

III-255

高温・高圧下における岩盤の挙動および透水性

愛媛大学工学部

正会員 稲田 善紀

大成建設(株)

正会員 木下 尚樹

(株)竹中工務店技術研究所

正会員 中崎 英彦

(株)竹中工務店技術研究所

上田 貴夫

1. はじめに

生活の質の向上や省エネルギーを目的として、ゴミ焼却時に発生する廃熱を利用して水を熱水に変え、一般家庭への給湯や暖房、ビニールハウス、養魚および融雪道路など多目的に利用することが考えられる。この場合、熱水の供給量を安定させるための一時貯蔵が必要となる。貯蔵方法の一つとして、土地の立体的な有効利用ができる地山岩盤内貯蔵が考えられるが、空洞の安定性および空洞からの熱水の漏れが問題となる。

本研究では熱水貯蔵時に空洞周辺に発生する熱応力を計算し、空洞の安定性を検討した。次に高温・高圧下における岩石の透水試験の結果¹⁾を空洞周辺の温度分布および応力状態²⁾に適用させて空洞周辺岩盤の透水性の変化を求めた。さらに、貯蔵に関して考察した結果について述べる。

2. 空洞の安定解析

解析には花崗岩の地山を想定し、岩盤内の土被り100mの位置に直径10mの円形空洞を設け、熱水を直接貯蔵した場合の空洞周辺に発生する熱応力および地山の自重による応力を有限要素法を用いて計算した。岩盤の破壊条件についてはMohrの破壊包絡線説に従うものとし、側圧係数(λ)は0.5とした。なお、岩盤の強度および熱物性値は別の実験により求めた値³⁾を用いた。貯蔵1年後の空洞周辺の応力状態を図1に示す。空洞周辺の温度分布が準定常状態となる貯蔵1年後において空洞表面付近の接線方向の圧縮応力は最大となるが、花崗岩の圧縮強度の約2/5程度であった。また、天端上部において生じる引張応力は花崗岩の引張強度の約1/2程度であった。この応力状態について破壊判定の結果、空洞は安定していることがわかった。

3. 空洞周辺岩盤の透水性

ここでは、高温・高圧下における岩石の透水試験の結果を時間的に変化する空洞周辺の温度分布および応力状態に適用して、空洞周辺岩盤の透水性を求めてみる。図2に単一円形空洞の場合の貯蔵1年後の空洞周辺岩盤の透水性の分布を示す。ただし、ここでは岩盤の透水性の変化を表すものとして、貯蔵後の透水係数を貯蔵前の透水係数との比(透水係数比)で表すものとした。空洞表面付近で透水係数は貯蔵前の約1/50となることがわかる。

また、多量に熱水を貯蔵する必要がある場合や、岩盤の性質等により複数の空洞を設ける場合があるものと思われる。ここでは直径が10mの円形空洞で空洞表面間距離を①20mおよび②10mの双設空洞とした場合、および多設空洞とし、③空洞表面間距離が10mで水平方向に一列に配置した場合について空洞周辺岩盤の透水係数を求め、単一空洞の場合と比較した。①の場合の貯蔵1年後の透水係数比の分布を示したものが図3(a)である。空洞表面付近における水平軸方向の透水係数比は約1/25となるが、鉛直方向では約1/60となる。

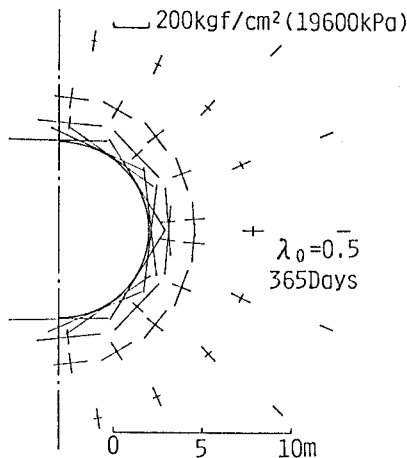


図1 貯蔵1年後の応力状態
(単一円形空洞)

