

鹿島建設(株)技術研究所 正員 ○ 青 木 謙 治

大 野 清

関 屋 徹

1 ま え が き

最近、地下空洞式貯油システムが注目を集めているがこのうち低温LPG等の岩盤内貯蔵を考える場合、低温下における岩石の性状を明らかにしなければならない。とくに温度応力を考慮に入れた空洞の安定解析を行なうためには、低温下における岩石の強度、熱膨張係数が必要となる。また製品のおし入れに伴う凍結・融解および熱衝撃の繰り返しによる岩石の性状変化も明らかにせねばならない。空洞周辺の凍結域の進行を予測するためには、ガスまたは液体と岩盤との熱伝達率や水を含んだ岩盤の熱伝導率を知る必要がある。筆者らは、LPGの岩盤内貯蔵に関するSite Feasibility Studyの一環として上記のような内題について検討しており、ここではとくに各種岩石の低温下における力学的ならびに物理的性質の変化について報告する。

2 実験概要

2-1 試料：実験に用いた試料は山口県産の結晶片岩(黒色片岩)、兵庫県産の流紋岩、群馬県産の礫岩の3種類で、いずれもボーリングコアを切断、研磨して作成した。また試料の含水状態は、自然含水状態、飽和含水状態、乾燥状態の3種類とした。

2-2 一定の低温下における岩石の性状：各種含水状態の試料に低温ひずみゲージを貼付し所定の低温(-45°C 、 -100°C 、 -130°C 、 -160°C)に保たれた恒温槽内に2時間静置し、そのままの状態で一軸圧縮試験、圧裂(引張)試験を行なった。また、岩石の熱的性質として -150°C ~ $+50^{\circ}\text{C}$ の温度範囲における熱膨張係数および熱伝導率なども測定した。

2-3 低温(-45°C)、常温($+15^{\circ}\text{C}$)の緩やかな温度変化(凍結・融解)を受けた岩石の性状変化：温度調節の可能な恒温槽内で、冷却・加熱過程は各々3時間、低温・常温下にはそれぞれ12時間静置して凍結・融解を繰り返した。繰り返し回数は5、10、30回とし、各サイクル終了時奥で物理的性質の測定ならびに強度試験を行なった。

2-4 低温(-45°C)、常温($+15^{\circ}\text{C}$)の急激な温度変化(熱衝撃)を受けた岩石の性状変化： -45°C の低温に保った恒温槽内に試料を2時間静置した後取り出し、直ちに流水中($+15^{\circ}\text{C}$)に浸し同じく2時間放置して、これを熱衝撃1回とした。繰り返し回数および試験は凍結・融解試験と同様にして行なった。

3 実験結果および考察

3-1 一定の低温下における岩石の性状：図-1に示すように強度および弾性係数は一般に温度の低下に伴って増加する傾向がみられる。但し圧縮・引張強度とも -45°C 前後までは常温時とほぼ同じである。また有効間隙率の大きい飽和含水試料は温度低下による強度増加が著しく、常温時の圧縮強度に比べて、 -160°C では黒色片岩で65%、流紋岩で50%、礫岩で100%の強度増加率を示した。

