

Ⅲ-685

熱水貯蔵時の岩盤空洞への断熱材の適用について

愛媛大学工学部 正会員 稲田善紀
㈱竹中工務店 正会員 上田貴夫愛媛大学工学部 正会員 木下尚樹
㈱竹中工務店 正会員 甲村雄一

1. はじめに

ゴミ焼却等の廃熱を利用して水を熱水に変え、家庭への給湯や地域暖房等多目的に使用する場合、熱水の使用量の時間的および季節的な変動に対応して安定供給を行うための一時的な貯蔵施設が必要となってくる。筆者らはこれまで貯蔵方法の一つとして地山岩盤内に空洞を設け、貯蔵することを提案し検討を行ってきている^{1)・2)}。これまでの研究から熱水を貯蔵することにより空洞周辺の岩盤は熱の影響を受けて膨張し、空洞の接線方向に圧縮応力が発生し、岩盤をより安定した状態に保つためには熱応力を軽減させる必要があることがわかっている。

本研究では熱応力軽減対策の一つの方法として空洞表面に断熱材を施すことを想定した。まず高温下における断熱材の熱物性値を実験により求め、この値を用いて空洞周辺岩盤の温度分布および応力分布の経時変化を解析により求め、断熱材の熱応力軽減効果について考察した。

2. 高温下における断熱材の熱物性値

実験に用いた断熱材はD社製の押出発泡ポリスチレン（試料1）およびA社製の硬質ウレタンフォーム（試料2）である。両者とも一般的に建築物に用いられている断熱材である。まず、これらの常温（ここでは15℃）から温度の上昇に伴うひずみを測定した。結果を図1に示す。温度の上昇に伴いほぼ直線的に増加している。この場合のひずみ量は花崗岩と比べ約8～18倍であり、断熱材は熱による膨張、収縮が大きいものと考えられる。高温下における熱拡散率を求めた結果を図2に示す。熱拡散率は花崗岩と比較し1～1/2倍程度であった。次に熱容量および熱伝導率を求めた。結果を図3および図4に示す。断熱材の熱容量は花崗岩の約1/80、熱伝導率では1/90～1/180と小さく、断熱材は岩石に比べ極めて遅く熱を伝えるものと考えられる。

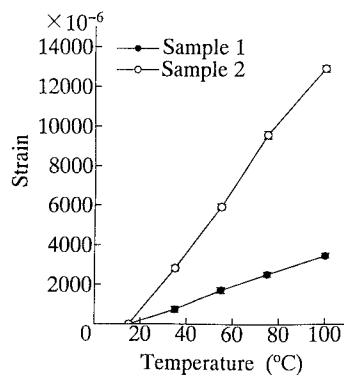


図1 ひずみ

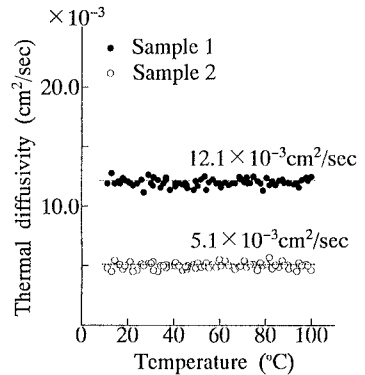


図2 熱拡散率

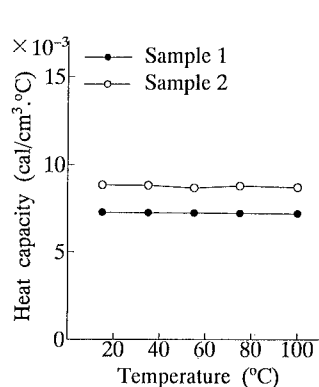


図3 熱容量

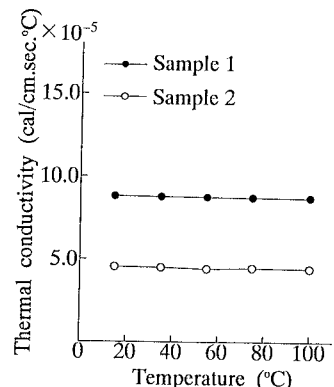


図4 熱伝導率

3. 空洞周辺の温度分布

土被り100mの花崗岩岩盤内に空洞表面に厚さ10cmの断熱材を施した仕上がり内径10mの円形空洞を設け、100℃の熱水を貯蔵した場合を想定した。ただし、熱水は絶えず入れかわり温度は一定であるものとしている。その際の空洞周辺の温度分布の経時変化を複合材用二次元問題に発展させた要素分割法³⁾を用いて貯蔵

