

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

木下直樹

愛媛大学大学院

学生員

○高倉正樹

(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膨大な廃熱を利用して水を熱水に変え、それを多目的に利用する際、使用量の変動に影響を受けることなく安定供給を行うため、地山岩盤内に空洞を設け、熱水を一時貯蔵する方法を提案している¹⁾。この場合、空洞周辺岩盤が貯蔵量の変動による高温の履歴を受けることから、空洞の安定性が問題となる。本研究では、熱サイクル試験装置を用いて、岩石に高温の熱履歴を与え、室温下および高温下において強度・変形特性を求めた。次にその値を用い、貯蔵施設を想定して解析を行い、熱水貯蔵時の空洞周辺岩盤の挙動について考察する。

2. 実験方法

実験に用いた岩石は、2種類の花崗岩、安山岩、砂岩および凝灰岩である。一軸圧縮試験用には $\phi 3 \times 6\text{cm}$ 、圧裂引張試験用には $\phi 3 \times 3\text{cm}$ に供試体を成形し、以下に示す2種類の含水状態のものを用いた。

① 室内で1週間以上乾燥させ、さらに1週間デシケータ内で乾燥させた。

② 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。

以後、①の状態のものを”Dry”，②の状態のものを”Wet”と呼ぶことにする。

試料には、熱サイクル試験装置を用いて常温(15℃)から高温(100℃)の熱履歴を与えた。1サイクルは、15℃の状態から1℃/minで昇温して100℃で1時間保温した後、1℃/minで降温して15℃で1時間保温するものとした。その後、熱履歴を与えた試料を用いて、一軸圧縮試験と圧裂引張試験を行った。圧縮試験の際、試料にひずみゲージを貼り、縦および横ひずみも同時に測定した。

3. 実験結果および考察

熱履歴を受けた各岩石の圧縮強度を図1に示す。花崗岩および凝灰岩では、熱履歴回数の増加に伴い、圧縮強度が低下した。これは、岩石の構成鉱物粒子の熱による膨張および収縮量の差異により、潜在的マイクロクラックが助長し、拡大したこと、新たにマイクロクラックが発生したことが考えられる。安山岩および砂岩では、大きくは低下しなかった。引張強度および接線弾性係数についても、同様の結果が得られた。しかし、ポアソン比については、熱履歴の影響をあまり受けないと考えられる。

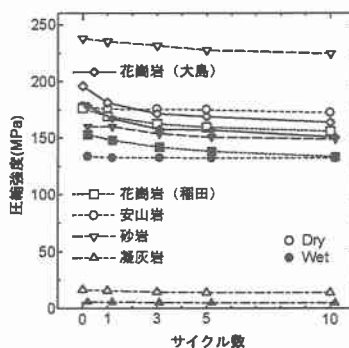


図1 熱履歴を受けた
各岩石の圧縮強度

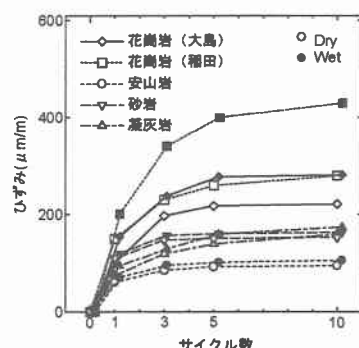
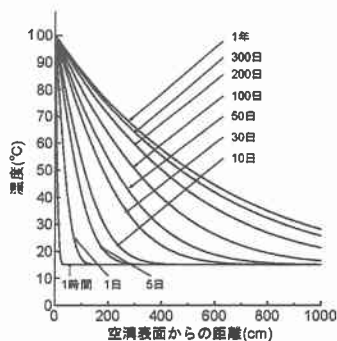


図2 熱履歴を受けた
各岩石の残留ひずみ

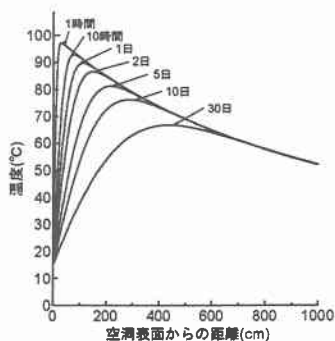
熱履歴を受け、常温に戻ったときのひずみ量を図2に示す。各岩石とも、履歴回数に伴い増加するが、増加割合は減少していった。また、P波伝播速度は、履歴回数に伴い低下するが、徐々に低下量が減少する結果となった。これらのことは、各岩石ともこの熱履歴幅において、マイクロクラックは助長、拡大および発生するが、履歴幅が同じであるため、無限には増加しないことを示しており、強度および接線弾性係数の履歴回数に伴う低下量の減少を、裏付けていると考えられる。

