

熱水の影響を受けた空洞周辺岩盤の透水性

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
清水建設(株)		藤田 元
三井建設(株)		越田 吉政

1. はじめに

ゴミ焼却等により発生する廃熱を利用して得られる熱水を地山岩盤内に設けた空洞に貯蔵する場合、空洞からの熱水の漏れが重要な問題となる。本研究では、高温・高圧下における岩石の透水試験の結果¹⁾から種々の条件下における透水係数の推定式を導き、解析によって得られた時間的に変化する空洞周辺の温度分布および応力状態²⁾に適応させ、空洞周辺岩盤の透水性の経時変化を求めた。さらに、空洞からの漏水量を試算した結果について述べる。

2. 透水係数の簡易推定式

地山岩盤内の空洞に熱水を貯蔵した場合、空洞周辺には温度分布が生じ、それにともなう熱応力が発生する。しかもそれらは時間的に変化する。同時に空洞周辺岩盤の透水係数も変化する。空洞からの漏水量を求めるためには、温度や応力によって刻々と変化する岩石の透水係数を容易に推定する必要がある。そこで、透水試験の結果から、軸圧、周圧、透水圧および温度を変数とする透水係数の推定式を導くことを試みた。求めた推定式を式(1)に示す。

$$\log K = (-6340 - 0.56 Pa - 3.4 P_{su} + 3.4 P_s - 5.2 T) \times 10^{-3} \quad (1)$$

ただし、 K : 透水係数(darcy), Pa : 軸圧(kgf/cm²), P_{su} : 周圧(kgf/cm²), P_s : 透水圧(kgf/cm²)
 T : 温度(℃)

3. 空洞周辺岩盤の透水性の経時変化

透水係数の簡易推定式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、空洞周辺岩盤の透水性の経時変化を求めてみる。ここでは、花崗岩の地山岩盤内の土被り100m の位置に設けた直径10mの単一空洞および複数空洞に熱水を貯蔵した場合を想定する。

図1に単一空洞の場合の空洞周辺岩盤の透水性の経時変化を示す。ただし、ここでは岩盤の透水性の変化を表すものとして、貯蔵前の岩盤の透水係数を基準とし、貯蔵後の各時間における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。貯蔵初期の時間から空洞表面付近において透水係数は急激に減少している。貯蔵1日後における空洞表面付近の岩盤の透水係数は貯蔵前の状態の約1/30となり、貯蔵1年後には約1/50となる。以上のように単一空洞の場合には時間の経過とともに空洞周辺の透水係数が減少するので、熱水の漏水が減少し、結果として有利な方向に変化することがわかった。

実際には、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が20mの双設空洞と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。

透水係数比の経時変化を示したものが、図2(a),(b)である。図2(a)は結果を空洞の水平軸に沿ってとりまとめたものである。また、図2(b)は空洞の鉛直線方向に沿ってとりまとめたものである。貯蔵の初期の時間から隣接空洞側、その反対側および空洞の上下部分のいずれの部分においても透水係数は急激に減少し、貯蔵30日後で空洞表面付近の透水係数は隣接空洞側およびその反対側で約1/40、空洞の上下部分では約1/50となることがうかがえる。貯蔵1年後には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と貯蔵30日後と比べて逆に大きくなっているが、鉛直方向では約1/60と減少する傾向にある。このように透

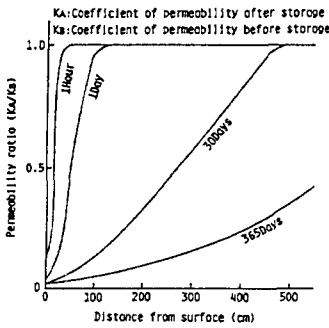
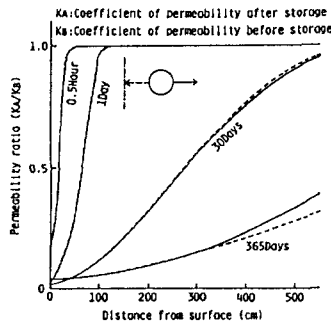
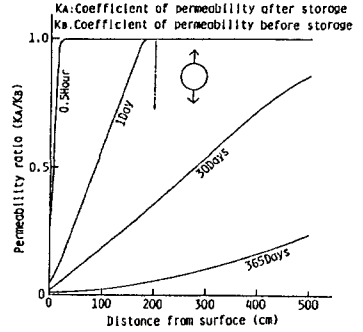


図1 透水係数比の経時変化
(単一円形空洞)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図2 透水係数比の経時変化(双設空洞)

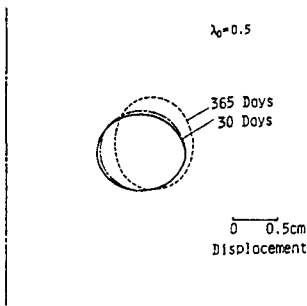


図3 空洞の変位

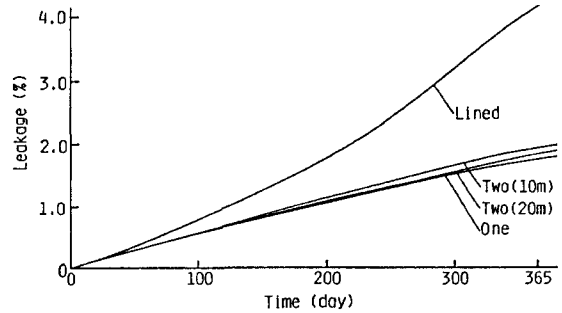


図4 累積漏水量の経時変化

水係数の変化の違いがみられる理由としては、熱膨張によって隣接空洞が互いに影響を及ぼし合い、図3に示したように空洞が変形し、土付付近での接線方向の圧縮応力が逆に緩和されたことに起因しているものと思われる。その他の場所では、わずかながら隣接空洞の影響を受けるが、単一空洞の場合とほぼ同様の分布となる。

次に、前述の式(1)を用いて求めた透水係数を用いて空洞からの熱水の漏水量の試算をした。結果を図4に示す。ここでは貯蔵開始からの全漏水量を空洞の容量に対する割合として表すこととした。1年後までの漏水量は単一空洞で1.78%、双設空洞では空洞表面間距離が20mの場合で1.87%、10mの場合では1.96%となる。空洞を水平一列に配置した多設空洞の場合には漏水量は4.23%と単一空洞の場合と比較して約2.4倍の漏水量となる。いずれにしても漏水量はせいぜい2～4%程度であり、今回の試算の結果からは、熱水の漏れは量的にはほとんど無視できるものと思われる。

4. おわりに

本研究では、透水試験の結果から透水係数の推定式を導き、これを基に空洞からの熱水の漏れを検討した。その結果、熱水の漏れは量的にはほとんど無視できることがわかった。

なお、本研究は昭和63年度および平成元年度科学研究費の補助を受けたことを記しておく。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 木下尚樹, 中崎英彦, 上田貴夫: 高温・高圧および異方性が岩石の透水性に及ぼす影響, 第10回西日本岩盤工学シンポジウム論文集, pp. 32~39, 1989.
- 2) Y. INADA, R. L. STERLING: Storage of Heated Water in Underground Openings, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 597~614, 1989.