

戸田建設機技術研究所 正会員 関根 一郎
正会員 添田 弘基
正会員 西牧 均

1. はじめに

LPGの低温常圧による地下岩盤内貯蔵槽を建設する場合、岩石、岩盤の低温特性の把握が重要である。前報⁽¹⁾では、各種岩石の熱変化を受けた場合の材質劣化について報告したが、本報では低温状態における圧縮試験を行ない、岩石の低温下の強度、変形特性について考察した。また、岩盤には、節理、亀裂といった不連続面が存在するため、低温状態でも岩石とは異なった特性を示すことが考えられる。そこで、岩盤の低温強度を検討する第一段階として人工的に不連続面を設けた岩石の低温状態における圧縮試験を行なったので報告する。

表 1

試料	有効間隙率 n (%)	一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	弾性係数 E_{ss} (kgf/cm ²)	圧裂引張強度 σ_t (kgf/cm ²)
花崗岩 A (茨城県稲田)	0.71	1,350	476,000	59
花崗岩 B (茨城県稲田)	0.68	1,520	404,000	—
安山岩 (山梨県甲府)	3.13	1,820	308,000	83
板灰岩 (栃木県大谷)	43.5	66	12,500	5.1
花崗岩※	0.69	1,700	503,000	112
石灰岩	14.1	340	105,000	43
砂岩	19.8	480	122,000	35

2. 岩石の低温下における強度変形特性

(1) 試験概要 実験装置は油圧サーボ式の圧縮試験機に低温槽を設置したもので、冷却は液体窒素を用い、白金抵抗体によって検出した槽内温度を基に電磁弁の開閉をして温度制御した。

実験に用いた試料は、花崗岩 A、B、安山岩、大谷石で常温状態における有効間隙率及び力学特性は表-1の通りである。これらの試料から直径 50mm、高さ 100mm の一軸圧縮試験用の供試体と直径 50mm、高さ 50mm の圧裂引張試験用の供試体を成形し試験に用いた。なお、表中の花崗岩※、石灰岩、砂岩は M. Mellor の実験に用いられた岩石で比較のために示した。試料の状態は飽和状態とし、温度条件は、常温、-10℃、-25℃、-45℃、-80℃、-140℃と定めた。載荷はひずみ制御にて行ない、載荷速度は 0.05%/min とし、低温用ひずみゲージによって弾性係数を求めた。

(2) 試験結果及び考察 図-1 は、圧縮強度の増加率と温度の関係を示したもので、縦軸は、低温状態での一軸圧縮強度を常温時の一軸圧縮強度で割り正規化している。図中、花崗岩※、石灰岩、砂岩は M. Mellor⁽²⁾ による実験結果を引用した。間隙率が大きい凝灰岩、砂岩、石灰岩は 0℃ 以下になると強度が大きく増加しておりこれらの岩石では水分の凍結が強度に大きな影響を与えらると思われる。これに対し、硬岩の花崗岩、安山岩は強度が増加する傾向にあるが、その増加の程度は常温時の強度に比べ 5 割程度である。

図-2 は、同様に圧裂引張強度の増加率と温度の関係を示したものである。一軸圧縮強度の場合と類似した温度依存性を示しているが、圧縮強度よりその増加率は大きい。

図-3 は、弾性係数の増加率と温度の関係を示している。強度が 0℃ 以下になると急速に増大するのにに対し、弾性係数は温度が低下すると徐々に増加していく傾向を示している。また、間隙率が 0.68 ~ 0.71% と小さい花崗岩では弾性係数はほとんど変化していない。

