

熱水の岩盤内貯蔵における空洞周辺の温度分布に関する考察

愛媛大学工学部 正会員 ○木下尚樹
愛媛大学工学部 フェロー 稲田善紀

1. はじめに

筆者らはこれまで熱水の地山岩盤内貯蔵について検討を行ってきた¹⁾。これまでの研究において、高温の影響を受けた岩石の強度・変形特性、熱物性値を明らかにし、これらの値を用いて種々の岩盤内に熱水を貯蔵した場合の空洞周辺岩盤の安定性を検討してきた。その結果、空洞周辺岩盤には空洞内の熱水を熱源として非定常の温度分布が生じ、これに伴い熱応力が発生し、空洞の安定性に影響を及ぼすことがわかっている。以上のことから、空洞周辺岩盤の温度分布を把握することは空洞の安定性を検討する上で、重要になってくると考えられる。本研究ではこれまで検討が行われていない空洞内の熱水の対流を考慮に入れた温度分布解析を行い、結果を考察した。

2. 解析方法

熱水貯蔵時の温度分布を解析するには、①空洞内の熱水の対流現象、②熱水から空洞表面岩盤への熱伝達、③周辺岩盤の熱伝導現象を考慮する必要がある。そこで、連続の式、ナビエ・ストークス方程式、熱伝導方程式を基礎方程式とする有限要素法により解析することとした。

解析モデルは花崗岩岩盤内の直径 10m の円形空洞に熱水を貯蔵する場合を想定し、空洞表面から上下および横方向に 100m の位置を境界とした。また、左右の対称性を考え、空洞中心を通る鉛直線を対称軸とし、片方を解析対象とした。初期値は空洞内の熱水を 100℃、岩盤を 15℃とし、境界は 15℃一定とした。この状態から時間の経過に伴い熱水から岩盤に熱伝達され、岩盤内に非定常の温度分布が生じ、熱水の温度が低下する様子を解析した。ここで、①空洞内の熱水が温度変化に伴い対流する場合（以下 Case 1）、②熱水は対流せず伝導のみで熱移動する場合（以下 Case 2）の 2 通りについて検討した。なお、解析に必要な花崗岩岩盤の熱物性値は、密度を 2650kg/m³、定圧比熱を 0.997KJ/kgK、熱伝導率を 3.25W/mK とした。また、熱水の物性値は温度によって値を変化させたが、例えば 100℃においては、密度を 958.4kg/m³、定圧比熱を 4.216KJ/kgK、粘性係数を 0.290×10^{-4} kgfs/m²、熱伝導率を 0.682W/mK、体積膨張係数を 0.78×10^{-3} /K とした。

Case 1 は空洞内の自然対流現象を解析する必要があるため、要素数、解析ステップが多くなり、計算時間も Case 2 と比較して長くなる。本研究では両者の解析結果を比較し、熱水の岩盤内貯蔵における温度分布を解析する場合にどの程度の解析が必要になるか検討することを目的としている。

3. 解析結果および考察

解析結果を図 1～図 3 に示す。図 1 は Case 1 の空洞周辺の温度分布の経時変化である。空洞の上下方向および横方向では温度分布に差がみられたので、ここでは空洞中心から水平方向に沿った温度分布で示している。図 2 は Case 2 の空洞周辺の温度分布の経時変化である。Case 2 では空洞の上下方向および横方向では温度分布に差はみられず、同心円状の温度分布が生じていた。図 3 は貯蔵後 30 日における温度分布を Case 1 と Case 2 で比較したものである。

Case 1 の場合、空洞表面付近の温度は、貯蔵 5 日後から 10 日後までの間に最大となっており、その後低下し、30 日後では約 52℃になる。また、時間の経過に伴い周辺岩盤に熱が伝導するが、貯蔵 30 日において温度変化が大きいのは表面から約 4m の範囲である。空洞内の熱水の平均温度は 30 日後で約 70℃である。次に Case 2 においては、空洞表面付近の温度は、貯蔵 5 日後から 10 日後までの間に最大となり、その後低下し、30 日後では約 60℃になる。また、このとき周辺岩盤には 6m の範囲まで温度変化がみられ、熱水の平均

キーワード 熱水、岩盤内貯蔵、温度分布、対流

連絡先 愛媛大学工学部環境建設工学科 岩盤工学研究室 E-mail: kino@dpc.ehime-u.ac.jp

温度は約 85℃であった。

以上のように対流を考慮した場合と熱伝導のみ考慮した場合での結果は異なることがわかった。前述のように対流現象を考慮して解析を行う場合、熱伝導のみ考慮して行う解析に比べて労力を必要とする。しかし、熱水貯蔵時の空洞の安定性には熱応力が大きく影響していることを考えれば、温度分布をより正確に把握する必要があると考えられる。

