

清水建設(株)研究所 正員 木下直人

1. はじめに

近年岩盤地下タンクが注目されている。LPGのような沸点の低い物質を常圧で貯蔵するためには岩盤の低温特性を明らかにしておく必要があるが、今までのところその研究例は少ない。そこで、 -40°C までの温度範囲における岩石の特性を明らかにするための実験を行なっているが、今回はその第1報として、凍結融解作用による強度特性の変化についての実験結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体 日本において岩盤地下タンクを建設する場合の最適の岩盤は良質な花崗岩からなる岩盤であると考えられるので、供試体としては、茨城県笠間市産の稲田花崗岩を用いることにした。造岩鉱物はほとんど風化・変質を受けておらず、き裂・節理の少ない良質な花崗岩で、間隙率は約1.1%である。また、岩石の低温特性は間隙率および間隙の形状によって異なることが予想され、特にクラック状の間隙をもった岩石の場合、き裂性岩盤のモデルにもなり得るところから、供試体としては、良質な花崗岩だけでなく、き裂を含んだものをも用いるのが望ましい(良質な岩盤でもある程度のき裂・節理は避けられない)。そこで、上記の花崗岩を電気マッフル炉内で加熱処理することによって人工的にき裂を生じさせたものをも供試体として用いることにした。間隙率は最高約5%となっている。以下前者を自然岩、後者を人工き裂岩と記すものとする。顕微鏡観察によれば自然岩では微細なき裂がわずかに存在するが、それらは閉じており、連続性もあまりない。これに対して、人工き裂岩ではき裂の量が多くかつ連続的で、その方向性は非常に不規則で卓越する方向をもたない。また、間隙率が大きくなるとopen crackがかなり含まれるようになる。供試体の形状・寸法は、直径35mm、高さ70mmの円柱形としている。

この種の実験では含水状態の管理が重要であり、特に含水飽和させる方法が問題となるが、ここでは96時間以上減圧水浸したものを含水飽和状態、 110°C で72時間以上乾燥させたものを乾燥状態とし、供試体の冷却および強度試験の際には、デシケータ内でいったん常温に戻してから実験を行なっている。

2.2 凍結融解方法 一方の端面を残して、他のすべての面を断熱材で覆った供試体を、所定の低温度に制御されている恒温槽内に約8時間放置した後、恒温槽から取り出し、断熱材で覆ったまま供試体全体が室温に等しくなるまで放置した。これによって、供試体は一方の端面からの熱伝導によってのみ凍結融解されることになる。なお、冷却温度は -10°C および -40°C の2段階とした。

2.3 凍結融解前後の圧縮強度の比較 人工き裂岩の顕微鏡観察結果によれば、間隙率が同一であれば岩石内部のき裂の状態もほぼ同じであり、したがって圧縮強度もほぼ等しくなることが予想される。すなわち、人工き裂岩の一軸圧縮強度 σ_c と間隙率 n との間にはある相関関係があると考えられる。そこで、まず凍結させない(常温のまま)の供試体について、 σ_c と n との関係を求めてみたのが図-1である。含水状態によって両者の関係は異なるが、乾燥状態においても含水飽和状態においてもはっきりとした相関関係が認められ、

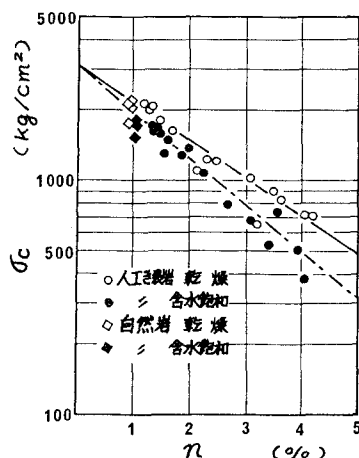


図-1 一軸圧縮強度と間隙率の関係

乾燥状態では $\log \sigma_c = -0.163n + 3.498$

含水飽和状態では $\log \sigma_c = -0.201n + 3.494$ となっている。次に、凍結融解後の供試体についても σ_c と n との関係を求め(ただし、 n は凍結融解前に測定した値を用い、一軸圧縮試験は乾燥状態の供試体を用いるものとする)、それと凍結融解前の関係との比較を行なうことによって強度特性の変化を知ることにした。

