

液化天然ガスの地下貯蔵に伴う空洞周辺の安定性の検討について

愛媛大学工学部 正会員 稲田 善紀
 愛媛大学工学部 正会員 八木 則男
 (株)阪神コンサルタンシ 正会員 ○北村 真也
 (株)備南開発 正会員 坂本喜八郎

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、空洞の安定性が問題となる。低温が岩石の強度ならびに熱物性値に及ぼす影響および空洞周辺の温度分布についてはすでに報告した。¹⁾²⁾³⁾ 今回は、液化天然ガスの貯蔵により地山内に発生する熱応力の時間的変化等を考慮して空洞周辺の安定性を検討した結果について報告する。

2. 空洞周辺の応力分布

2.1 応力解析の方法

空洞周辺には地山の自重によりすでに応力分布が存在しているが、液化天然ガスの貯蔵によりさらに熱応力が加わることになる。これらの重畳による塑性領域は時間的に変化するので、ここでは時間の概念を導入したいわゆる逐次破壊を考慮して解析を行った。この場合、塑性領域を順次はぎとっていく方法(ここではNo Stress法と呼ぶ)と塑性領域を考慮した非引張解析法のうちのNo Tension法で解析を行った。なお、本解析ではすべて平面ひずみ問題として取扱うこととした。

岩盤の強度については風化係数 $w = (v_f / v_r)^2$ を考え、 $S_{sc} = w S_c$ 、 $S_{st} = w S_t$ とする。

ただし v_f : 地山の弾性波伝播速度、 v_r : 試料の弾性波伝播速度、 S_{sc} : 準岩盤圧縮強度

S_c : 試料の一軸圧縮強度、 S_{st} : 準岩盤引張強度、 S_t : 試料の一軸引張強度

なお、塑性領域の判定には種々の考え方があがあるが、ここではMohrの破壊包絡線説に従うものと考えた。³⁾ また、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、今回は内部摩擦角を 45° とした。

2.2 応力解析の結果と考察

(1) 単一空洞の場合

ここでは等方性岩盤の地山を想定し被りを100 mとし、直径5 mの単一空洞を考える。

側圧および鉛直応力は次式で与えられる。

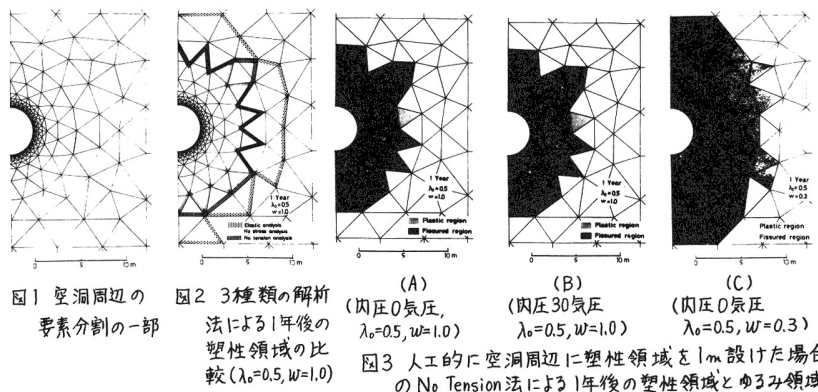
$$P_h = \lambda_0 P_v, P_v = \gamma h$$

ただし P_h : 水平応力

P_v : 鉛直応力

γ : 地山の平均密度、 h : 被り、 λ_0 : 側圧係数

空洞周辺の要素分割の一部を示したものが図1である。さて、図2はそれぞれの解析法による1年後の塑性領域の範囲を比較したものである。図2より逐次破壊を考慮した場合は塑性領域の範囲が約6 mであるのに対し、



そうでない場合は約10mの範囲であり、両者に約2倍の差があることがわかる。しかし、逐次破壊を考慮する方がより実際の現象に近いと思われる。図3の(A)と(B)より内圧0の場合もボイル・オフ・ガスにより30気圧の内圧がかかっている場合も約6mの範囲に塑性領域が生じており、両者の間にはほとんど差がないことがうかがえる。

