

低温下における砂岩・凝灰岩の弾塑性挙動に関する実験的研究

埼玉大学大学院 学生会員 小出 祐毅
埼玉大学工学部 正会員 山辺 正
埼玉大学工学部 小泉 泰三
SIIT, Thammasat Univ. N.M.Krishna

1. はじめに

地盤が低温環境下におかれた場合、含まれている水分が氷へ相変化することにより地盤の変形は非常に複雑な挙動を示す。特に各種低温物質を地下に貯蔵する施設の建設に際して、凍土に関する研究が以前から行われ、凍上のメカニズムをモデル化する試みも数多く行われている。しかし、地盤内の熱現象は、熱移動・間隙水の移動・変形挙動などが複雑に連成して発生する。これらの熱移動現象を例えば数値解析によって表現するためには、これら各現象が連成する熱-応力-浸透連成場を考慮すべきであり、本研究では特に熱-応力連成場に注目した。具体的には含水飽和状態にある田下凝灰岩を用いて低温環境下での一軸・三軸圧縮試験を行い、白浜砂岩の結果¹⁾と比較し強度・変形特性を知り、熱-応力-浸透連成場での数値解析^{2),3)}における入力物性値の評価を求めることを目的とした。

2. 凍結状態三軸圧縮試験の方法

実験に用いた田下凝灰岩供試体は、直径5cm・高さ10cm ($q_u=5.05\text{MPa}$, $n=22.4\%$) の円柱供試体で、整形後110度で炉乾燥させ、供試体中央に二枚の低温用二軸ひずみゲージを貼り付け、ゲージ部分をクロロプレンゴム系のコーティング剤で被覆した後、脱気水内で強制的に湿潤させた。含水飽和状態の供試体の上からゴムスリーブを被せてオーリングで固定し、ゴムスリーブとペダスタルの間はシリコンゴムを塗布しその内部にひずみゲージのリード線を通した。この供試体を温度制御型三軸セル内にセットし、異なる拘束圧 (0, 1, 2MPa) で圧密し、その後、各温度条件下 (常温, -5, -10, -20) の環境下において、せん断過程での強度・変形特性について観察した。圧密過程においてはひずみゲージの値が定常状態になるまで待機し、凍結過程においては冷却装置の設定温度に到達した後、5時間以上経過するのを待ち、せん断過程においては水の出入りを許した状態でひずみ速度0.05%/min.のせん断を開始した。実験装置の許容最大軸方向荷重は、50kNのサーボ制御とし十分な剛性を有している。図1に示すように、三軸セル内の温度制御用に白金測温抵抗体と、データ計測用にK型熱電対を使用し、らせん状のパイプによって拘束流体 (ナイブライン溶液) を冷却した。なお、温度制御型三軸セル内部の温度を一定に保つために、拘束流体を攪拌するためのプロペラをセル内に設置し、全ての実験過程において一定速度で回転させた。

表1に実験に用いた田下凝灰岩と比較に用いた白浜砂岩の物性値を示す。

表1 物性値

物性値	白浜砂岩(wet)	田下凝灰岩(wet)
比重	2.65	2.39
間隙率 (%)	13.0	22.4
含水比 (%)	5.26	19.2
ヤング率 (MPa)	4249	940
一軸圧縮強度 (MPa)	27.62	5.05



図1 三軸セル内部の写真

連成挙動 弾塑性 相変化

〒338-8570 埼玉県浦和市下大久保255 埼玉大学工学部建設工学科 TEL048-858-3544 FAX048-858-7374

3. 実験結果

図2は-20 から常温に至る各設定温度における一軸圧縮試験時の軸応力-軸ひずみ曲線である。設定温度を低くするほど破壊強度は上昇し、またせん断初期における変形係数 E_i は設定温度に依存する傾向がみられる。この2つの傾向は白浜砂岩でも同様にみられる。ここでせん断初期にみられる上に凸の部分は岩石自体の変形に、間隙内部の氷の影響が加わったためと考えられる。なお、接線変形係数 E は軸応力-軸ひずみ曲線における最も長い直線部分の傾きとした。

図3には各設定温度・拘束圧力における一軸・三軸圧縮試験による接線変形係数と破壊強度の関係を田下凝灰岩について示した。白浜砂岩について同様の関係を図4に示す。図3, 4より破壊強度は、ともに設定温度が低く、拘束圧力が高くなるほど、大きくなる傾向がみられる。一方、接線変形係数に関しては、白浜砂岩では破壊強度の傾向と同様に、設定温度が低く、拘束圧力が高くなるほど、大きくなる傾向がみられる。これに対し田下凝灰岩では、逆に接線変形係数が小さくなる傾向がみられる。田下凝灰岩は白浜砂岩に比べ、間隙率が大きく、一軸圧縮強度が小さいなどの違いから間隙内部の水が氷に相変化する影響により、田下凝灰岩では内部破壊が起こり接線変形係数が減少すると推測される。一方白浜砂岩では氷の結合力の増加の影響で接線変形係数が増加すると推測される。

