

愛媛大学工学部

フェロー会員

稲田善紀

愛媛大学工学部

正会員

木下尚樹

愛媛大学大学院

学生会員

○宮本賢人

(株) 芙蓉調査設計事務所

正会員

山田公雄

1. はじめに

筆者らはゴミ焼却時に発生する熱エネルギーを利用して水を熱水に変え、それを家庭への給湯など多目的に利用する熱水貯蔵システムを提案している¹⁾。このシステムでは熱水の安定供給を行うため、地山岩盤内の空洞に熱水を一時貯蔵することを提案している。この場合、熱水の貯蔵量の変動により空洞周辺岩盤が高温の影響を繰り返し受けることから、空洞の安定性を検討するためには熱履歴を受けた岩石の強度・変形特性を把握する必要がある。

本研究では、熱サイクル試験装置を用いて、岩石に熱履歴を与えた後、室温下および高温下において岩石の強度・変形特性を求めた。次にその値を用いて熱水貯蔵時の空洞周辺岩盤の挙動について解析を行った結果について述べる。

2. 実験方法

実験に用いた岩石は、花崗岩（愛媛県越智郡宮窪町大島産）および凝灰岩（栃木県宇都宮市産）である。花崗岩については *hardway plane* に直角方向に、凝灰岩については堆積層に平行な方向にコアを採取し、一軸圧縮試験用には $\phi 30 \times 60\text{mm}$ 、圧裂引張試験用には $\phi 30 \times 30\text{mm}$ に成形した。また、試料は以下に示す2通りの方法で処理を行い、異なる2種類の含水状態のものを用意した。

① 室内で7日間自然乾燥させた後、さらにデシケータ内で7日間乾燥させた。

② 花崗岩の場合は、①の状態のものを蒸留水を満たしたデシケータ内で真空ポンプにより5時間脱気した。凝灰岩の場合は花崗岩と同様に、真空ポンプにより1時間脱気した。

以後、①の状態のものを *Dry*、②の状態のものを *Wet* と呼ぶ。

熱サイクル試験装置を用いて試料に 15°C （室温）～ 100°C の熱履歴を与えた。 15°C から熱衝撃の影響を受けないと考えられる範囲²⁾の $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の昇温速度で加熱し、試料の中心温度が 100°C であることを確認しながら60分間保温し、同じく $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で降温し、 15°C で60分間保温した。以上の過程を1サイクルとした。また、熱履歴の温度幅が及ぼす影響について検討するため 15°C ～ 60°C の温度幅でも熱履歴を与えた。

試料にそれぞれの熱履歴を与えた後、一軸圧縮試験と圧裂引張試験を行った。また、一軸圧縮試験の際には試料に貼り付けたひずみゲージにより縦ひずみと横ひずみも同時に測定した。

3. 実験結果および考察

圧縮強度を図1に示す。熱履歴回数の増加に伴い強度が低下している。これは熱履歴を受けた際に、岩石の構成鉱物粒子の膨張および収縮量がそれぞれ異なるために鉱物粒子間のマイクロクラックが拡大され、また、新たなマイクロクラックの発生によるものと考えられる。しかし、履歴回数に伴う強度低下の割合は次第に減少し、いずれは収束していく傾向

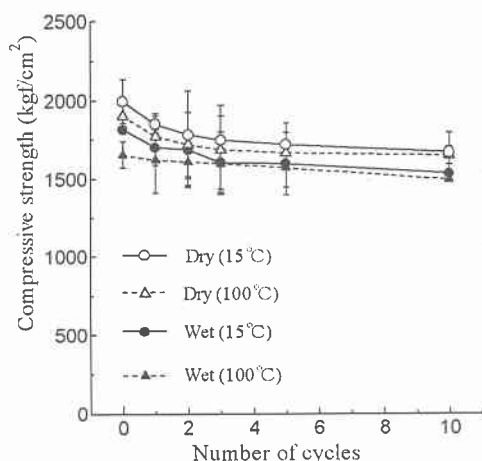


図1 花崗岩の圧縮強度

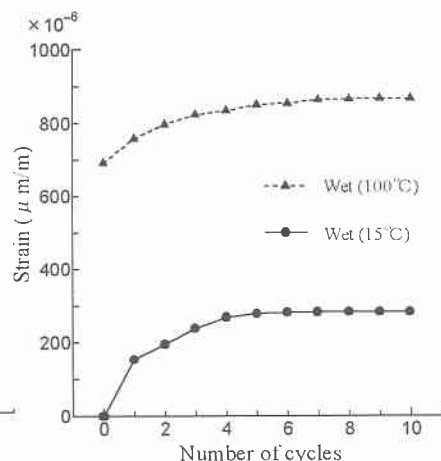


図2 花崗岩の残留ひずみ

がうかがえる。圧裂引張強度試験を行った結果についても同様の傾向がみられた。また、ひずみゲージより得られた破壊応力の30%付近の接線弾性係数およびポアソン比についても同様の傾向がみられた。

