

高温の影響を受けた空洞の安定性

愛媛大学工学部	正会員	稲田 善紀
愛媛県土木部	正会員	真鍋 孝信
愛媛大学大学院	学生員	木下 尚樹
岡山 N E S (株)		徳田 勝信

1. はじめに

近年、生活の質の向上にともない、各家庭での熱水の使用量が増加してきている。そこで、ゴミ焼却場や発電所等で発生する廃熱を利用して水を熱水に変え、各家庭へ給湯することが考えられる。またこの熱水は地域暖房、農業、および融雪道路など幅広く利用することもできる。この場合、季節や1日の時間帯に関係なく熱水を安定して供給するためには、消費地の近くに熱水を一時的に貯蔵しておく必要がある。そこで本研究では、地山の岩盤内に空洞を掘削し、そこに熱水を直接貯蔵した場合を想定し、単一円形空洞および双設空洞について、まず空洞周辺の温度分布の経時変化を求めた。この温度分布をもとに熱応力と地山の自重との重畳による空洞周辺の応力状態を計算し、空洞の安定性を検討した結果について述べる。

2. 空洞周辺の温度分布

本解析では、温度分布に影響を及ぼさない、水平および垂直方向に十分な広がりを持ち、土被り100mの新鮮で亀裂のない花崗岩の岩盤中に直径10mの円形空洞を設け、そこに熱水を直接貯蔵した場合を想定した。

空洞周辺の温度分布を求める際には、気体または液体が固体に接する面において、熱伝達を考慮する必要がある。そこで実験により得られた値と要素分割法¹⁾により求めた値を比較することにより、等価の厚さとして求めることとした。得られた測定値と理論解とを比較したものが図1である。この結果、等価の厚さは非常に小さく実用上は無視できることがわかった。

要素分割法で求めた空洞周辺の温度分布の経時変化を図2に示す。なお比較のため、初期の時間ではあるが、厳密解の近似式で求めた値を破線で示している。これらの結果、初期の時間には急激な温度勾配を示すが、時間の経過とともに次第に緩慢となり、貯蔵1年後近くになると、50日間隔で温度差が0.1℃となり実用上温度差を無視できる状態になることがわかる。この状態をここでは準定常状態と呼ぶこととする。また厳密解の近似式、要素分割法それぞれで求めた温度分布は、その差は最大0.6%とよく一致しており、要素分割法は精度上優れているといえる。

次に空洞を並設した場合を想定して空洞表面間距離を直径の2倍および直径分の場合の空洞周辺の温度分布の経時変化を計算した。得られた結果を空洞の水平軸に沿ってとりまとめたものが図3(a)、(b)である。隣接空洞間の温度分布を破線で、反対側のそれを実線で示している。空洞表面間距離20mの場合は隣接空洞からの影響をほとんど受けず単一円形空洞の場合とほぼ同じであるが、空洞間隔が近づくにつれてその影響が大き

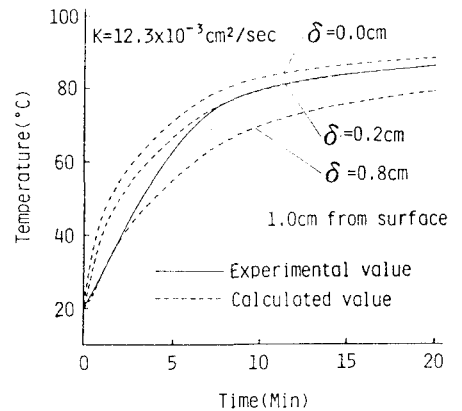


図1. 実測温度と理論解との比較

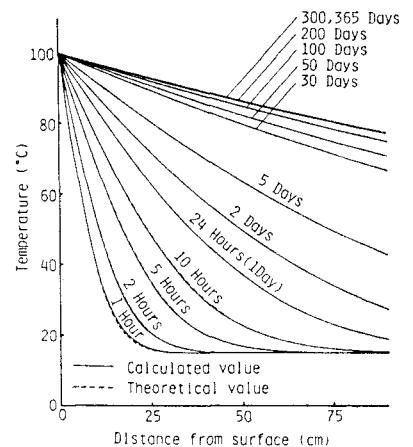


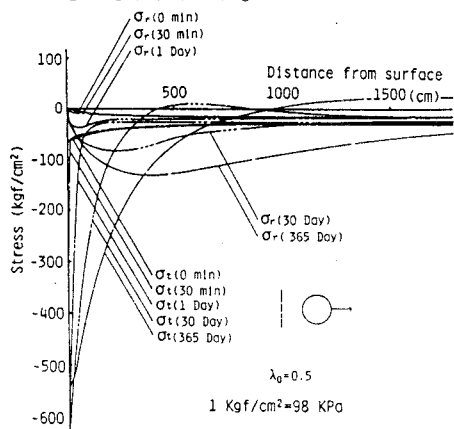
図2. 空洞周辺の温度分布の経時変化

くなり10m の場合には隣接空洞からの影響をかなり受けることがわかる。

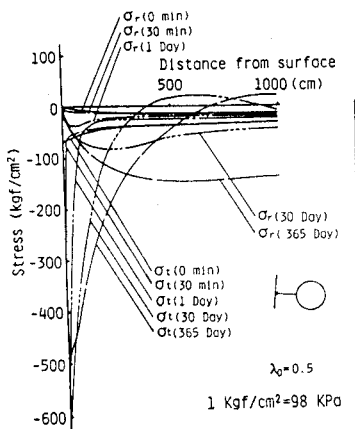
3. 空洞周辺の応力解析

地山内の岩盤は湿潤状態にあると考えられる。また岩石の強度や熱物性値は温度によって変化してゆくと考えられるので、ここでは別の実験により求めた値を用いた。岩盤中の破壊条件はMohrの破壊包絡線説に従うものとした。

