

Ⅲ - B160

高温の影響を受ける岩盤内空洞の問題点と対策

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	学生員	松嶋 信行

1. はじめに

ゴミ焼却時に発生する廃熱を利用して、水を熱水に変え、安定した供給を行うために、一時的に地山岩盤内に設けた空洞に直接貯蔵することが考えられる。この場合、空洞周辺岩盤には熱膨張のため空洞の接線方向に圧縮応力が発生することがわかっており、空洞周辺岩盤に存在する潜在的な亀裂や、熱水の貯蔵量の変動により熱の影響を繰り返し受けるなどを考慮しなければならない。そのため、空洞の安定性を検討するには、高温の熱履歴を受けた岩石の強度・変形特性を明らかにする必要がある。また、熱水の漏出防止対策も問題となってくる。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強度・変形特性を実験により求め、その結果を考察した。次に、熱水の漏出防止対策としてウレタン樹脂を空洞表面にライニングした場合について、その効果を考察した結果について述べる。

2. 実験方法

実験に用いた岩石は空隙率の異なる2種類の岩石、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rift 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1週間自然乾燥させ、さらにデシケータ内で1週間乾燥させた。

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、真空ポンプで1時間脱気した。

以後①の状態のものを乾燥状態のDry、②の状態のものを湿潤状態のWetと呼ぶ。

熱サイクル試験装置を用いて、試料に 15°C (室温)から 100°C の温度履歴を与えた。まず、 15°C から熱衝撃の影響を受けないと考えられる範囲の $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 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サイクルとする。

試料に温度履歴を与えた後、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張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

岩石の圧縮強度を図1に示す。温度履歴の回数が増加するにつれてわずかながら強度が低下していることがわかる。これは温度履歴を受けた際に、岩石の構成鉱物粒子の膨張および収縮の変化量が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たためと考えられる。しかし、履歴回数が増加す

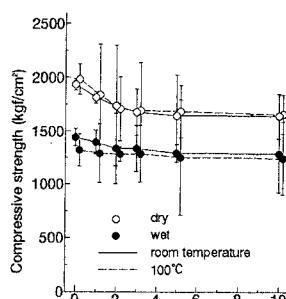


図1 花崗岩の圧縮強度

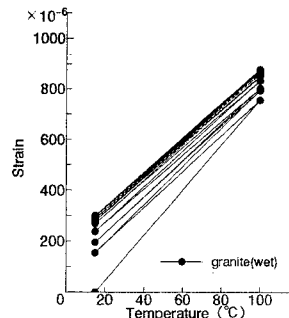


図2 花崗岩のひずみ

岩石、温度履歴、圧縮強度、空洞、漏出

〒790-77 松山市文京町3 愛媛大学工学部環境建設工学科 TEL 089-927-9815 Fax 089-927-9842

るのに伴って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がうかがえる。圧裂引張強度試験を行った結果からもこれと同様の傾向が得られた。また、接線弾性係数およびポアソン比についても、履歴回数の増加に伴い値が低下し、低下の割合は次第に減少し、収束していく傾向がうかがえた。

岩石のひずみを図2に示す。温度履歴を受けることにより残留ひずみがみられるが、履歴回数が増加しても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傾向がうかがえる。