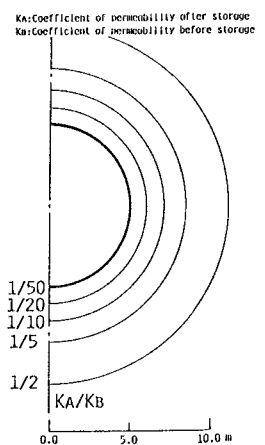
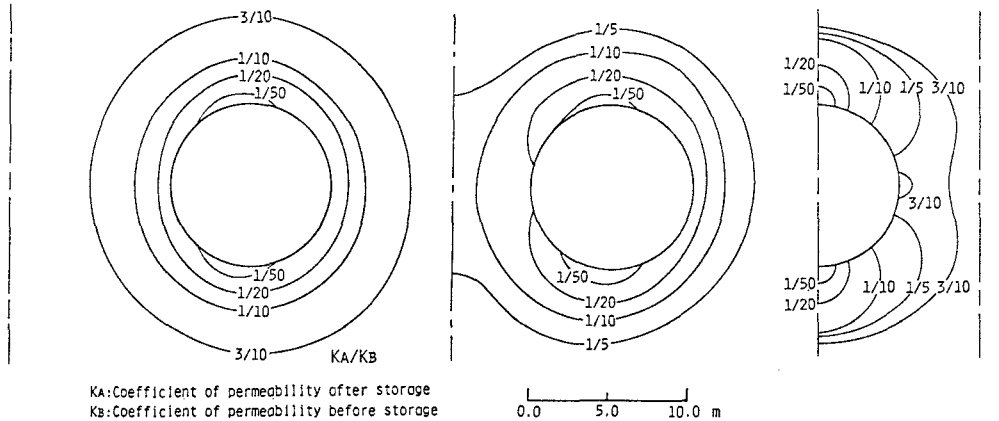


図2 貯蔵1年後の透水係数比の分布
(単一円形空洞)



(a) 双設空洞(空洞表面間距離:20m) (b) 双設空洞(空洞表面間距離:10m) (c) 多設空洞(水平一列配置)

図3 貯蔵1年後の透水係数比の分布

次に②の場合の1年後の透水係数比の分布を図3(b)に示している。この場合、空洞の表面付近では隣接空洞側で貯蔵前の約1/15、その反対側で約1/25、空洞の上下部分では約1/70、となる。さらに、③の場合の1年後の透水係数比の分布を図3(c)に示している。空洞表面付近においては、土平の部分で貯蔵前の約1/3になるが、空洞の上下端の部分では約1/150となる。以上のように複数空洞を設け、熱水を貯蔵した場合には、隣接空洞の影響により土平付近の接線方向の圧縮応力が逆に緩和されることによって、その部分の透水係数が空洞の上下端に比べ大きくなることがわかった。この傾向は③の場合に最も大きく見られ、次いで②の場合、①の場合の順にみられる。これをもとに1年後における漏水量を試算した結果、せいぜい2～4%程度であることがわかった。

4. 貯蔵に関する一考察

実際の岩盤には、空洞周辺に亀裂が存在している。そこで、3cm×5mの亀裂が空洞の半径方向に等間隔にそれぞれ2本、4本、8本存在していると仮定した場合の亀裂の挙動を解析によって求めた。結果を図4に示す。いずれの場合にも、空洞周辺の岩盤が熱膨張し、亀裂がふさがり方向に変位する。亀裂1本当たりの変位量は亀裂の数が増えると減少する。また、すべての亀裂の変位の総和は、亀裂の数が増えるとともに大きくなるが、増加の割合が減少していることから、変位量の増加にも限度があるものと思われる。以上のことから、亀裂が存在してもある程度は円周方向にふさがり、漏水の減少にある程度期待がもてることがわかった。

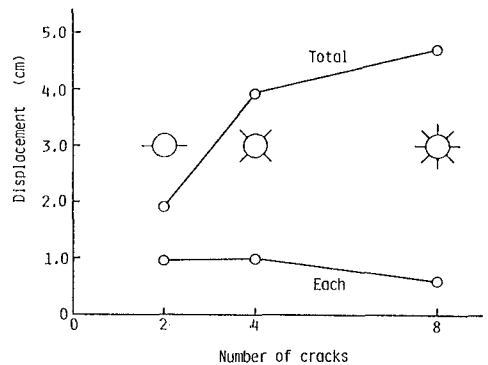


図4 亀裂の数と変位量の関係

5. おわりに

本研究では、地山岩盤内空洞に熱水を貯蔵した場合の空洞の安定性および空洞周辺岩盤の透水性を検討した。その結果、空洞からの漏水量はほとんど無視できることがわかった。また、空洞周辺の亀裂の挙動を解析した結果、岩盤は空洞の円周方向に膨張し、ある程度は漏水の防止に期待がもてることがわかった。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 木下尚樹, 中崎英彦, 上田貴夫, 地下空間利用シンポジウム論文集, pp. 77～82, 1989.
- 2) Y. INADA, R. L. STERLING, J. Geotech. Engrg., ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 597～614, 1989.
- 3) 稲田善紀, 横田公忠, 時川忠, 土木学会論文集, 370号, III-5, pp. 217～223, 1986.