

高温の履歴を受けた岩石の力学的特性

PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS AFFECTED BY THERMAL HYSTERESIS OF HIGH TEMPERATURES

稲田善紀*・木下尚樹**・高田元夫***・山田公雄****

Yoshinori INADA, Naoki KINOSHITA, Motoo TAKATA & Kimio YAMADA

When discussing temporary storage of heated water in openings excavated in rock mountains, it is necessary to obtain strength and deformation characteristics of rocks affected by thermal hysteresis of high temperatures to consider the thermal behavior of rock mass around openings. In this study, strength and deformation characteristics of some types of rocks were examined after undergoing thermal hysteresis of high temperatures. The effects of the amount of thermal hysteresis, atmospheric temperature, etc. on strength and deformation characteristics of rocks were discussed.

Key Words : strength and deformation characteristics, thermal hysteresis, high temperature

1. 緒 言

ゴミ焼却等の廃熱を利用して水を熱水に変え、地域暖房、給湯、農業等多目的に利用する場合、安定供給のための一時的な貯蔵方法として、筆者らはこれまで、地山岩盤内に設けた空洞に直接貯蔵することを提案し、検討を行ってきた¹⁾。この場合、空洞周辺岩盤は高温の影響を繰り返し受けることとなるため、空洞の安定性を検討するためには高温の履歴を受けた岩石の力学的特性を把握しておく必要がある。

本研究では数種類の岩石試料を用い、室温から100℃の範囲での履歴温度幅、履歴回数、雰囲気温度等の温度条件や岩石の種類、含水状態等の物理的性質が力学的特性に及ぼす影響について考察した。また、履歴に伴うひずみ、弾性波伝播速度の測定結果からも高温の履歴の影響を考察した。

2. 実験方法

2.1 実験に用いた供試体

実験に用いた岩石は愛媛県産の花崗岩(通称大島みかげ)、茨城県産の花崗岩(通称稲田花崗岩)および愛媛県産の安山岩(通称久万石)である。花崗岩については、岩石ブロックの弾性波伝播速度を測定することにより、潜在的亀裂面を推定し、hardway planeに垂直となる方向にコアドリルで試料を採取した。安山岩については弾性波伝播速度の異方性はほとんどなかったが、最も弾性波伝播速度が速い面に対して、平行となる方向にコアを採取した。試料は一軸圧縮強度試験用には $\phi 3 \times 6$ cm、圧裂引張試験用には $\phi 3 \times 3$ cm

* フェロー会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科

*** 東興建設(株) 常務取締役

**** 正会員 (株)芙蓉調査設計事務所 地質部次長

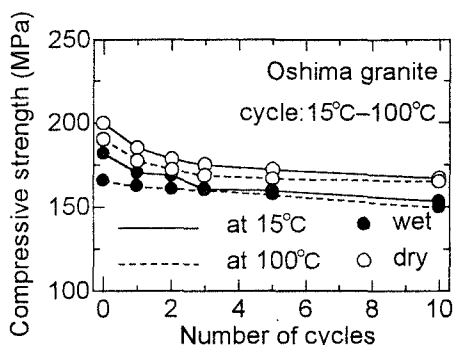


図-1 履歴回数と圧縮強度の関係
(大島花崗岩: 15°C-100°C)

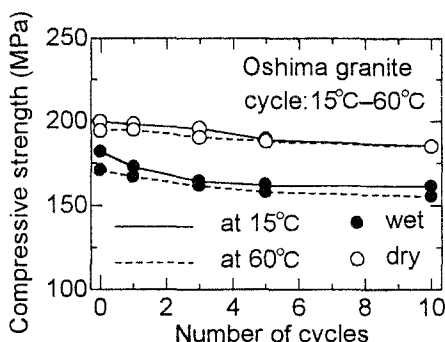


図-2 履歴回数と圧縮強度の関係
(大島花崗岩: 15°C-60°C)