4. 空洞周辺の温度分布

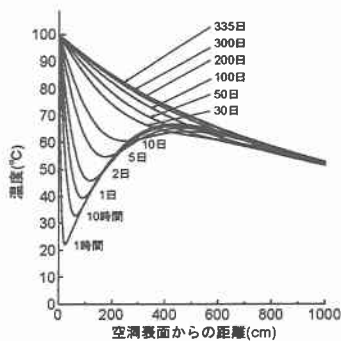
地山岩盤内に土被り100mで、直径10mの円形空洞を想定し、次の3通りの解析を行った。Case 1は、初期温度15℃の地山に100℃の熱水を1年間貯蔵した場合。



(a)Case 1



(b)Case 2



(c)Case 3

図3 花崗岩(大島)の空洞周辺岩盤の温度分布の経時変

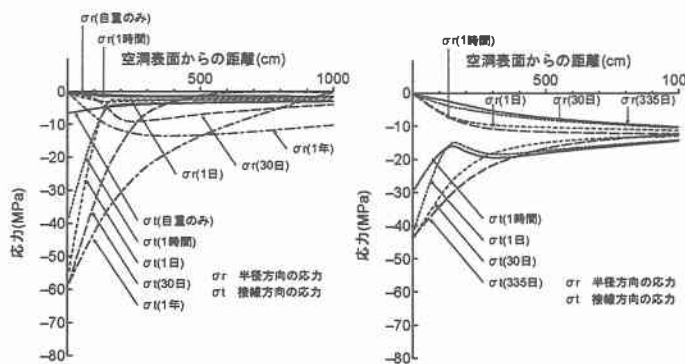
Case 2は、Case 1の後、1ヶ月間貯蔵を停止し、再び11ヶ月間貯蔵するのを9回繰り返した後に、1ヶ月間停止した場合。Case 3は、Case 2の後、再び11ヶ月間貯蔵した場合とした。

得られた結果を図3に示す。温度分布は、各岩石とも同じ傾向となった。Case 1では、時間の経過に伴い温度勾配は緩やかになり、Case 2, Case3では、花崗岩で約7m、安山岩および砂岩で約5m、凝灰岩で約4mの距離まで熱履歴の影響を受けることがわかった。

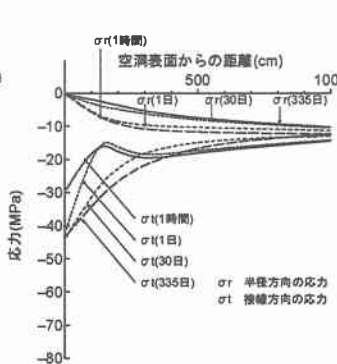
5. 空洞周辺の応力分布

得られた結果を図4および図5に示す。花崗岩(大島)では、Case 1の場合、熱水貯蔵直後から熱膨張により岩盤は空洞内部に張り出し、接線方向に圧縮応力が発生したものと考えられる。しかし、空洞の収縮が限界に達すると、逆に地山内部に張り出そうとする結果、半径方向にも圧縮応力が発生したものと考えられる。またCase 3では、再び空洞表面付近の熱応力が増大するが、熱履歴を受けたことにより、発生する応力が減少している。これは、熱履歴を受けると接線弾性係数が低下することに起因しているものと考えられる。結果として、空洞は安定していた。花崗岩(稲田)、安山岩および砂岩も、同様に安定していた。

凝灰岩は、他の岩石と比較して接線弾性係数が小さいため、発生する熱応力も小さく、経時変化も小さい。また、強度が小さいため、貯蔵1日後に空洞水平軸付近でせん断破壊が起こった。Case 2およびCase 3では、せん断破壊が進行した。

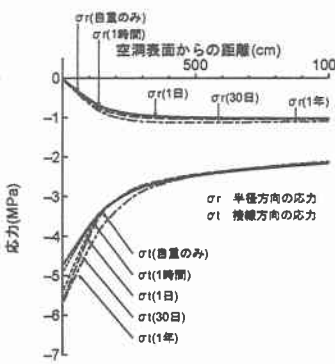


(a)Case 1

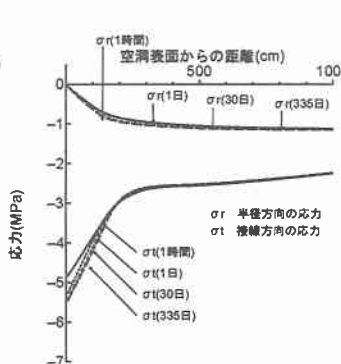


(b)Case 3

図4 花崗岩(大島)の空洞周辺岩盤の
応力分布の経時変化



(a)Case 1



(b)Case 3

図5 凝灰岩の空洞周辺岩盤の
応力分布の経時変化

6. おわりに

花崗岩、安山岩および砂岩の各岩盤内に熱水を貯蔵した場合、空洞周辺岩盤が熱履歴を受け、空洞の接線方向に大きな圧縮応力が発生するものの、空洞は安定していた。凝灰岩においては、貯蔵1日後、空洞水平軸付近がせん断破壊することがわかった。

参考文献

1) 稲田善紀著：岩盤工学，p.175～177，森北出版，1997。