

高温および低温が岩石の強度・変形特性に及ぼす影響

愛媛大学工学部

正会員 稲田善紀

(株)四電技術コンサルタント

正会員 ○国土新彦

1 はじめに

我が国のように国土が狭く土地の立体的有効利用が望まれる国では、地下空間の利用が注目されてきている。地下空間の利用のなかで、エネルギー物質貯蔵のように熱とのかかわりをもつ技術には未知の部分が多い。本研究では基礎となる高温および低温下における岩石の強度および変形特性を実験によって求めた結果について述べる。

2 実験に使用した岩石および供試体

本実験で使用した岩石は、花崗岩、安山岩、砂岩および凝灰岩である。なお、岩石の異方性を弾性波伝播速度を測定することによって調べた結果、異方性は花崗岩のみにみられた。供試体は同一ブロックにおいて同一方向（花崗岩は石の目に垂直）に採取した。花崗岩、安山岩、凝灰岩は $\phi 2.4 \times 4.8$ cm, 砂岩は $\phi 1.8 \times 3.6$ cmの円柱供試体とした。成形された供試体はD r y 供試体(飽和度約18%)とW e t 供試体(飽和度約98%)とに処理して使用した。

3 実験方法および制御方法

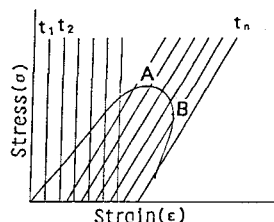
本実験では、熱衝撃による破壊を避けるために $1^\circ\text{C}/\text{min}$ で昇温または冷却し、所要の温度に達した後も90分の保温を行い、実験中も所要の温度を保った。なお、室温(25°C)、 50°C 、 100°C 、 0°C 、 -50°C 、 -100°C 、 -160°C において実験を行った。

Class II の岩石を従来のように歪速度一定のもとで試験すると図1のB点以降では式(1)で決定される縦線と応力-歪曲線とが交わらなくなり、post failure領域での応力-歪曲線は求められなくなる。この場合には定数 E' を適当に選び、式(2)に示す命令を試験機に与えることによって斜線と応力-歪曲線とはB点以降も交わり制御可能となる。

$$\varepsilon = c \cdot t \quad (1)$$

$$\varepsilon - \sigma/E' = c \cdot t \quad (2)$$

ただし、 ε : 歪, c : 歪速度, t : 時間
 σ : 応力, E' : 制御の傾き



4 高温下における実験結果および考察

図1 Class II の応力-歪曲線と制御方法

図2 (a)~(e)は実験により得られた応力-歪曲線の代表例を示している。

D r y の 50°C および 100°C では圧縮強度の低下はほとんどみられない。これは潜在的マイクロクラックの拡大が圧縮下ではあまり敏感に強度の低下としてあらわれなかったものと思われる。W e t においては圧縮強度が著しく低下している。これは供試体表面から浸入した間隙水が試験時に水圧として働き、強度低下を生じさせたものと思われる。

いずれの岩石も温度の上昇にともなってピーク時の歪が大きくなっている。これは構成鉱物粒子の熱膨張量の差によって粒子間にマイクロクラックが発生したことによるものが多いと思われる。また、高温になるほどその発生量が増加するためにピーク時の歪が大きくなるものと考えられる。

常温から 100°C の間ではpost failure領域における応力-歪曲線の傾きは温度の上昇にともなって Class I の岩石では勾配がゆるやかになり、Class II の岩石ではもどりが小さくなることがわかった。傾きに高温下でこのような傾向がみられるのは、温度の上昇によって岩石内にマイクロクラックが増えたことと組織が疎になったことによって降伏点を越えてから荷重を除去していても、一旦亀裂が生じた後は小さい荷重で亀裂が進展しやすくなっていることに起因しているものと思われる。