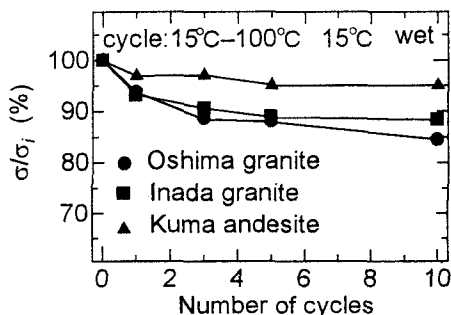


図-3 温度履歴に伴う圧縮強度の変化

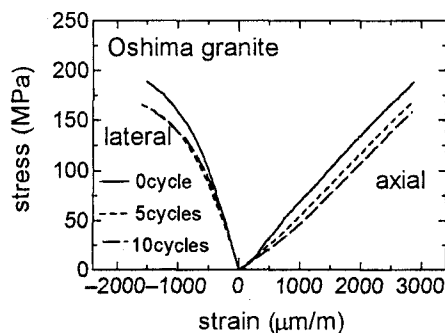


図-4 大島花崗岩の応力-ひずみ関係

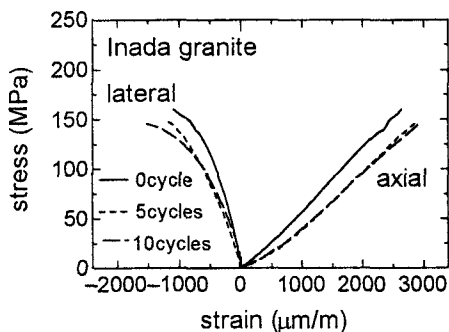


図-5 稲田花崗岩の応力-ひずみ関係

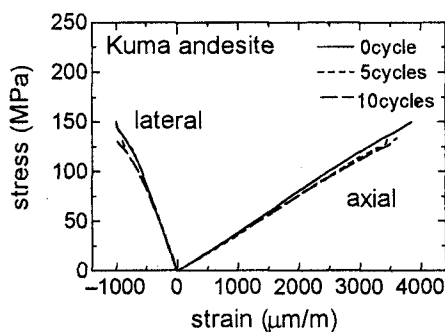


図-6 久万安山岩の応力-ひずみ関係

安山岩は強度低下の割合が小さいことがわかる。

次にwetの試料における室温下の圧縮強度試験時に得られた各岩石の応力-ひずみ曲線から、代表的なものをとりまとめたものを図-4～図-6に示す。花崗岩では温度履歴回数の増加に伴い、同一応力におけるひずみは増加しているが、安山岩では変化は小さいことがわかる。

この応力-ひずみ曲線から破壊応力の30%付近の接線弾性係数を求め、とりまとめたものが図-7および図-8である。いずれの場合においても温度履歴回数が増加するのに伴い接線弾性係数の値が低下し、収束する傾向がうかがえる。また、前述の圧縮強度比と同様に接線弾性係数比(E/E_i)を図-9に示す。花崗岩に比べ安山岩では変化は小さい。

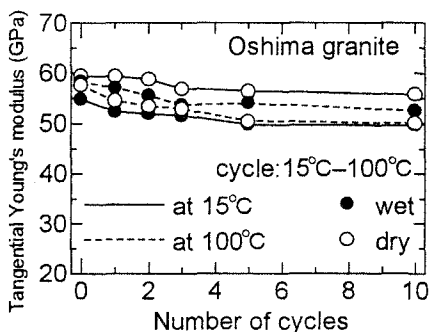


図-7 履歴回数と接線弾性係数の関係 (大島花崗岩: 15°C-100°C)

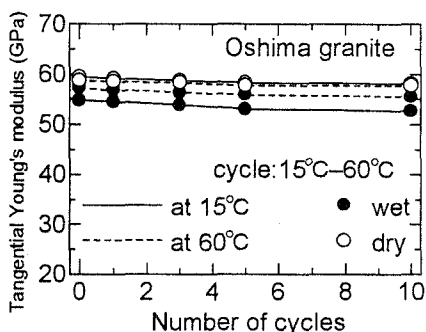


図-8 履歴回数と接線弾性係数の関係 (大島花崗岩: 15°C-60°C)

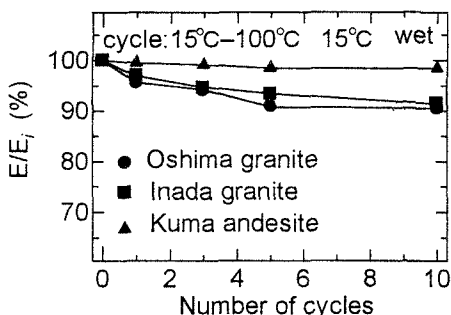


図-9 温度履歴に伴う接線弾性係数の変化

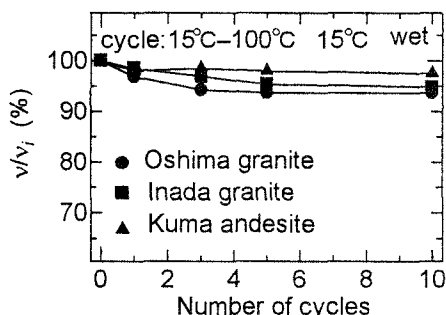


図-10 温度履歴に伴うポアソン比の変化

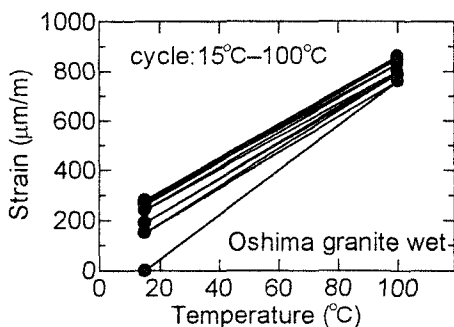


図-11 大島花崗岩の温度履歴に伴うひずみ

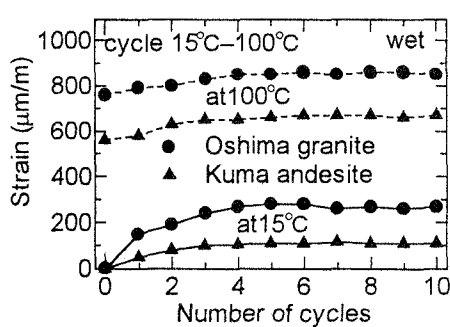


図-12 温度履歴に伴う残留ひずみ

次に破壊応力の30%付近のポアソン比を求めた結果をとりまとめたものが図-10である。温度履歴回数が増加するのに伴い、ポアソン比は低下しているが、安山岩では変化が小さいことがわかる。