4. まとめ

田下凝灰岩を用いて凍結一軸・三軸試験を実施し、白浜砂岩の試験結果と比較する事で、

- 1) 応力-ひずみ曲線において、せん断初期における氷の影響がともにみられ、せん断初期変形係数 E_i は設定温度に依存する。
- 2) 設定温度が低く、拘束圧力が高くなるほど、強度は大きくなる傾向がみられる。
- 3) 変形特性については、間隙率や一軸圧縮強度などの違いにより、設定温度や拘束圧力の影響が異なる。
- 4) 熱-応力-浸透連成場における数値解析には入力物性値の依存性、特に変形係数の応力、温度、拘束圧による依存性を考慮する必要があることなどが判明した。

参考文献

- 1) 山辺 正, 小林 城幸他: 低温下における砂岩の変形強度特性に関する実験的研究, 第54回土木学会年次学術講演会, pp. 646~647, 1999.
- 2) N.M.Krishna, T.Yamabe and R.Yoshinaka: Simulation of a fully coupled thermo-hydro-mechanical system in freezing and thawing rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. vol.36 No.5, pp. 563~580, 1999.
- 3) 山辺 正, 小出 祐毅, N.M.Krishna, 砂岩の凍結融解における物性パラメータの影響に関する数値解析, 第55回土木学会年次学術講演会, 2000.

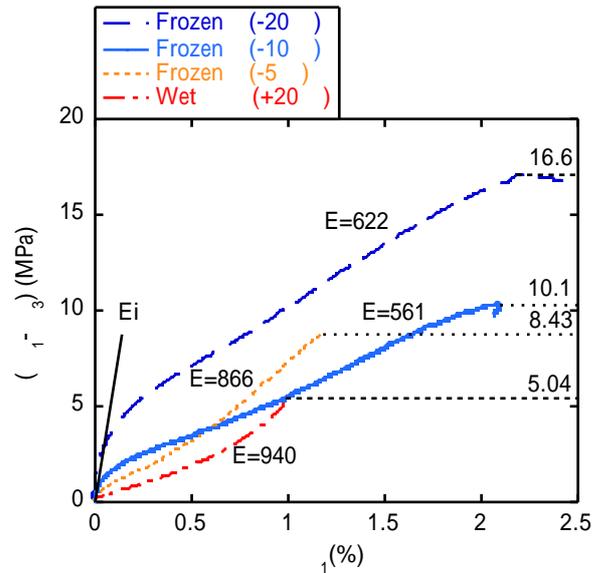


図2 一軸圧縮試験時の設定温度による軸応力-軸ひずみ曲線の比較

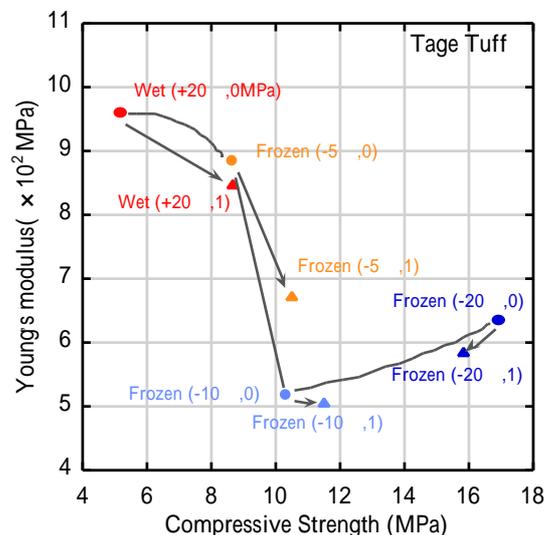


図3 田下凝灰岩の一軸・三軸圧縮試験時の凍結による強度・変形特性の変化 ()内は設定温度と拘束圧力

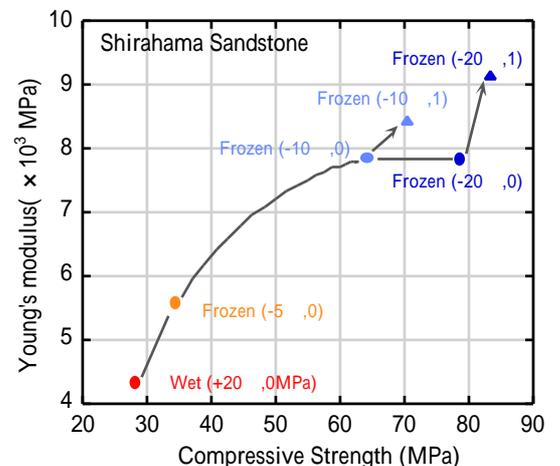


図4 白浜砂岩の一軸・三軸圧縮試験時の凍結による強度・変形特性の変化 ()内は設定温度と拘束圧力