

福井大学 正員 ○ 室 達 朗
 福井大学 正員 入江 恒 爾
 電 公 社 正員 永井 正 直

1. まえがき 岩石材料の風化作用による変質過程はきわめて複雑であり、物理化学的分野から総合的に考察すべき問題である。ここでは、風化作用の一部を構成する物理的風化として水中において凍結融解を受けた場合の岩石の風化による材質変化について実験的考察を行なった。とくに、福井県地方では寒冷地域として凍結融解作用を受け易く、岩石の材料劣化による斜面崩壊が続出しておりこの凍結融解作用は岩石の風化に及ぼす重要な要因となっている。岩石内部の間けき水が結氷すると間けき水は約1割の体積膨張を引き起すため、その膨張圧による岩石内部の節理や亀裂は拡大され結晶は分離し破砕するために岩石全体の強度は次第に劣化していくことが知られている。室内実験は安山岩を対象として凍結最低温度 -30°C 、融解最高温度 $+50^{\circ}\text{C}$ として、凍結融解くり返しサイクル数と岩石の単軸圧縮強度、超音波伝播速度、動弾性係数、吸水率および密度との関係性を求め、凍結融解作用が岩石の工学的性質に及ぼす影響について考察した。

2. 岩石試料と供試体作成 福井県に多く分布する岩石として安山岩を選定し、岩石採取地として国道8号線新武生トンネル工事現場より新鮮な安山岩を採取した。供試体は採取した岩石塊より堆積方向と垂直にならうようにコア・カッターで切断し、径50mm、高さ100mmの円筒供試体を作成した。とくに、供試体の選定に当っては、肉眼観察により亀裂および内部破砕のないことを注意して行なった。なお、岩石試料は同一母岩より採取した新鮮な岩石であるけれども材質のばらつきを考慮し、供試体数の決定に当っては国際地床会議事務局(東ベルリン)の岩石の強度試験法に関する基準(1963)¹⁾に準じて行なった。すなわち、任意サンプルによって選定した計10個の新鮮な岩石に対する単軸圧縮試験の結果、その圧縮強度の相対偏差は23%となったので供試体数は5個を1組として必要な数を用意した。また、岩石強度に与える形状効果についても同基準に従って算定した。つぎに、凍結融解試験を開始する前の初期状態における岩石の工学的性質を試験した結果、計7通りの試験の平均値と相対偏差を表-1に示す。なお、試料岩石は変質安山岩であり偏光顕微鏡による観察の結果、白色の細脈を有する緑黒色細粒均一質の岩石で肉眼的斑晶を欠くが、鏡下においては斑状組織を形成している。鉱物組成分析の結果は、斜長石44%、緑泥石質物質36%、ゼオライト質物質8%、炭酸塩鉱物9%、酸化鉄4%である。また、岩石の熱的性質として水熱量計を用いて求めた比熱は $0.338\text{ cal/g}\cdot\text{deg}$ であり、Leesの方法²⁾を用いて求めた飽和状態にある岩石の熱伝導率は常温において $1.13\times 10^{-2}\text{ cal/cm}\cdot\text{deg}\cdot\text{sec}$ である。

3. 実験装置 および 実験方法 本実験の水中凍結融解試験を行なうためス馬カの冷凍機を備えた熱サイクル試験機を使用した。これは、試験槽と熱交換器から構成されており、試験槽内寸法は $47\times 50\times 60\text{ cm}$ で、熱交換器はフロンガスを不凍液として使用し槽内温度を -30°C まで下げる一方、2KWのヒーターで槽内温度を 100°C まで上げる能力を有している。操作はすべてリレー制御操作によって自動的に長時間連続運転できるもので、温度調節は岩石温度および槽内温度とも上下限温度設定方式によって凍結融解を自動的にくり返すことが可能である。ここでは槽内温度

表-1 岩石の諸物性値(試験前)

湿潤密度	$2.637 \pm 0.007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
飽和密度	$2.638 \pm 0.007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
乾燥密度	$2.632 \pm 0.007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
真比重	2.669 ± 0.004
自然含水比	$0.207 \pm 0.058 \%$
吸水率	$0.267 \pm 0.082 \%$
空けき率(湿)	$1.157 \pm 0.343 \%$
(乾)	$1.411 \pm 0.341 \%$
超音波速度(湿)	$3985 \pm 123 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
(乾)	$3321 \pm 168 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
動弾性係数(湿)	$4267 \pm 256 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
(乾)	$2963 \pm 294 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
単軸圧縮強度	$1465 \pm 258 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
ショア硬さ	70.8 ± 3.3

を $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ に設定する一方、岩芯温度は $-30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ の上下限によって凍結融解のくり返しを行なうとともに温度変化を温度記録計により連続記録した。なお本実験においては凍結行程7時間30分、融解行程3時間計1サイクル当り10時間30分を要した。図-1にその温度履歴の一例を示す。なお供試体は比熱が小さく熱伝導率の大きなステンレス製水浸槽(容積 $33 \times 43 \times 15 \text{ cm}$ 、厚さ 1.4 mm)にセットし、サイクル数50サイクル毎にとり出してそれぞれの工学的性質を試験した。