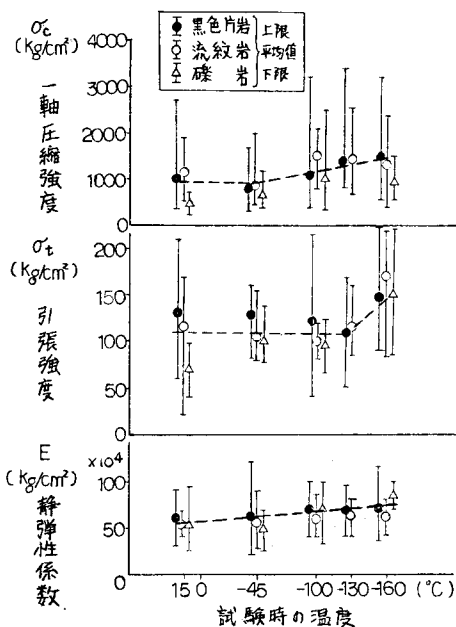


図-1 低温下における岩石の強度

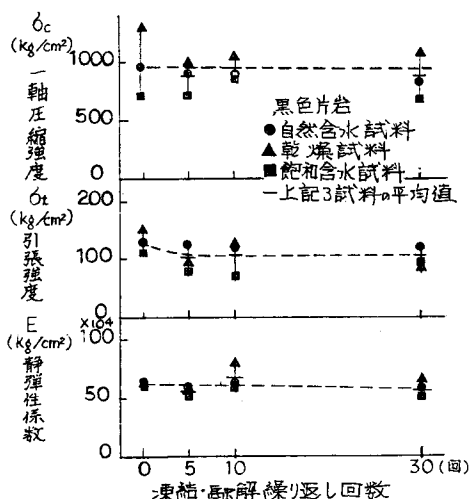


図-2 凍結・融解繰り返しによる岩石の強度

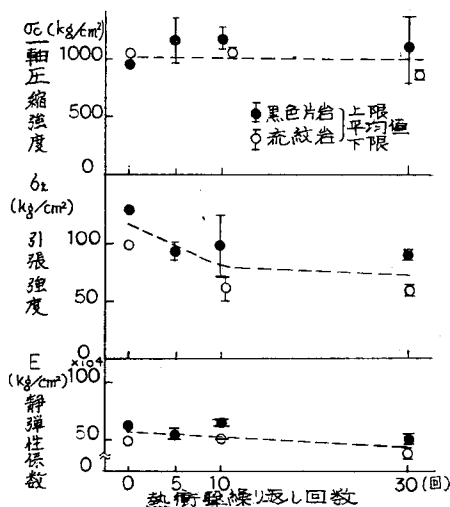


図-3 熱衝撃繰り返しによる岩石の強度

3-2 凍結・融解および熱衝撃の繰り返しを受けたい岩石の性状変化:

(1) 凍結・融解の繰り返しを受けたい岩石の圧縮強度は図-2に示すように試料の含水状態によって異なり飽和含水試料が最も小さく、乾燥試料が最も大きい。繰り返し回数による強度および有効間隙率の変化はほとんどみられず、30回までの凍結・融解作用では岩石の強度は大きな影響を受けないものと考えられる。

(2) 図-3に示すように急激な温度変化による熱衝撃の繰り返しを受けたい岩石の強度変化もあまり顕著ではないが、30回の繰り返し後には強度がやや低下し、流紋岩のように岩質の不均一な岩石では圧縮強度が15%程度低下した。また黒色片岩、流紋岩共に引張強度で20~30%、弾性係数で10~20%程度の低下がみられた。

(3) 図-4、5は熱衝撃の繰り返しを受けたい岩石の有効間隙率の変化と圧縮強度の関係を示したものであるが、本来空隙の少ない岩石は熱衝撃による影響はあまり受けにくい、もともと空隙が多く、飽和含水状態にある岩石は熱衝撃の繰り返しによる空隙量の増大とそれに伴う圧縮強度の低下がみられる。

(4) 凍結・融解、熱衝撃を繰り返し受けたい岩石の超音波伝播速度は、図-6に示すように繰り返し回数の増加に伴って減少し、30回の繰り返し後には10%程度の減少がみられた。従って岩石内部には温度変化の繰り返しにより微小な空隙が増加して行くものと予想される。

4 あとがき

今回の実験により、黒色片岩、流紋岩、礫岩などの低温下での強度特性、熱的性質および30回までの凍結・融解、熱衝撃の繰り返しによる劣化の程度について明らかにすることができた。さらに、別の岩質(花崗岩、砂岩、泥石、凝灰岩)および数多くの(30回)温度変化を受けたい場合の岩石の疲労、劣化の程度についても実験を行なっているので、別の機会に報告したい。

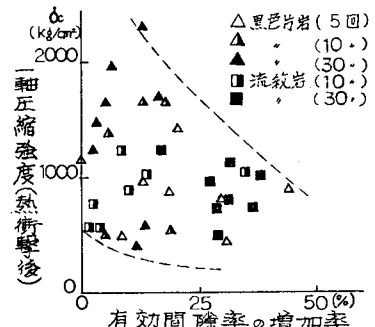


図-4 有効間隙率の変化と一軸圧縮強度

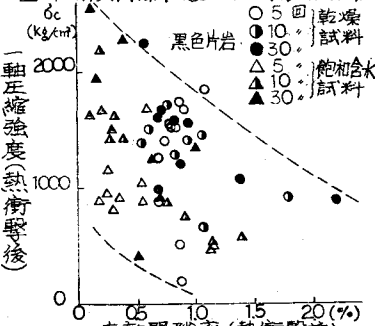


図-5 有効間隙率(熱衝撃前)と一軸圧縮強度

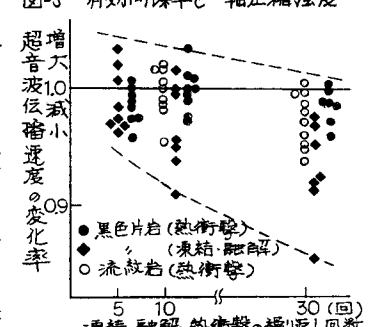


図-6 温度変化の繰り返し回数とVpの変化率