

III-549

凍結融解を受ける岩質材料の変形特性に関する実験的研究

埼玉大学	正員	○山辺	正
埼玉大学	元学生	岩井	隆章
埼玉大学	正員	渡辺	邦夫
西松建設	正員	石山	宏二

1. はじめに

近年、地盤内の熱移動現象を解明した上で安定解析を実施する必要性が高まりつつある。本研究では堆積軟岩を対象として低温側の熱環境を与えたときの基本的な物性の変化や亀裂の存在による温度変化に伴う変形特性に着目した。さらに、地盤を対象として低温側の熱と応力・浸透が連成する場の数値解析を実施するために必要となる物性の変化に関する基礎的な資料を得る事を目的とした室内試験について報告する。

2. 円柱供試体による実験試料の物理的性質

実験に用いた試料は砂質凝灰岩(間隙率 $n=22.4\%$)である。熱環境下の一軸・三軸圧縮試験において、供試体は直径50mm、高さ100mmの円柱形である。実験では三軸試験用のセルを改造し、拘束圧力に用いる流体の温度を -20.0°C から $+80.0^{\circ}\text{C}$ の範囲において 0.1°C 単位で制御できる恒温循環装置を用いた。圧縮試験は変位制御で行い、軸歪速度は $\dot{\epsilon}_1 = 0.025\%/min$ を標準とした。湿潤状態の供試体で拘束流体の温度を -5°C から $+20^{\circ}\text{C}$ まで変化させた時の一軸・三軸圧縮強度の変化を図-1にまとめる。同図において三軸試験は拘束圧力 $\sigma_3=10\text{kgf/cm}^2$ で実施したときの結果である。この結果から、湿潤供試体においては環境温度が低下するにつれて強度が上昇する事が読み取れ、これは既往の研究成果¹⁾とも整合的である。

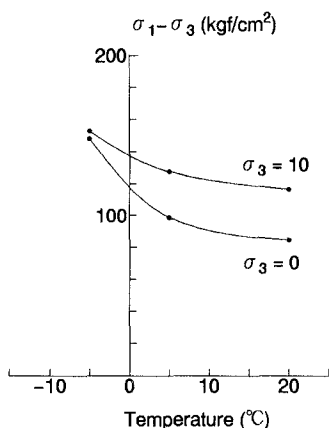


図-1 一軸・三軸圧縮強度の環境温度依存性

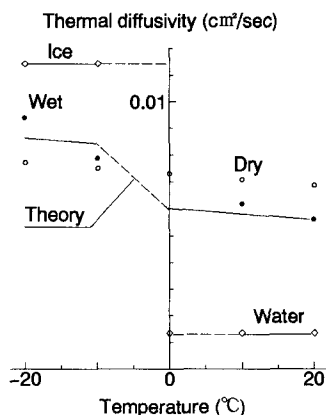


図-2 温度伝達率の環境温度依存性

軟岩のように間隙率が大きな試料において湿潤状態の供試体では 0°C 付近で、温度伝達率や熱膨張率などの物性値は大きく変化する。実験に用いた砂質凝灰岩についての計測結果から湿潤・乾燥状態における温度伝達率 κ の環境温度依存性を図-2に示す。この温度伝達率は、 ρ ; 密度(g/cm^3), C_p ; 定圧比熱($\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$), λ ; 熱伝導率($\text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}$)を用いて $\kappa = \lambda / \rho C_p$ で表される量である。なお、 0°C の水での温度伝達率は $1.33 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$, 0°C の氷の温度伝達率は $11.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と著しく変化する²⁾。水および氷の温度伝達率 $\kappa^{(\text{water})}$ と、実験から得られる乾燥供試体の温度伝達率 $\kappa^{(\text{dry})}$ を用いて、体積平均した値として得られる湿潤供試体の温度伝達率 $\bar{\kappa}$ を、 $\bar{\kappa} = n\kappa^{(\text{water})} + (1-n)\kappa^{(\text{dry})}$ と近似する事ができる。ここで n は間隙率である。図-2中に Theory で示した直線がこうにして求めた $\bar{\kappa}$ である。同図において・印が、別途実験によって得られた湿潤供試体の温度伝達率 $\kappa^{(\text{wet})}$ であり、上述の $\bar{\kappa}$ と良い相関にある事がわかる。

