

大成建設株式会社 ○正 大川 孝 正 伊佐 秀
鍵富淳一 正 榊原 明

1 緒言

岩石は低温下におかれ凍結する時、凍結面への水分移動が生ずる可能性がある。この水分移動は、凍結面の背面に水分ポテンシャルの不均衡な場が生じるためと考えられる。あたかも吸排水ポンプのような動きの結果、移動する水分量、発生する応力等は、岩石の内的要因（岩種、透水係数、含水比等）と外的要因（拘束圧、凍結速度等）により変化することが考えられる。そこで我々は、これら要因の組合せを設定し、水分移動によって生じたバルクな水の圧力、移動水分量等と力学特性（ここでは一軸圧縮試験）を測定し要因別の岩石の低温特性を把握するための一資料を得た。

2 実験試料と実験方法

岩石の内的要因のうち間隙率の違いによる水分移動の過程及び量を把握するために、多孔質の試料として新第三紀鮮新世富岡層に分布する泥岩（間隙率50%）と緻密な試料として領家帯に属する花崗岩（間隙率2%）及びその中間的な間隙率を有するモルタルの3種類の試料を選び、径5cm長さ12cmの円筒形に整形した。

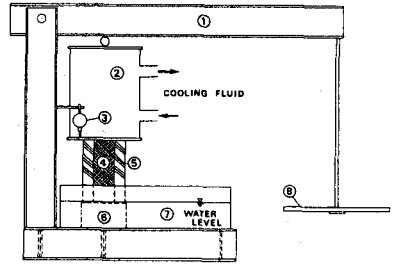
製作した実験装置を図-1に示す。装置は、試料に間隙水を自由に供給できるような開式の凍結実験装置となっている。さらに上部には載荷装置が取り付け有り、試料への拘束圧（上載荷重）を変化させることが可能である。

実験ケースは拘束圧と凍結速度との組合せにより表-1に示すように設定した。実験試料はA（試料内温度分布及び水分移動現象を観察する試料）とB（凍結完了後、力学特性及び移動水分量を測定する試料）の2種類を用意し、両者とも全く同じ凍結条件のもとで実験を行った。なお、試料は実験開始前まで充分水に浸しておいた。

試料Aは、熱電対により高さ1cm毎に温度分布を、また試料頭部より3cm、5cm、7cmの位置のバルクな水の圧力もしくは間隙水圧を10分毎に計測した。低温用圧力計は試料側面よりあけた5mmの孔内にセットされ、孔は水を充填し、接着剤、油粘土で養生した。試料Bは、凍結実験終了後、冷凍庫に貯蔵し、温度を-15℃に保ちながら一軸圧縮試験を行った。

3 実験結果と考察

吸水率と拘束圧との関係を図-2に示す。ここで吸水率 $\xi\omega$ は、凍結開始時点から凍結終了後の吸排水容積を $V\omega$ とし、凍結開始前の供試体容積を V としたとき、 $\xi\omega = V\omega / V$ であらわされる。各試料とも凍結の過程で吸水があり、多孔質な泥岩が最も大きな吸水率を示している。間隙率が2%の緻密な花崗岩では、凍結過程で多少の水分増加（吸水率0.4%）はあるが、ほとんど水分移動はな



- ① 載荷装置 ② 冷却装置 ③ ダイアルゲージ
- ④ 供試体 ⑤ 断熱材 ⑥ 反力台
- ⑦ 水櫃 ⑧ 荷重

図-1 実験装置

表-1 凍結実験ケース

凍結速度 (cm/h)	拘束圧 (kgf/cd)	試料種類		
		泥岩	モルタル	花崗岩
U=1.0	0.4	①	—	—
	5.0	②	—	—
	10.0	③	⑦	⑧
U=0.5	0.4	④	—	—
	5.0	⑤	—	—
	10.0	⑥	—	—

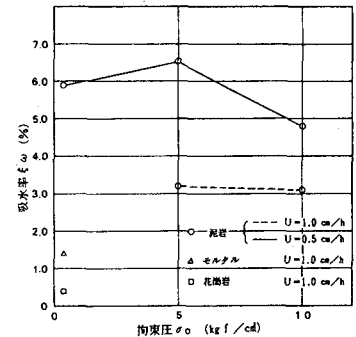


図-2 吸水率と拘束圧の関係

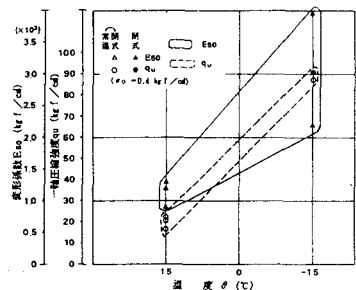


図-3 正規吸水率 E_{a0} 、変形係数 E_{s0} と温度の関係

いと考えられる。次に凍結速度に着目すると、 $U=1.0\text{ cm/h}$ では、約5%、 $U=0.5\text{ cm/h}$ では、約3%と凍結速度が遅い程、大きな吸水率を示している。

