

低温の影響を受けた岩石の強度特性

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
愛媛大学大学院 (学生会員) 〇重信 純
飛鳥建設(株) (正会員) 中矢裕二
竹中土木(株) 松本好博

1. 緒言

液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵する場合、岩盤の強度特性は低温・常温の繰り返しの影響を受けるであろう。極低温下における岩石の強度特性についてはすでに報告したが⁹⁾、今回は岩石の供試体を水潤状態にし、これが低温の影響を受けた場合の強度特性を求めた結果について報告する。

2. 低温の影響を受けた岩石の強度変化

2.1 実験試料および実験方法

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裂試験で代用したので直径3cm長さ3cmに成形した。成形された供試体を真空状態にした後蒸溜水に浸し、さらに真空を併用しながら24時間抜気した。ここではこの状態のものをWetと呼ぶことにする。水潤処理された試料は低温炉内で冷却処理されるが冷却した温度は常温、0℃、-40℃、-80℃、-120℃、-160℃の6段階とした。その後炉から供試体を取り出し空気中で常温まで戻したものをサイクル1とし、その過程を3回繰り返したものをサイクル3とする。また、Wetの岩石試料と比較するために、試料を室内で1週間、デシケーター内でさらに3日間乾燥させたものをDryと呼ぶことにする。なお本実験は常温で行うこととした。

2.2 実験結果および考察

図1および図2は低温の影響を受けたWetの岩石の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供試体8~10個の平均である。安山岩においては冷却温度の低下とともに強度もやや低下し、1回熱処理された供試体よりも3回繰り返されたもののほうがさらに強度が低下する。さて、安山岩において温度低下はまず0℃で見られる。これは今回Wet状態にしたため岩石内部に含まれる水の凍結の影響を多分に受けながらクラックが進展していくことによるものと思われる。また、0℃以下は温度低下につれて氷は収縮するので氷の影響はないと思われるが、実際0℃以下でもわずかながら強度低下の傾向が見られる。これは、氷の線膨張係数と鉱物粒子のそれとを比べると前者の方が数倍大きい、クラック内部にできている氷の大きさと鉱物粒子の大きさを比べた場合、クラック内部にできている氷の大きさを鉱物粒子の大きさに比べ数百分の1で非常に小さい。

このことから温度低下による氷の収縮変位量よりも鉱物粒子の収縮変位量の方が充分大きいと考えられる。したがって氷が鉱物粒子の収縮を妨げる形となり、鉱物粒子間の弱い部分に応力が集中し、さらにクラックの助長が

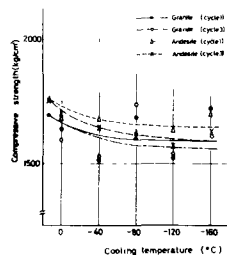


図1. 低温の影響を受けたWetの岩石の圧縮強度の変化

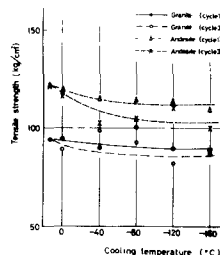


図2. 低温の影響を受けたWetの岩石の引張強度の変化

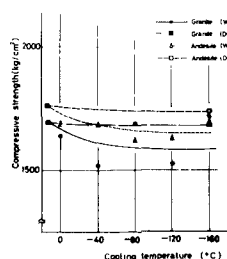


図3. 低温の影響を受けたDryの岩石の圧縮強度の変化

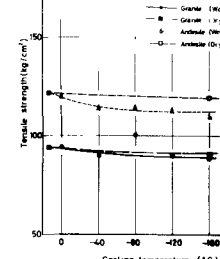


図4. 低温の影響を受けたDryの岩石の引張強度の変化

行われるため温度の低下によって強度は0℃以下でも低下の傾向を示すものと思われる。また、0℃以下で強度低下の割合が小さくなる理由については岩石のひずみの温度依存性を調べた実験結果から鉱物粒子の収縮変位量の割合は温度の低下とともに次第に減少していくことによるものと思われる。また、花崗岩においてはあまり強度の変化は見られないことから花崗岩よりも安山岩の方が割合的には温度低下によってより多くのマイクロクラックの発生が内部に起っているものと推察される。