2.3 弾性波速度の測定 凍結融解による岩石内部のき裂の増加状態を知るには、き裂の量の変化に敏感でありかつ凍結融解前後の比較が可能な非破壊的な方法が有利である。このような方法としては弾性波速度測定法がある。乾燥状態における弾性波(縦波)速度 $V_p(\text{dry})$ はクラック状の間隙の量に非常に敏感であり、今回の実験で使用した供試体についても間隙率が約1%から5%まで変化するのにともない、 $V_p(\text{dry})$ は 4.1 km/sec から 0.6 km/sec まで減少しており、特に、間隙率が1%から2%の間での減少が著しい。そこで、凍結融解前に $V_p(\text{dry})$ を測定しておき、それと凍結融解後の乾燥状態における弾性波(縦波)速度 $V_p'(\text{dry})$ とを比較することによってき裂の増加状態を推定することにした。なお、弾性波速度の測定はパルス透過法で行なっている。

3. 実験結果と考察

図-2は含水飽和状態の人工き裂岩を -10°C および -40°C で凍結融解させた場合の一軸圧縮強度を、凍結させない人工き裂岩のそれと比較したものであるが、冷却温度がいずれの場合も両者の間には有意な差が認められない。図-3は乾燥状態の人工き裂岩を凍結融解させた場合であるが、図-2と同様な結果となっている。自然岩の場合も、凍結融解によって σ_c はほとんど変化しない。

図-4は自然岩および人工き裂岩について、凍結融解前後の弾性波(縦波)速度 $V_p(\text{dry})$ および $V_p'(\text{dry})$ を比較したものであるが、人工き裂岩については、弾性波速度の大小にかかわらず、両者はほぼ一致している。それに対して自然岩では含水飽和状態で凍結融解させた場合弾性波速度がやや減少しておりややき裂が発達していると推定される。すなわち、 -40°C までの範囲での1回だけの凍結融解では、含水飽和状態で凍結融解させた自然岩の場合にややき裂が発達していると思われる他はほとんど影響がないといえる。

4. おわりに

今回の実験結果から、造岩鉱物が風化・変質をあまり受けていない花崗岩ならば、き裂の多少にかかわらず、1回だけの凍結融解ではその影響をあまり受けないことがわかった。

低温下における岩石の強度・変形特性についても現在実験を行っており、別の機会に発表する予定である。

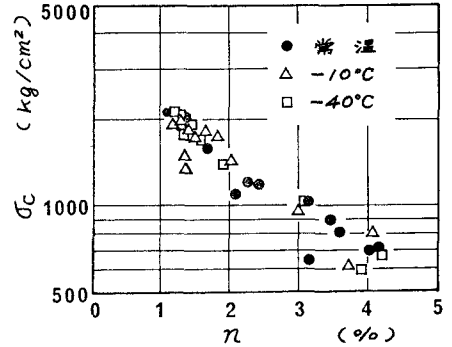


図-2 凍結融解による一軸圧縮強度の変化
——含水飽和状態で凍結融解

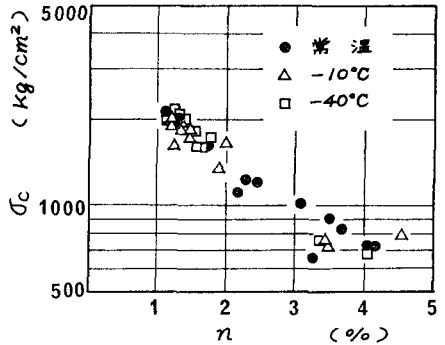


図-3 凍結融解による一軸圧縮強度の変化
——乾燥状態で凍結融解

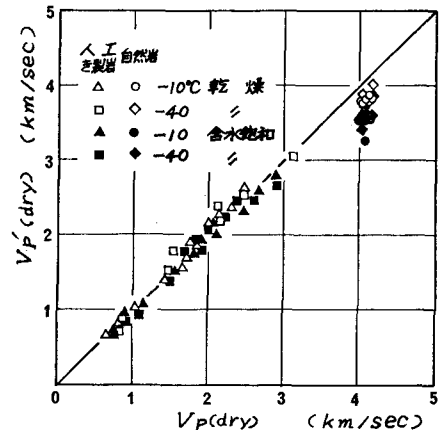


図-4 凍結融解による弾性波速度の変化