3. 直方供試体による凍結融解実験

(1) 実験方法

要素試験の試料を用いて、奥行き 12cm × 幅 30cm × 高さ 45cm の直方供試体を作製し、供試体の中央に直径 46mm のボアホールを設け銅パイプを挿入し内部に冷媒を循環させて室内凍結・融解実験を実施した。実験では直方供試体内部に亀裂を含まない供試体と、内部に亀裂を含む供試体を作製した。後者については単一の亀裂を模擬するためにダイヤモンドカッターを用いて整形した平坦な面を供試体中央部分の水平方向に含む供試体を準備した。

(2) 変形特性

亀裂を含まない湿潤供試体の表面に貼り付けたロゼットゲージから求めた主歪と温度の関係を図-3に示す。ロゼットゲージは多数枚貼りつけたが、一例として円孔右上 45° の位置 (図-3参照) にあるロゼットゲージのデータを示す。徐々に温度が低下し約 4°C に至るまで供試体は若干の膨張を示した後、4°C から 0°C まで収縮し、0°C から -5°C の間に急激に膨張している様子が読み取れる。この挙動は、まさに間隙内部に含まれる水の物性を反映したものであるが、0°C から -5°C まで膨張が続く事は、間隙内部の水が徐々に凍結していく事を表しており、凍結現象が間隙の大小に依存していると考えられる。次に、平坦な水平亀裂を含む乾燥供試体の変形挙動を図-4に示す。図中の番号は模式図内のゲージの位置を意味し、それぞれ最大主歪を表している。この場合にも中心から等距離にある①と③のゲージは、300 分ほど経過した後に明らかに異なる変化を示しており熱伝達特性に異方性が存在する。また、②のゲージは孔壁から離れているにも拘らず亀裂に沿う方向の熱伝達が早いために 650 分ほど経過した後は、③のゲージよりも大きな歪を生じている。

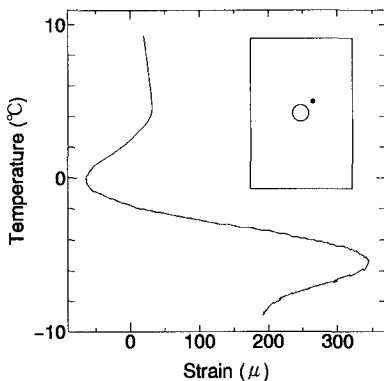


図-3 亀裂を含まない湿潤供試体の主ひずみ-温度関係

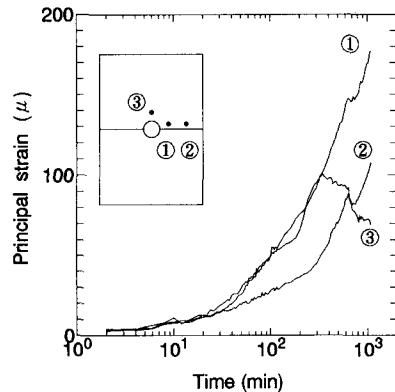


図-4 亀裂を含む乾燥供試体の主ひずみ-時間関係

4. まとめ

円柱供試体による要素試験により、圧縮強度と熱物性に関する環境温度依存性を明らかにした後、直方供試体の凍結融解試験を実施した。要素試験においては、0°C 付近の熱物性の変化を表現できるまでには至らなかったが、第一次近似として体積平均をとることが有効である事を示した。凍結融解試験においては、本研究で取り上げた軟岩が完全に凍結するのは -5°C 以下であると予測されることが判明した。本報告では取り上げなかったが、直方供試体の伝熱特性に関する数値解析を別途³⁾実施している。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 八木則男: 低温下における岩石の熱物性値, 材料, 第 29 巻 327 号, pp.1228-1233, 1980.
- 2) 理科年表, 平成 2 年机上版, 国立天文台編
- 3) 渡辺孝浩, 山辺 正, 石山宏二, 渡辺邦夫: 凍結融解を受ける岩質材料の伝熱特性に関する数値解析, 第 47 回土木学会年次講演会, 1992.