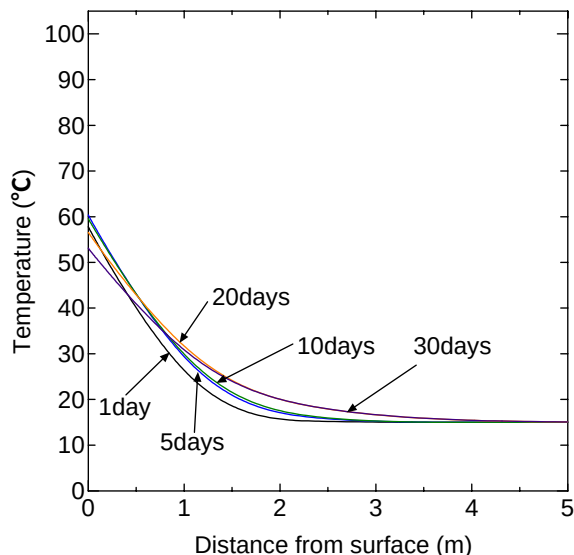


図1 空洞周辺岩盤の温度分布の経時変化
(Case 1)

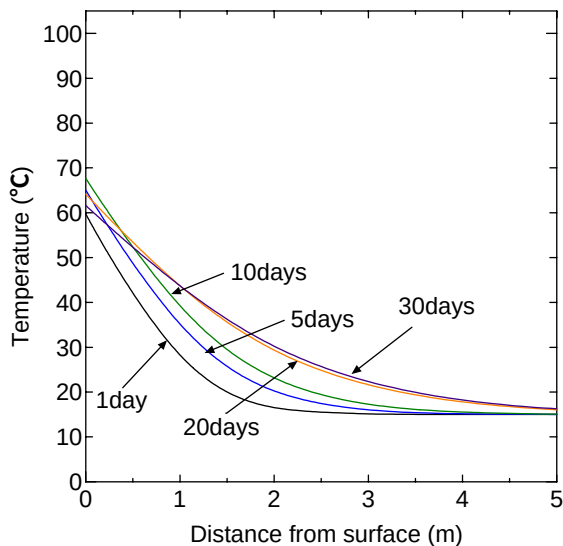


図2 空洞周辺岩盤の温度分布の経時変化
(Case 2)

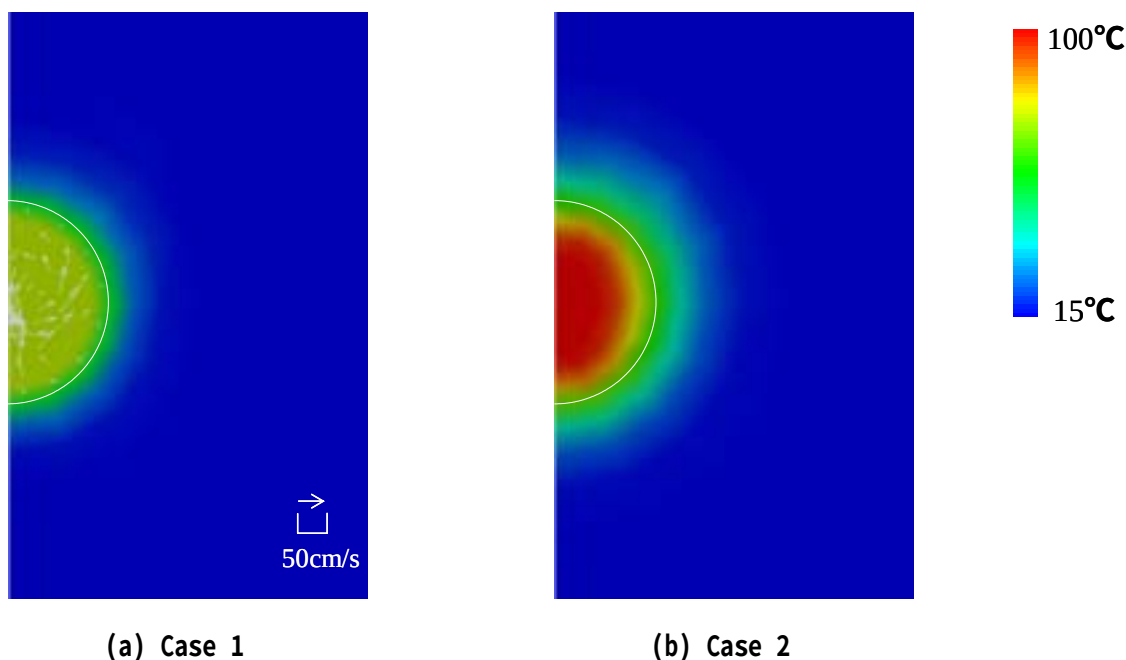


図3 貯蔵30日後の温度分布

4. おわりに

本研究では、岩盤空洞に熱水を貯蔵した場合の温度分布解析を行い、結果を検討した。ここでは基本的な解析の結果のみ述べたが、現実に近い条件での温度分布についても検討中であり、結果は別途報告したい。

参考文献

- 1) 例えば 稲田善紀：岩盤工学，pp.177-193，森北出版，1997。