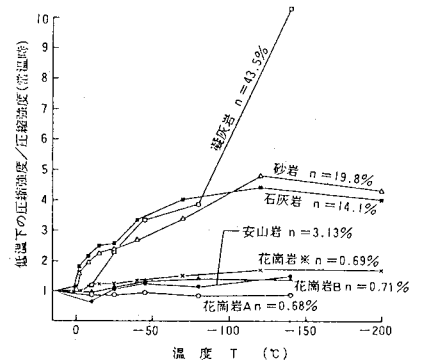


図-1 圧縮強度の増加率と温度の関係

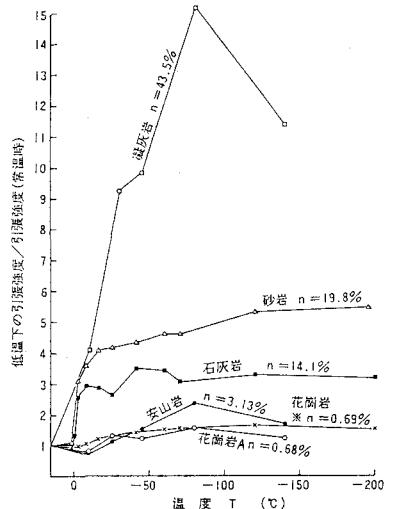


図-2 引張強度の増加率と温度の関係

3. 不連続面を含む岩の低温強度特性

(1) 試験概要 供試体は、花崗岩Bにダイヤモンドカッターによって人工的に不連続面を設けたものを用いた。これはBarton⁽³⁾のJRCで0～2程度のかなり滑らかな不連続面である。供試体軸と不連続面のなす角は、0°から15°きざみで90°までとし、モールド内で不連続面が完全に飽和した状態で凍結させた。載荷板と供試体の摩擦を除去するため、供試体上下面に低温用シリコングリースを塗布したテフロンシートを挿入した。試験温度は-45℃、-80℃とした。

(2) 試験結果及び考察 図-5は不連続面を含む岩石の低温強度 q_u を常温時の不連続面を含まない岩石の強度 q_{uc} で正規化し、極座標表示したものである。不連続面を含む岩石の強度は、主応力と不連続面のなす角が30°～45°の場合、凍結していても q_{uc} の10%程度であることがわかる。

図-6は、この試験結果から、不連続面上の重直応力 σ_n 、せん断応力 τ を求めたものである。比較のため図-4に、花崗岩Bの三軸試験結果及びダイヤモンドカッターによる切断面の摩擦角を示した。図-6より低温下の不連続面の強度は、-45℃で C が70 kgf/cm²程度まで増大し、 ϕ は8°とかなり小さくなることわかる。我々が問題とする応力レベルでは、凍結による強度増加が期待できると思われる。

4. あとがき

間隙率の大きい岩石の強度変形特性は低温による影響を強く受けるが、緻密な硬岩では、低温による影響は比較的少ない。このような硬岩より成る岩盤で、低温状態において力学的性質が変化するのは岩石自体よりむしろ節理、亀裂といった不連続面であると考え、不連続面を含む岩石の低温強度試験を行ない考察した。割れ目の粗度、充填物の影響などは今後の課題としたい。

<参考文献> (1) 関根、日景、西牧：岩石の低温特性に関する基礎的研究—その1—、第38回土木学会年講 (2) M.Mellor (1971) : Strength and Deformability of Rocks at low temperatures, CRREL Research Report, 292 (3) Barton N. and Choubey V. (1977) : The Shear Strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics 10, 1-65

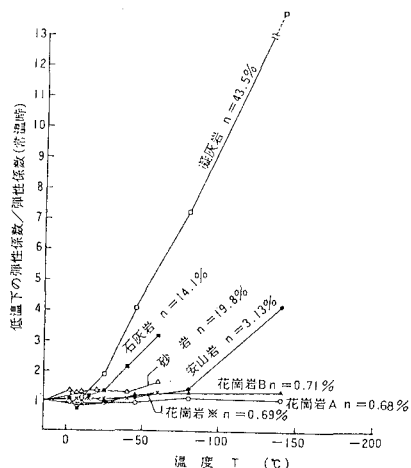


図-3 弾性係数の増加率と温度の関係

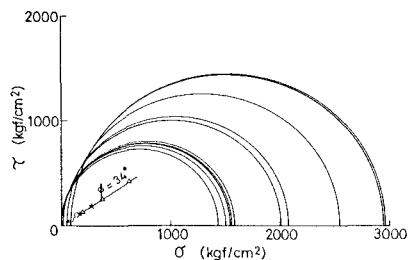


図-4 花崗岩Bの三軸圧縮試験結果と摩擦角

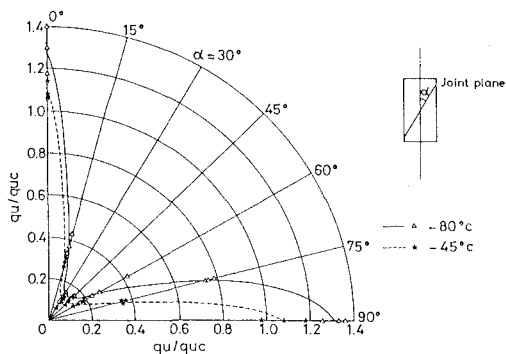


図-5 不連続面を含む岩の低温強度異方性

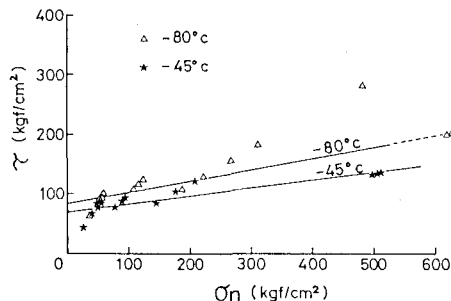


図-6 不連続面を含む岩の低温強度試験より求めた τ 、 σ_n の関係