一軸圧縮強度 q_u 、変形係数 E_{50} と温度の関係を図-3に示す。一軸圧縮強度、変形係数とも温度降下に対して正の相関が認められ低温における岩石の q_u 、 E_{50} は増加しており、 -15°C の q_u は 15°C の q_u の約4倍となり、 -15°C の E_{50} は約2.5倍になる。また図-2より今回の条件下での凍結過程で泥岩は吸水することが確認されたが、その吸水量が力学特性に与える影響をみるために、閉式の試験（供試体への水分供給を遮断した凍結試験）結果と開式の試験結果での力学特性を比較すると、一軸圧縮強度では両者に明確な差は認められなかったが、変形係数に関しては、吸水がある開式の場合が大きな値を示した。しかし今回の実験では、試料数が少ないため、岩石の凍結時の水分量増加がその力学的特性に与える影響を定量的に判断することは難しい。凍結時の拘束圧と一軸圧縮強度の関係を図-4に示す。拘束圧 $\sigma=0.4\text{ kgf/cm}^2$ で $q_u=87.5\text{ kgf/cm}^2$ に対し、 $\sigma=5\text{ kgf/cm}^2$ 、 10 kgf/cm^2 では $q_u \approx 160\text{ kgf/cm}^2$ となり50%程度の強度増加が認められた。凍結速度に着目すると $U=1.0\text{ cm/h}$ 、 0.5 cm/h での q_u 値に明瞭な変化は認められなかった。一軸圧縮強度及び変形係数と吸水率の関係を図-5に示す。凍結過程で水分が増加することにより、 q_u 、 E ともに増加するようであるが、定量的な把握には至らない。

試料内温度分布の経時変化の一例を図-6に示す。凍結側の温度分布はほぼ直線であるが $-1^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$ 付近に変曲点がある。試料の変位、バルクな氷の圧力の経時変化の一例を図-7に示す。バルクな氷に急激に大きな圧力が加わる。それが発現する時期は 0°C 面より $1\text{ cm} \sim 2\text{ cm}$ 程度凍結側であり、 $-1^\circ\text{C} \sim -2^\circ\text{C}$ 程度の範囲である。これは、凍結前線背面に負の水分ポテンシャル場が生じており、この場を平衡にしようとする圧力が発現していると考えられる。

4 結語

本実験によって得られた知見を次に述べる。
 ① 多孔質な岩石では凍結過程で水分移動が起こりうる。
 ② 凍結過程での水分量の増加は低温時の q_u 、 E を増加させる
 ③ 吸水状態にある凍結過程で凍結前線背面でのバルクな氷に大きな圧力が急激に加わる。

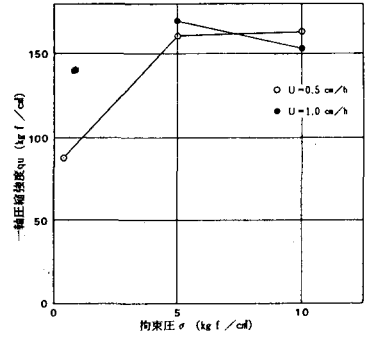


図-4 一軸圧縮強度と拘束圧の関係

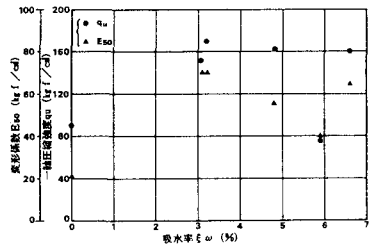


図-5 力学特性と吸水率(泥岩)

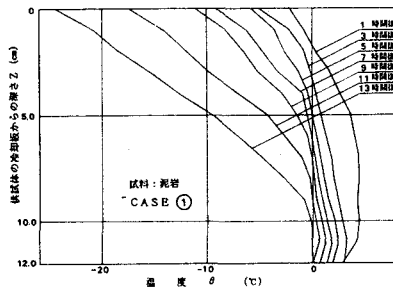


図-6 供試体内温度分布経時変化

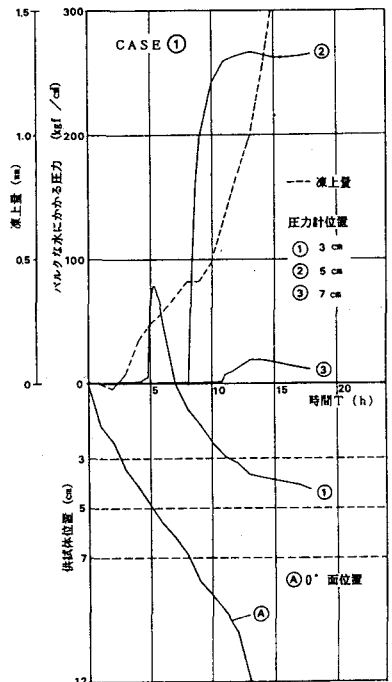


図-7 圧力と凍上量の経時変化