ここでは前述の双設空洞について応力解析を行い空洞の安定性を検討した。まず、空洞表面間距離20mの場合について考える。熱水貯蔵前においては熱応力は発生しておらず、空洞周辺には、地山の自重による応力のみが発生している。これらの値は前述の破壊判定の結果、破壊を生じるような応力ではなく空洞は安定しているものと考えられる。次に熱水貯蔵後について水平軸に沿った半径方向の応力(σ_r) および接線方向の応力(σ_t) の分布の経時変化をとりまとめたものが図4(a), (b)である。これらの図より、 σ_r については、時間の経過とともにわずかつづ増大することがわかる。また、 σ_t については熱膨張のため、初期の時間においても空洞表面付近に大きな圧縮応力が生じており、時間の経過とともに増大してゆくが1年後にはこの圧縮応力が減少している。これは、図5に示すように熱膨張による隣接空洞間の相互作用による空洞の変形状況と密接な関係があると思われる。その結果、空洞上下端で最大圧縮応力が発生するが、これは花崗岩の圧縮強度の約2/5 程度であった。これらの結果、いずれの時間においても前述の破壊判定の結果、破壊に至るような応力の発生はみられず、熱水貯蔵後も空洞は安定していた。また、空洞表面間距離を直径分とした双設空洞でも同様の結果が得られ、空洞は安定していることがわかった。



(a) 両空洞外側



(b) 両空洞間

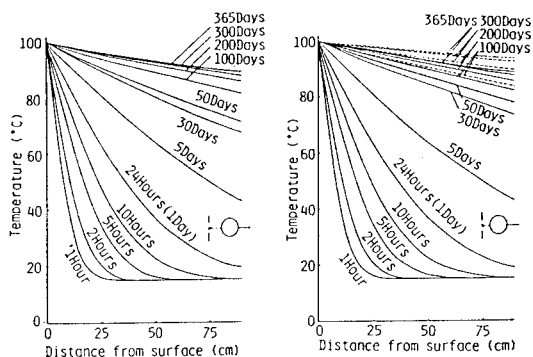
図4. 水平軸に沿う空洞周辺の応力分布

4. おわりに

本研究では、地山の岩盤内に双設空洞を掘削し、そこに熱水を直接貯蔵した場合を想定し、空洞の安定性について検討してきた。その結果、双設空洞では隣接空洞からの影響を受けるものの熱水貯蔵前後において空洞は安定していることがわかった。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 重信純: 液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵した場合の空洞の温度分布, 日本工業会誌, Vol. 99, No. 1141, PP. 179~185, 1983.



(a) 空洞表面間距離20m (b) 空洞表面間距離10m

図3. 水平軸に沿う双設空洞周辺の温度分布

次に熱水貯蔵後について水平軸に沿った半径方向の応力(σ_r) および接線方向の応力(σ_t) の分布の経時変化をとりまとめたものが図4(a), (b)である。これらの図より、 σ_r については、時間の経過とともにわずかつづ増大することがわかる。また、 σ_t については熱膨張のため、初期の時間においても空洞表面付近に大きな圧縮応力が生じており、時間の経過とともに増大してゆくが1年後にはこの圧縮応力が減少している。これは、図5に示すように熱膨張による隣接空洞間の相互作用による空洞の変形状況と密接な関係があると思われる。その結果、空洞上下端で最大圧縮応力が発生するが、これは花崗岩の圧縮強度の約2/5 程度であった。これらの結果、いずれの時間においても前述の破壊判定の結果、破壊に至るような応力の発生はみられず、熱水貯蔵後も空洞は安定していた。また、空洞表面間距離を直径分とした双設空洞でも同様の結果が得られ、空洞は安定していることがわかった。

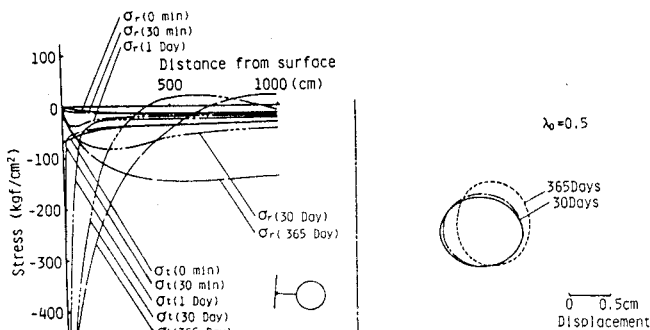


図5. 空洞の変形状況