4. 実験結果および考察 岩石の単軸圧縮強度が凍結融解作用を受けて次第に低下していくことは、空げきに存在する水の凍結膨張による構造破壊によるものである。空げき率 n は一般に、亀裂部分 n_f とその他の空げき部分 n_p から構成されており、亀裂の発達した岩石ほど浸水による構造破壊を受け易いと考えられる。本実験の結果は、図-2に示す通りサイクル数の増加とともに強度が低下していくことを明らかにしている。ここで○印で示した岩石は強度が高く破壊時粉砕されておりヘアークラックが殆んど存在せず、空げきの大部分は n_p で構成されているのに対し、●印の岩石は肉眼では観察困難なヘアークラックによる空げき n_f が若干存在するために強度は低く破壊はあるクラック面に沿ったたて割れ破壊が特徴的である。400サイクルまで直線近似し、最小自乗法によって求めた実験式は、

(A) $\sigma = -3.49n + 3208 \quad (r = -0.70)$
 (B) $\sigma = -2.15n + 1435 \quad (r = -0.89)$ となった。一方図-3は、岩石が飽和状態にあるときの超音波伝播速度および動弾性係数とサイクル数との関係を示している。いずれも凍結融解のくり返し回数が増加するとともに直線的に低下しておりその相関性もかなり高くなっている。図-4は、吸水率と乾燥密度の変化を示したものであり、風化の進行とともに吸水率は増加する一方、乾燥密度もわずかに減少する傾向にある。これは、凍結融解作用によって、空げき体積が次第に増加していることを実証するものである。その他、真比重およびショア硬さも次第に減少する傾向がある。

5. あとがき 安山岩を対象として水中凍結融解作用を与えた風化促進試験の結果岩石の工学的物性値はいずれも低下し、岩石の劣化程度を定量的に評価することができた。中でも超音波伝播速度や動弾性係数とサイクル数との相関性が高いことが判明した。

6. 参考文献 1) 石島洋二訳: 岩石の強度試験法に関する基準, 日本鉱業会誌 Vol. 81, No. 926 (1965) pp. 571-574.
 2) 精機学会・計測自動制御学会共編: 改訂工業測定便覧, コロナ社, p776 (1972).

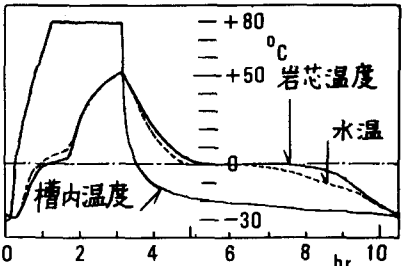


図-1 温度履歴曲線の一例

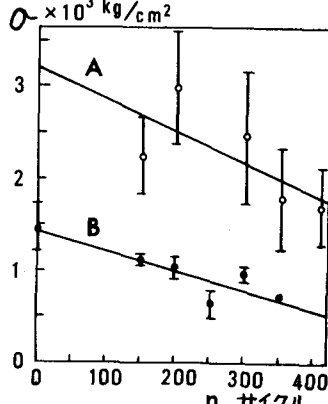


図-2 単軸圧縮強度 σ の変化

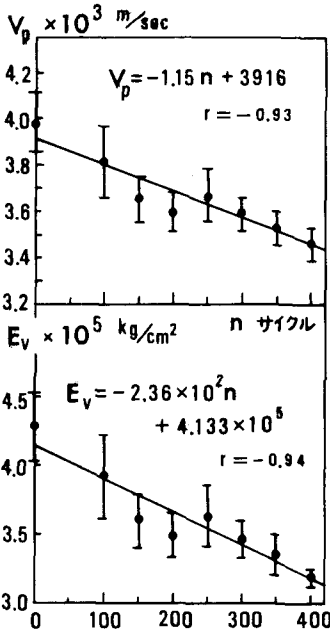


図-3 超音波伝播速度 V_p と動弾性係数 E_v の変化

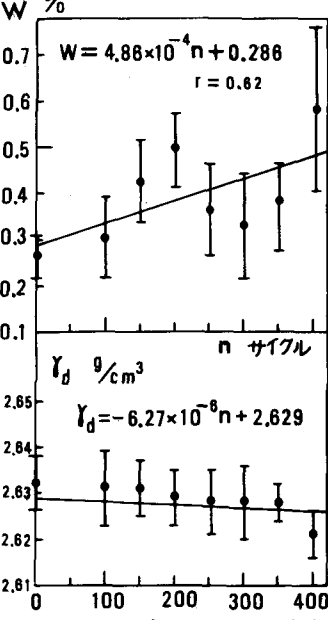


図-4 吸水率 W と乾燥密度 γ_d の変化