3.2 考察

前述の実験結果から温度履歴を受ける岩石の強度・変形特性は、温度履歴に伴う試料の膨張、収縮の繰り返しによって発生するマイクロクラックの影響を大きく受けているものと考えられる。このことは温度の履歴に伴うひずみにも影響を与えるものと考えられる。そこで石英ガラス棒による比較法³⁾により、温度履歴に伴う試料のひずみを測定した。代表例としてwetの花崗岩に高温の温度履歴を与えた場合の結果を図

図-11に示す。雰囲気温度が上昇するのに伴い、ひずみはほぼ直線的に増大しており、降下すると小さくなるが、温度履歴を受け室温に戻した場合には元のひずみの値にはならず、いわゆる残留ひずみがみられる。この場合の残留ひずみを図-12に示した。温度履歴回数が増加するのに伴い残留ひずみは無限に増大するのではなく一定値に収束することがうかがえる。また、前述の圧縮強度比や弾性係数比と同様に弾性波伝播速度比(V_p/V_{pi})を図-13に示した。この結果からもマイクロクラックの増加が推察される。

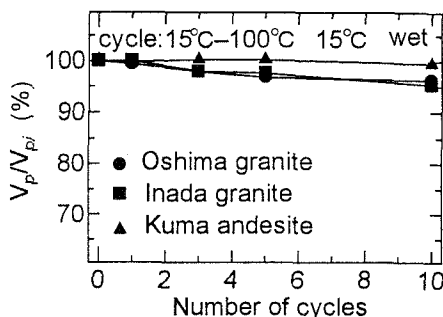


図-13 温度履歴に伴う弾性波伝播速度の変化

以上の結果から、岩石が温度履歴を受けると強度、弾性係数、ポアソン比が低下するのは、岩石の構成鉱物粒子が温度履歴を受けた際、それぞれの膨張、収縮量が異なり、鉱物粒子内および粒子間のマイクロクラックが拡大、増加したためと考えられる。温度履歴回数が増加するのに伴い、強度、弾性係数、ポアソン比の低下の割合が減少し、収束する傾向がみられたのは、ひずみや弾性波伝播速度の測定結果からも裏付けられるように、温度履歴により発生したマイクロクラックは、温度を室温に戻しても完全には元に戻らないが、履歴の温度幅が一定であるために構成鉱物粒子の膨張、収縮量が履歴の回数に関わらず一定しており、発生するマイクロクラックもある一定以上にはならないためと考えられる。また、花崗岩に比べ、安山岩では温度履歴に伴う変化が小さいが、これについては、一般に安山岩では石基の部分が粘土鉱物を含んだり、ガラス質である場合には、加熱により焼成が生じ、粒子間の結合力が強くなることが知られており⁹⁾、温度履歴を受けても、鉱物粒子間の膨張量の違いによるマイクロクラックは発生しにくいことが、要因となったものと考えられる。

4. 結 言

本研究で得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 岩石の強度、弾性係数およびポアソン比は温度履歴回数が増加するのに伴い小さくなる。しかし、強度の減少の割合は温度履歴回数が増加するのに伴い小さくなり、ある値へ収束する傾向がうかがえる。
- (2) 温度履歴に伴う試料のひずみを測定した結果、温度履歴を受け室温に戻した場合には元のひずみの値にはならず、残留ひずみがみられた。しかし、温度履歴回数が増加するのに伴い残留ひずみは無限に増大するのではなく一定値に収束することがうかがえる。
- (3) 温度履歴を受けると岩石の弾性波伝播速度は低下するが、温度履歴回数が増加するのに伴い弾性波伝播速度の低下の割合は減少し、ある一定値に収束する傾向がみられた。

参考文献

- 1) 例えば 稲田善紀・木下尚樹 他：熱水貯蔵時の空洞の安定性と漏水に関する基礎的研究，土木学会論文集，424/Ⅲ-14, pp.227-234, 1990.
- 2) 山口梅太郎 他：熱による岩石の変化あるいは破壊について，日本鉱業会誌，86, 986, pp.347-348, 1970.
- 3) 稲田善紀 他：岩石の線膨張係数について，水曜会誌，17, 5, pp.200-203, 1971.
- 4) 例えば 外尾善次郎，高島啓行：高温における岩石の強度に関する研究（第1報），日本鉱業会誌，84, pp.1071-1076, 1968.