また、図3の(C)より $W=0.3$ の場合には約9mの塑性領域が生じることが推定される。

(2)複数空洞の場合

ここでは、直径5mの2つの空洞が水平に並んでいる場合についてNo Tension法による解析を行った。空洞周辺の要素の分割を示したものが図4であるが、ここでは両空洞間を中心で左右対称であるとし、左側の空洞についてのみ考える。なお、空洞周辺に1mの人工的な塑性領域を設けた。さて、図5は空洞間隔(D_s)が25mの場合の1年後の塑性領域およびゆりみ領域を表わしたものであるが、ゆりみ領域が両空洞間を中心まで生じており、この場合には安全に貯蔵できないと思われる。

図6の(A)および(B)は単一空洞の場合の1年後の温度の影響範囲を考慮して $D_s=35$ mとした場合の塑性領域とゆりみ領域を表わしたものである。これらの図と単一空洞の場合の図3の(A)および(C)と比較すると、 $W=1.0$ の場合にはともに塑性領域の範囲が約6mでほとんど差はないが、 $W=0.3$ の場合には単一空洞の場合よりもさらに塑性領域の範囲が拡がっており、隣の空洞の影響を受けていることがわかる。

以上のことから空洞を安定させておくためには、いずれにしても熱収縮による引張りに対処する工夫あるいは熱収縮を起こさせないような工夫、いいかえれば熱伝導を遮断するような工夫が必要である。

3. 結 言

今回は液化天然ガスを地下の岩盤内に直接貯蔵する場合を想定し考察した結果について述べた。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 被り100mの地下の岩盤内に直径5mの空洞を設けた場合、1年後には約6mの範囲まで塑性領域が拡がっていくものと推定される。
- (2) 複数空洞に貯蔵する場合、風化係数の小さな場合には隣の空洞の影響を受けるので、これらを充分考慮に入れて空洞間隔を決めなければならない。
- (3) 岩盤内に液化天然ガスを貯蔵する場合には、熱応力による引張りに対処する工夫および熱伝導を遮断する工夫が必要である。

参 考 文 献

- 1) 稲田善紀他; 液化天然ガスの地下貯蔵に関する基礎的研究(第1報), 材料, 昭和54年10月, 第28巻, 第313号, PP.979~985
- 2) 稲田善紀他; 液化天然ガスの地下貯蔵に関する基礎的研究(第2報), (第3報), 材料, 昭和55年12月, 第29巻, 第327号, PP.1221~1233
- 3) 稲田善紀他; 液化天然ガスの地下貯蔵による空洞の安定性(I), 愛媛大学紀要, 第三部, 工学, 第9巻, 第4号, 昭和56年3月

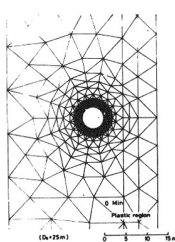


図4 空洞周辺の要素分割の一部

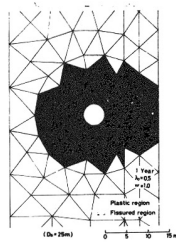
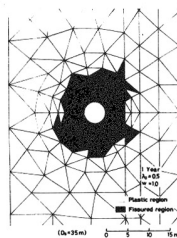
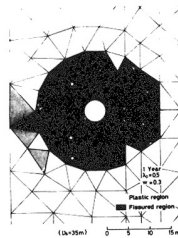


図5 双設空洞の場合の1年後の塑性領域とゆりみ領域 ($D_s=25$ m, $\lambda_0=0.5$, $W=1.0$)



(A)

($D_s=35$ m, $\lambda_0=0.5$, $W=1.0$)



(B)

($D_s=35$ m, $\lambda_0=0.5$, $W=0.3$)

図6 2つの空洞が水平に並んでいる場合の1年後の塑性領域とゆりみ領域