応力が生じることがわかったので、ここでは、表面から0.5mmの位置より1mmの長さで垂直に潜在的なマイクロクラックが存在する場合について解析を行った。この場合、0.58秒後では、No Tension法による塑性領域は前述と同一の範囲であるが、亀裂解析法では潜在的なマイクロクラックとつながることによって、その存在する部分では亀裂は2.5mmまで進展しているが、それ以外の部分では0.5~1.0mmの範囲である(図2(a), (b)参照)。すなわち、潜在的なマイクロクラックが存在する場合、表面から進展してきた亀裂と互いに

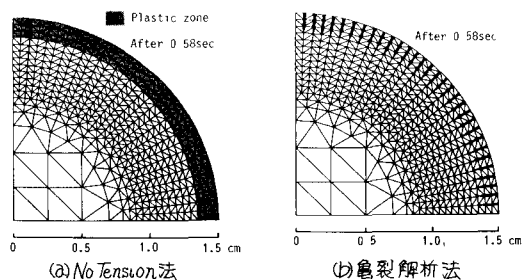


図1. 解析方法の違いによる塑性領域又は亀裂の範囲の比較

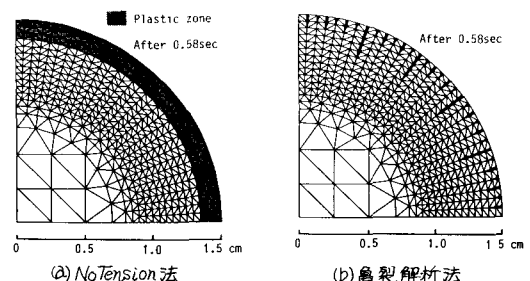


図2. 解析方法の違いによる塑性領域又は亀裂の範囲の比較

つながることによって、その先端部分には応力集中が起こり、さらに亀裂はわずかながら進展するが、逆にその周辺では応力の解放が生じている。全体的にみると、このつながった部分の亀裂が最も大きく、この部分の亀裂の範囲はNoTension法によって求められた塑性領域の範囲よりはやや大きい。一方、その他の部分の亀裂は、これの約3分の1程度である。

また、熱衝撃実験を行った供試体の顕微鏡観察の結果、冷却前には任意の方向を向いた潜在的なマイクロクラックが認められたが、冷却後には供試体の半径方向に発達した比較的に長い亀裂が多く認められ、その亀裂の周辺ではこのようなつながったクラックは認められなかった。このことから、前述の応力の解放を裏づけている。したがって、亀裂解析法は実際の現象により近い解析法であると考えられる。

一方、空洞周辺の場合も岩石供試体の場合と同様な想定をする。すなわち、空洞周辺に垂直に潜在的な亀裂が存在しない場合とする場合について比較を行った。1年後の解析結果をそれぞれ図3(a),(b)、図4(a),(b)に示す。潜在的な亀裂が存在しない場合には、NoTension法による塑性領域は表面から12.5mまで進展しているのに対して、亀裂解析法による亀裂は全体的に9.5mまで進展している。また、垂直に潜在的な亀裂が存在する場合には、NoTension法による塑性領域は前述と同一の範囲である12.5mまで進展している。一方、亀裂解析法では潜在的に存在している亀裂とつながることによって、その存在する部分ではほぼ7mまで進展しているが、それ以外の部分では4.5mまでしか進展していない。以上のことから、岩石供試体の場合と同様、NoTension法による塑性領域は潜在的な亀裂の存在に関係なく、その範囲に変化がみられない。一方、亀裂解析法で述べたとおり、つながった亀裂の先端部分には応力集中が起こる結果、さらに亀裂は進展してゆく。このことは逆に本来なら他の場所で進展するはずの亀裂を所定の場所に誘導できることをも示しており、岩石供試体の場合と同様、その範囲は全体的にみると、このつながった部分の亀裂が最も大きく、NoTension法によって求められた塑性領域の範囲とほぼ同じ範囲である。一方、その他の部分の亀裂はこのつながった部分の亀裂の約3分の1程度しか進展していない。

4. あとがき

今回は、LNG貯蔵による空洞周辺の塑性領域の範囲をNoTension法と亀裂解析法により解析し比較した。その結果、空洞表面より人工的な亀裂をあらかじめ設けることによって、塑性領域の範囲をある程度制御できるのではないかと思われる。

参考文献

- 1) 船田・八木；“極低温下における岩石の力学特性”，材料，29，327，PP.67~73，1980
- 2) 船田・八木；“低温下における岩石の熱物性値”，材料，29，327，PP.74~79，1980

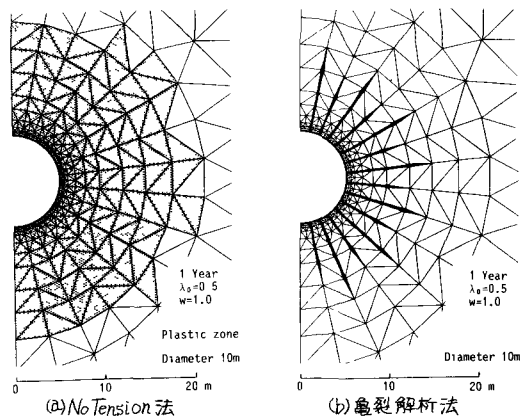


図3. 解析方法の違いによる塑性領域又は亀裂の範囲の比較

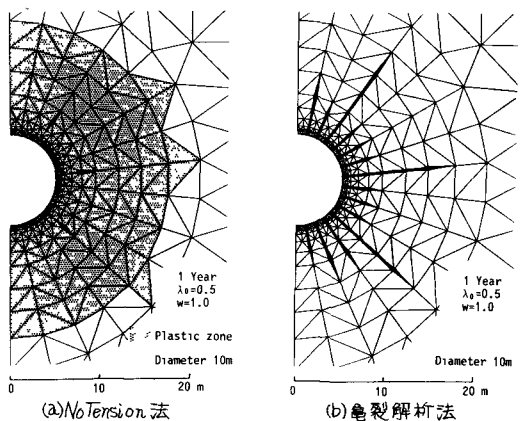


図4. 解析方法の違いによる塑性領域又は亀裂の範囲の比較