1年後まで求めた。結果を図5に示す。断熱材を施すことにより岩盤部分の熱伝導に遅れが生じており、貯蔵1年後では空洞の表面付近で約40℃の温度差があることがわかる。また、断熱材部分とでは温度勾配に大きな差がみられる。これは断熱材の熱容量および熱伝導率が花崗岩と比べ小さいことに起因しているものと考えられる。このことから断熱材が岩盤に極めて熱を伝えるのが遅く、空洞

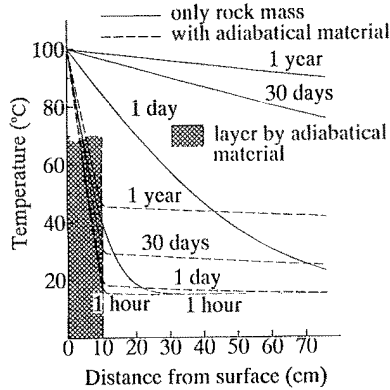


図5 空洞周辺の温度分布

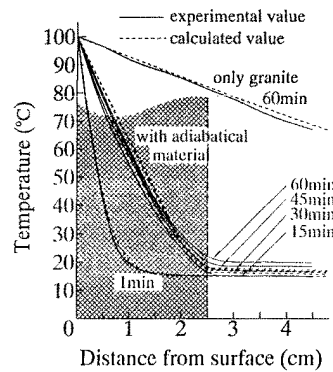


図6 温度分布の経時変化

周辺岩盤の熱応力の軽減が期待できるものと考えられる。

次に解析結果の妥当性を検討するために15×25×10cmの花崗岩の供試体の一つの面に厚さ2.5cmの断熱材を付加し、他の面は別の断熱材で覆い、熱が一次的に伝わるようにして加熱し、実測した温度分布と解析値を比較した。結果を図6に示す。前述の解析結果と同様に断熱材により熱伝導に遅れが生じ、断熱材部分と岩盤部分で温度勾配に差がみられる。また、実測値と解析値はよく一致していることがわかった。

4. 空洞周辺の応力解析

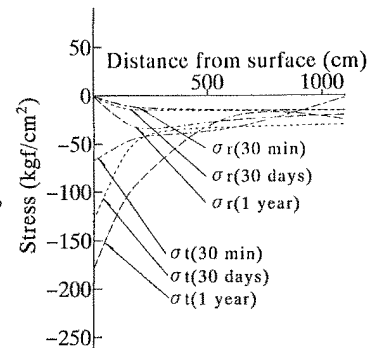
前述の温度分布をもとに有限要素法を用いて応力解析を行った。得られた結果から空洞の水平軸上の応力分布の経時変化を示したものが図7(a),(b)である。いずれの場合にも時間の経過に伴い、空洞周辺岩盤に生じる熱応力は増大しているが、断熱材を施すことにより岩盤のみの場合と比較し熱応力は軽減されていることがわかる。貯蔵1年後で比較すると空洞表面付近に生じる接線方向の圧縮応力は約1/3、半径方向の圧縮応力は約1/2に軽減されている。また、地山内部に発生する圧縮応力も1/2程度に軽減されており断熱材が熱応力軽減に有効な手段となり得ることがわかった。

5. おわりに

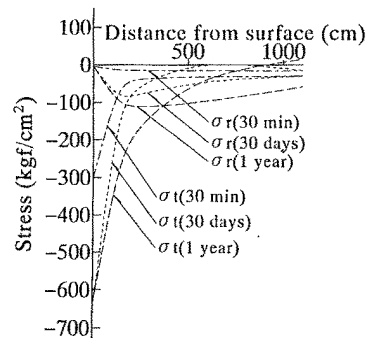
以上のように断熱材を施すことにより熱応力を軽減できるものと考えられるが、高温下における断熱材のひずみの変化は岩石に比べて大きく、施工の際には繋ぎ目に適当な処置を施す必要があるものと考えられる。また、繋ぎ目からの熱水の漏出が問題となり、何らかの漏出防止対策が必要であると考えられる。これらについては今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) 稲田善紀：地下の空間利用，135～157頁，森北出版，1989。
- 2) 稲田善紀・木下尚樹・中崎英彦・上田貴夫：土木学会論文集，No.424/Ⅲ-14，pp.227～234，1990。
- 3) 前掲 1)，97～101頁



(a)断熱材を施した場合



(b)岩盤のみの場合

図7 応力分布の経時変化