5 低温下における実験結果および考察

図2 (a)~(e)は実験により得られた応力-歪曲線の代表例を示している。

いずれの岩石も温度の低下とともに著しく強度が上昇していることがわかる。これは温度低下によって構成鉱物粒子が収縮し、全体として強度が上昇したものと考えられる。また、Wetの圧縮強度の増加の割合がDryより大きいのは、間隙中に含まれる水が0℃以下で氷となり、温度低下とともに氷そのものの強度が上昇し、氷の膠結物質としての役割が大きくなっていくことによるものと思われる。

岩石のピーク時の歪は温度低下とともに、凝灰岩のWet以外はいずれも小さくなっている。これは、温度の低下によって構成鉱物粒子が収縮したことにより、組織がより密になり、硬化し、脆性化することによるものと思われる。また、凝灰岩のWetだけ逆の結果になるのは、他の岩石よりはるかに空隙率が大きいため、含水比も大きく、氷の低温下での強度上昇が大きく関与しているものと思われる。

0℃から-160℃の間では岩石のpost failure領域における応力-歪曲線の傾きは温度の降下にもなっておりClass Iの岩石では勾配が急になり、Class IIの岩石ではもどりが大きくなることがわかった。傾きに低温下でこのような傾向がみられるのは、温度の降下にもなっており鉱物粒子の収縮量の差によって岩石内のマイクロクラックは増加するが組織は逆に密になることによって降伏点を越えてから荷重を除去していても亀裂が生じにくくなっていることに起因しているものと思われる。

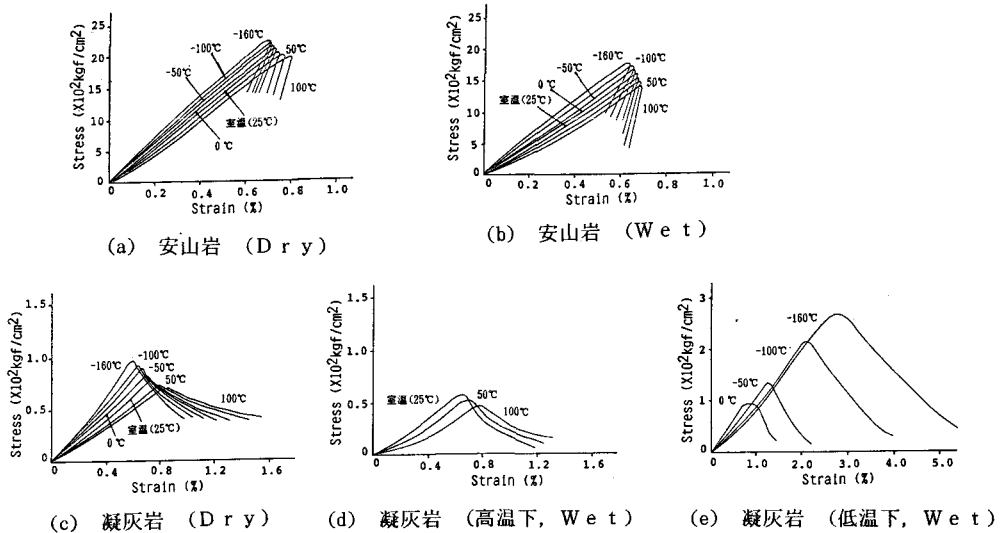


図2 岩石の応力-歪曲線

6 おわりに

本研究で得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1)花崗岩, 安山岩, 砂岩および凝灰岩は, DryおよびWetともに高温下では温度の上昇とともに強度は低下するがピーク時の歪は大きくなり, post failure領域における応力-歪曲線の傾きはClass Iの岩石では勾配がゆるやかになり, Class IIの岩石ではもどりが小さくなることがわかった。
- (2)花崗岩, 安山岩, 砂岩および凝灰岩は, 低温下では温度の低下とともに凝灰岩Wet以外はすべて強度は上昇するがピーク時の歪は減少し, post failure領域における応力-歪曲線の傾きはClass Iの岩石では勾配が急になり, Class IIの岩石ではもどりが大きくなることがわかった。また, 凝灰岩のWetは温度の低下とともに強度は上昇しピーク時の歪も増加し, post failure領域における応力-歪曲線の傾きも勾配がゆるやかになることがわかった。