熱履歴に伴う残留ひずみを図2に示す。残留ひずみは熱履歴とともに増加するが無限に増大するものではなく、ある一定の値に収束していくことがうかがえる。

4. 空洞周辺の温度分布

本解析では新鮮な花崗岩の地山を想定し、土被り100mの位置に直径10mの単一円形空洞を設け熱水(100℃)を貯蔵した場合の空洞周辺岩盤の温度分布の経時変化を要素分割法³⁾を用いて求めた。本解析では以下に示す3通りの場合を想定した。Case 1: 熱水を貯蔵し、時間の経過に伴う温度変化を実用上無視できるいわゆる準定常状態になるまで求める。Case 2: Case 1の状態からメンテナンス作業等により1ヶ月間熱水の貯蔵を停止し空洞の表面温度は15℃と仮定し、再び熱水を貯蔵し準定常状態となるまで求める。この過程を9回繰り返した後に、熱水を1ヶ月間停止する。Case 3: Case 2の状態から再び熱水を貯蔵し準定常状態となるまで求める。

得られた結果を図3(a)～(c)に示す。時間の経過とともに温度分布は緩慢になっており、熱履歴を受けると温度の及ぶ範囲が広がっていることがうかがえる。

5. 応力分布

温度分布をもとに空洞周辺岩盤の応力分布を要素分割法により求めた。

得られた結果を図4(a)～(c)に示す。熱水を貯蔵すると周辺岩盤には空洞の接線方向および半径方向に圧縮応力が発生することがわかった。また、熱履歴を受けると花崗岩の圧縮強度は低下するが、

接線弾性係数および線膨張係数も減少するため、発生する熱応力が低下することがわかった。また、いずれの場合においても空洞は安定していることがわかった。

6. おわりに

岩石の強度、接線弾性計数およびポアソン比は熱履歴回数の増加に伴い低下するが、低下の割合は減少し、収束する傾向がみられた。また、ひずみの結果もそれを裏付ける傾向を示した。

解析の結果、花崗岩岩盤内の空洞に熱水を直接貯蔵した場合、空洞周辺岩盤には熱応力が生じ、接線方向および半径方向に圧縮応力が発生するが、熱履歴を受けても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: 岩盤工学, p.175, 1997
- 2) 山口梅太郎, 宮崎通雄: 日本鉱業会誌, Vol.86, No.986, p.347～348, 1970.
- 3) 前掲 1) p.182

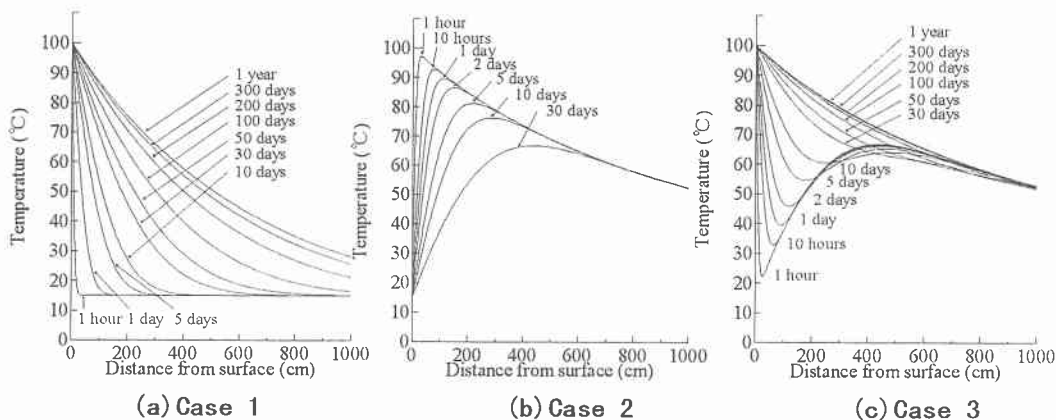


図3 花崗岩岩盤の温度分布の経時変化

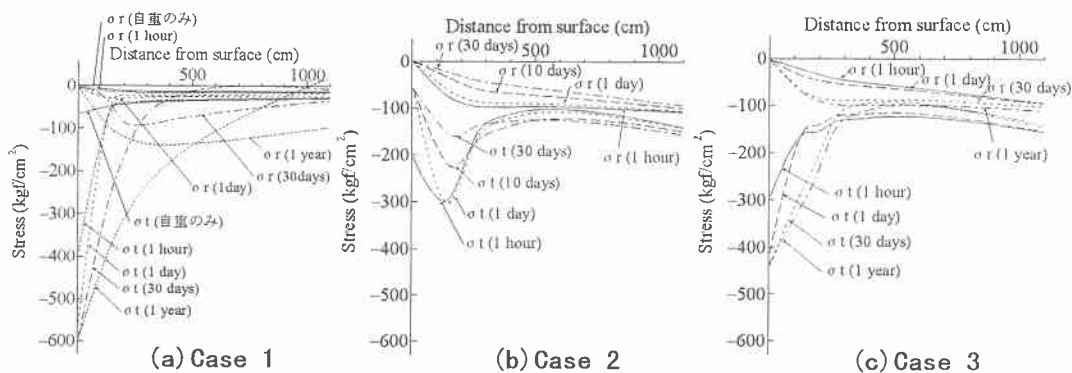


図4 花崗岩岩盤の応力分布の経時変化