

極低温下における岩石の強度特性

愛媛大学工学部 (正会員) 八木則男
愛媛大学工学部 (正会員) ○稲田善紀
大豊建設(株) 西田敬憲
備前開発(株) 飯田英喜

1. 緒言

液化天然ガスを地下岩盤内空洞に安全に貯蔵する場合、低温が岩石の強度に及ぼす影響を知る必要がある。低温の影響を受けた岩石の常温における力学特性についてはすでに報告したが¹⁾、今回は極低温下における岩石の強度特性を実験によって求め、また顕微鏡によって組織の変化を観察した結果を述べる。

2. 低温下における岩石の強度変化

2.1 実験材料および実験方法

本実験に使用した岩石は、花崗岩(愛媛県越智郡大島産および松山市伊予台産)および安山岩(愛媛県上浮穴郡久万町産)である。供試体は圧縮試験用のものは直径3cm、長さ6cmに、また引張試験用のものは圧縮試験で代用したので直径3cm、長さ3cmに成形した。成形された試料は低温槽内で冷却されたまま実験に供されるが、実験に先立ち、室内で自然乾燥させたものをデシケーター内でさらに3日間放置したもの、およびこの乾燥状態の試料を真空状態にした後蒸留水に浸し、さらに真空を併用しながら24時間脱気したものの2種類を用意した。ここでは前者をDry、後者をWetと呼ぶことにする。

2.2 実験結果および考察

図1および図2は温度による圧縮強度および引張強度の変化を示している。これらの値はいずれも試料5~6個の平均であり、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。このことは、温度低下によって鉱物粒子は収縮して、鉱物粒子そのものの強度は常温のそれよりも強くなってゆくものと思われる。一方、間隙中に含まれる水は温度低下とともにわずかながら体積が膨張してゆくが、水そのものの強度も上昇してゆくので、一般的には岩石の強度は温度低下とともに上昇するものと思われる。さて、圧縮強度については、DryよりもWetの方が強度が低い。吸水による強度低下の原因は、後述の顕微鏡観察からも認められるようにマイクロクラックの増加及び拡大によるものと思われる。この拡大の原因は試料に水潤させ、水が間隙を埋める際に生じたものと思われる。このような状態で圧縮試験を行うとDryよりもWetの方がマイクロクラックの数がふえ、さらに湿潤状態では常温において圧縮試験の際に間隙水圧が発生するために強度としてはDryよりもWetの方が低くなるものと思われる。一方、0℃以下では引張強度においてある温度以下

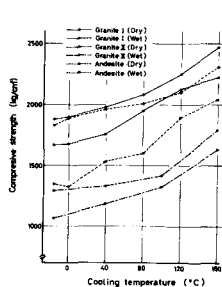


図1 低温下における圧縮強度の変化

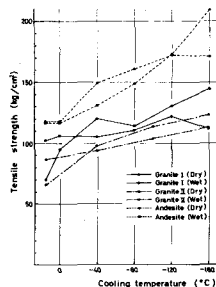


図2 低温下における引張強度の変化

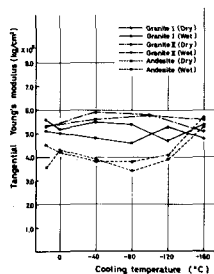


図3 低温下における接線弾性係数の変化

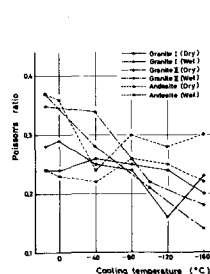


図4 低温下におけるポアソン比の変化

ではWetの方が強くなっている。これは間隙中の水は氷となり温度の低下とともに氷の強度も上昇してゆくが、氷の圧縮強度は岩石のそれと比して非常に小さく、引張強度は岩石のそれと比して近いため、氷の膠結物質としての効果は岩石の引張強度に大きく影響すると思われる。

次に圧縮強度試験における応力-ひずみ曲線から接線弾性係数およびポアソン比を求め、図示したものが図3および図4である。ただしこれらは破壊応力の30%附近のものである。温度低下とともに接線弾性係数はほとんど変化しないことがうかがえる。一方、ポアソン比の方はやや低下してゆく傾向がある。これは冷却温度とともに鉱物粒子の収縮による隣接鉱物粒子間のマイクロクラックの増加から説明される。後述の顕微鏡観察結果からも温度が低いほどマイクロクラックも大きい。従って圧縮試験の際には軸方向にまずクラックを開鎖させるためたてひずみがよこひずみよりも大きく、ポアソン比としては低下してゆくものと思われる。

3. 低温の影響を受けた岩石の組織の変化

2.1 で述べた試料より顕微鏡用薄片を作製し、偏光顕微鏡にて観察したがそれらの結果のうち花崗岩（大島みかげ）および安山岩についてそれぞれDryおよびWetの観察結果を図5～図8に示した。常温においては

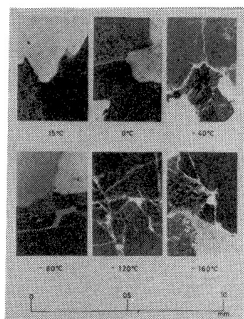


図5 各温度における花崗岩の組織の変化(Dry)

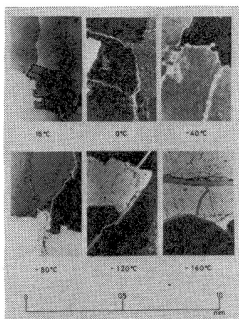


図6 各温度における花崗岩の組織の変化(Wet)

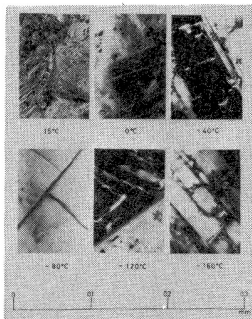


図7 各温度における安山岩の組織の変化(Dry)

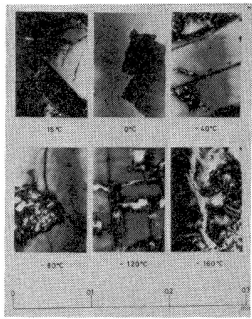


図8 各温度における安山岩の組織の変化(Wet)

いずれもDryよりもWetの方のマイクロクラックが大きい。このことは前述のようにWetに処理する段階でできたものであると思われる。また全体として温度低下とともにマイクロクラックが成長していることがうかがえる。また、それぞれの温度において、DryよりもWetの方がマイクロクラックが大きい。このことは鉱物粒子の収縮および膨張量の差異によるクラックのほか、氷の温度低下による体積膨張によるマイクロクラックの助長によるものと考えられる。以上のことは前述の強度変化を裏付けているものと考えられる。

4. 結 言

温度の低下によって岩石の鉱物粒子は収縮し、見かけ上強度は上昇するが、常温にもどすことによって強度は低下する。従って空洞の安全設計の面からは低下した強度を十分考慮に入れる必要があると思われる。なお本研究は昭和54年度科学研究費補助金の援助を受けたことをここに記す。

参 考 文 献

- 1) 稲田善紀, 八木則男: 低温の影響を受けた岩石の力学特性; 「材料」, 才28巻, 才313号, 昭和54年10月
- 2) T.R. Butkovich: Ultimate strength of Ice; Research Paper 11, Corps of engineers, U.S. Army, December, 1954