4. 空洞周辺の温度分布

本解析で用いた試料は、ゴムの様に大きな弾性変形をなす性質を持つT社製のウレタン樹脂である。解析に用いた物性値は実験の結果、温度変化に関係なく実用上ほぼ一定とみなせるので、熱拡散率は $\kappa=0.45 \times 10^{-3}$ [cal/sec]，熱伝導率は $\lambda=0.8 \times 10^{-4}$ [cal/cm·sec·°C]とした。また、母岩となる花崗岩の熱拡散率は $\kappa=12.30 \times 10^{-3}$ [cal/sec]，熱伝導率は $\lambda=7.77 \times 10^{-3}$ [cal/cm·sec·°C]とした。本解析で用いたモデルは、土被り100mの新鮮な花崗岩岩盤内に表面に厚さ3cmのウレタン樹脂の層を含む仕上がり直径10mの単一円形空洞を設け、その岩盤内に熱水(100°C一定)を貯蔵した場合を想定した。その際の空洞周辺岩盤の温度分布の経時変化を要素分割法²⁾により貯蔵1年後まで求めた結果を図3に示す。比較のために、空洞周辺岩盤に層を設けない場合の温度分布も図中に示している。図より層を設けた場合の方が温度分布に遅れが見られる。これは、ウレタン樹脂の熱拡散率および熱伝導率が花崗岩に比べて小さいためにこのような結果になったものと考えられる。

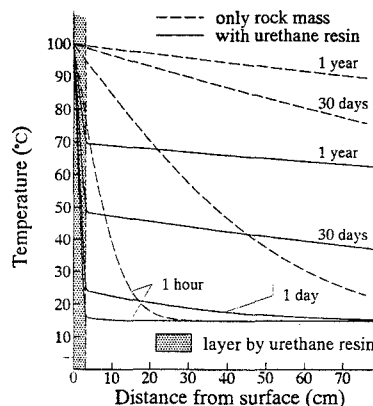
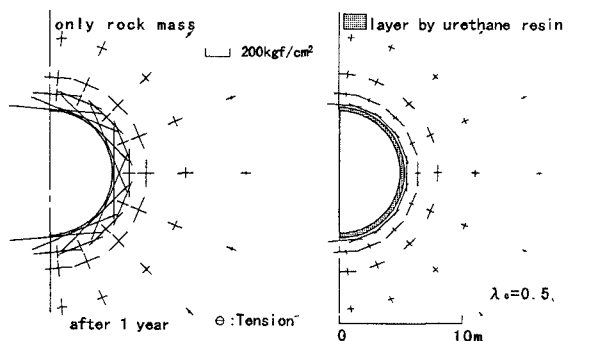


図3 空洞周辺の温度分布

分割法²⁾により貯蔵1年後まで求めた結果を図3に示す。比較のために、空洞周辺岩盤に層を設けない場合の温度分布も図中に示している。図より層を設けた場合の方が温度分布に遅れが見られる。これは、ウレタン樹脂の熱拡散率および熱伝導率が花崗岩に比べて小さいためにこのような結果になったものと考えられる。

5. 応力解析

本解析では、4で得られた温度分布により空洞周辺岩盤の安定性を有限要素法により解析し検討した。貯蔵1年後の応力状態を図4(a)、(b)に示す。いずれの場合も熱水の貯蔵開始直後から空洞表面付近の岩盤には空洞の接線方向に大きな圧縮応力が発生しているものの、ウレタン樹脂の層を設けることにより熱応力が緩和されていることがわかった。ウレタン樹脂の層を設けた場合について安定性を検討した結果、層は熱膨張するものの破壊に至るような応力は発生せず安定していることもわかった。



(a) 岩盤のみの場合

(b) ウレタン樹脂をライニングした場合

図4 貯蔵1年後の温度分布

6. おわりに

岩石の強度は履歴回数の増加に伴い低下し、強度が低下する割合は次第に減少し、収束する傾向がうかがえた。また、ひずみの結果もそれらを裏付ける傾向を示した。また、ウレタン樹脂をライニングした場合には漏出防止の効果が得られることがわかった。

なお、本研究を遂行するにあたり、ウレタン樹脂を提供して頂いた東急建設(株) 西岡 哲氏、越智健三氏にここでお礼申し上げておきたい。

参考文献

- 1) 山口梅太郎, 宮崎道雄, : 日本鉱業会誌, 第86巻, 第986号, 347~348頁, 1970.
- 2) 稲田善紀, 重信純 : 日本鉱業会誌, 第99巻, 第1141号, 179~185頁, 1983.