

愛媛大学工学部 (正会員) 稲田善紀

愛媛大学大学院 (学生員) ○岡田明浩

須藤康文

1. 緒言

液化天然ガスを地下の岩盤内空洞に貯蔵する場合、地山の自重による応力にさらに熱応力が重畳され、空洞周辺には塑性領域が発生する。塑性領域を解析した結果についてはすでに一部報告したが、今回は地下貯蔵に適した岩盤選定の基礎資料を得るため、塑性領域に及ぼす種々の要因について解析し検討した結果を報告する。

2. 空洞周辺の応力解析の方法

応力解析のモデルは、等方性岩盤の地山を想定し、被りを100 mとし直径5 mの単一円形空洞を掘削した場合について考え、平面ひずみ問題として取扱った。なお、風化係数 $w=1.0$ 、側圧係数 $\lambda=0.5$ の場合を解析している。また時間の概念を導入したいわゆる逐次破壊を考慮し、解析手法としてはNo Tension法のうちのstress transfer法を用いた。岩盤内の破壊条件については種々の考え方があるが、塑性領域の判定は、Mohrの破壊包絡線説に従うものと考えた。塑性領域内では砂状になっているものと仮定し、引張応力には耐えられずせん断応力についてはCoulombの内部摩擦角説に従うものと考え、塑性領域内で破壊した領域をゆるみ領域と呼ぶことにする。

3. 空洞周辺の塑性領域

3.1 計算上の精度が塑性領域に及ぼす影響

逐次破壊を考慮した解析を行なうとき、時間間隔のとり方が問題になる。図1は時間間隔を細かくとった場合である。本研究では熱応力が支配的であり同様に円状に破壊が進行してゆくことがわかったので、空洞のまわりの各層で「同一の層がすべてゆるみ領域となる時間」を各ステップとすると1年後まで18回のステップが必要であ

った。図2は時間間隔を粗くとった場合で、

便宜上、30分、1日、30日、1年の4回のステップで解析した。その結果塑性領域はほぼ似ており、適当な温度分布の差があれば粗い時間間隔を用いてもさしつかえないことがわかった。また、ここでは逐次破壊に伴い応力

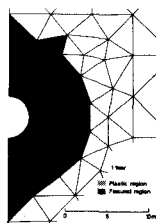


図1. 18回のステップで解析した塑性領域

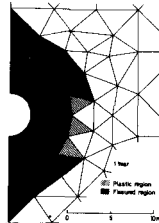


図2. 4回のステップで解析した塑性領域

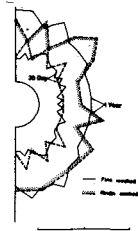


図3. メッシュの大きさの違いによる塑性領域の比較

的自由面の表面で要素を常に小さく再分割した場合と要素分割をそのままで行なった場合を比較したものである。これより塑性領域だけをみる限りでは分割する要素の大きさの影響を受けないことがわかる。そこで以下は自由面で要素の再分割は行なわず、時間間隔は30分、1日、30日、1年の4回のステップを用いることとし、解析の結果はすべて1年後のみを示すこととする。

3.2 温度分布が塑性領域に及ぼす影響

塑性領域は温度分布の差異によって異なるものと考えられる。これまでは塑性領域が発生しても熱伝散率の变

化は生じないものとして温度分布を求めてきた。図4は塑性領域が発生した部分の熱伝散率を砂のそれに変えて計算した温度分布である。熱伝散率を変化させない場合と比べると塑性領域は小さくなっているが、さほど大きな差がないので、以後熱伝散率を変化させない場合の温度分布を用いて解析してもさしつかえないと思われる。

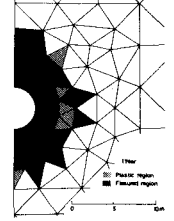
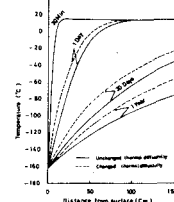


図4. 塑性領域で熱伝散率を
変化させた場合の温度分布
図5. 図4の温度分布を用い
て求めた塑性領域

3. 3 物理定数等が塑性領域に及ぼす影響

(1) 岩石の熱物性値が塑性領域に及ぼす影響

岩盤のもつ様々な物理定数は塑性領域に影響を及ぼす要素である。それぞれの要素の組合せは種々考えられるが実際の岩盤に関する様々のデータからは各要素相互間に顕著な関係はみいだせなかったのて今回はどの要素がどの程度塑性領域に影響を及ぼすかと純粋にみるために他の要素を変化させず、ある一つの要素のみを変化させて解析した。図6～図9は各要素と塑性領域の関係を示したものである。図6は弾性率のみを変化させた場合であり、図7はポアソン比のみを変化させた場合である。いずれの場合にも両者の間にはほぼ直線的な比例関係があることがわかる。また図8は線膨張係数のみを変化させた場合である。両者の間にはほぼ直線的な比例関係があることがわかる。このことは、今回の破壊がほとんど熱応力による引張りによって発生していることからもうなずける。図9は熱伝散率のみを変化させた場合であるが、塑性領域にさほど大きな差がみられなかった。このことから岩石が風化していなければ熱伝散率は塑性領域にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。

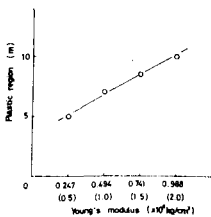


図6. 塑性領域と弾性率の関係

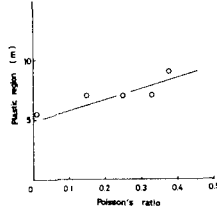


図7. 塑性領域とポアソン比の関係

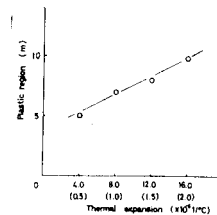


図8. 塑性領域と線膨張係数の関係

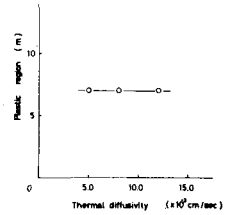


図9. 塑性領域と熱伝散率の関係

(2) 風化係数が塑性領域に及ぼす影響

実際の岩盤はある程度風化しているので、その強度は岩石試料から得られる強度とは異なっている。そこで風化係数 $w = (\sigma_p / \sigma_r)^2$ を考え、¹⁾今回は $w = 1.0, 0.6$ および 0.3 として解析した。なお、この場合、弾性率もそれに応じて変化させている。図10は風化係数と塑性領域の関係を示した場合である。両者の間にはほぼ直線的な比例関係がみられるがさほど大きな差がなく、風化係数は塑性領域にさほど影響を及ぼさないことがわかる。

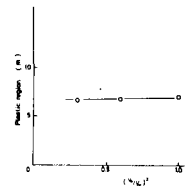


図10. 塑性領域と風化係数の関係

4. 結言

今回は空洞周辺に発生する塑性領域に影響を及ぼす種々の要因について報告した。いずれにしても引張応力が支配的であるのでこれらを緩和する工夫が必要である。

参考文献

- 1) 稲田、八木ほか;土木学会中、四国支部昭和56年度学術講演会一般講演概要、P 218 ~ 219