図3および図4は低温の影響を受けたDryの岩石の圧縮強度および引張強度の変化を示している。いずれにおいてもWetのものに比べ、温度依存性が非常に小さいことがわかる。

次に圧縮強度試験における応力・ひずみ曲線から誘導弾性係数およびポアソン比を求め、図示したものが図5および図6である。図5は初期の応力状態における弾性係数の値を示しており、安山岩の方が花崗岩より温度の低下とともに弾性係数の低下の割合が大きい。この理由については前述のとおりである。また、図6は破壊応力の30%付近のポアソン比を示したものである。弾性係数の場合と同様、安山岩の方が花崗岩よりも温度の低下とともにポアソン比の低下の割合が大きい。なお、低温下においてマイクロクラックがどのように進展するかを顕微鏡によって観察したものが図7である。一度発生したクラックは常温に戻しても元に戻ることはないから、低温の影響を受けると岩石の強度は低下することが説明される。

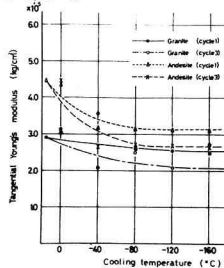


図5. 低温の影響を受けたWetの岩石の誘導弾性係数の変化 (初期応力状態)

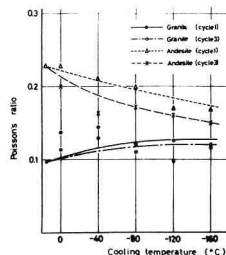


図6. 低温の影響を受けたWetの岩石のポアソン比の変化 (破壊応力の30%付近)

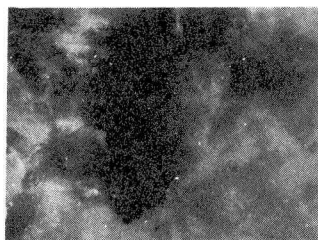


図7. 室温(花崗岩) 0 0.5 1.0 mm -162°C(花崗岩) 0 0.5 1.0 mm

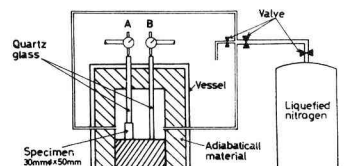


図8. 岩石の線膨張係数の測定装置の概略

3. 低温下における岩石の線膨張係数の変化

図8のような装置で低温下における岩石のひずみおよび線膨張係数を求め、図示したものが図9および図10である。安山岩、花崗岩とも温度の低下に伴ないひずみの勾配がゆるやかになっている。このことから鉱物粒子の収縮変位量は温度の低下とともに次第に減少してゆくことが推察される。また、花崗岩は安山岩に比べひずみにくいことがわかる。図10より安山岩、花崗岩とも温度の低下に伴ない線膨張係数も低下していることがわかる。

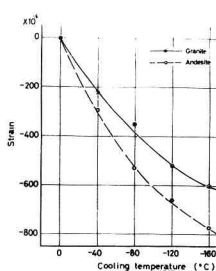


図9. 低温が岩石のひずみに及ぼす影響

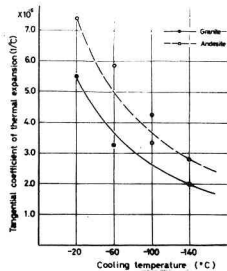


図10. 低温が岩石の線膨張係数に及ぼす影響

4. 結 言

液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵する場合、岩盤はある程度水分を含んでいるものと予想される。今回は岩石の供試体を水潤状態にし、これが低温の影響を受けた場合の強度特性について調べた結果を報告した。

参 考 文 献

- 1) 八木則男, 熊田善紀, 西田敏恵, 飯田英喜; 極低温下における岩石の強度特性, 土木学会中・四国支部大会, 昭和55年5月, P.214~P.215