

Ⅲ-A323 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

埼玉大学工学部 ○正会員 山辺 正
 埼玉大学工学部 小林 城幸
 西松建設技術研究所 正会員 石山 宏二

1. はじめに

各種構造物における凍結工法などにより岩盤内に低温熱源が存在する場合には、周辺岩盤に含まれる水分は、温度低下とともに氷へと相変化し岩盤全体も複雑な挙動を示す¹⁾。本研究では低温環境におかれた含水飽和状態にある白浜砂岩について、弾塑性応力・浸透・熱連成場の数値解析²⁾を実施するにあたって必要となる三軸応力下の変形強度特性について実験的に検討する。

2. 凍結状態三軸圧縮試験の方法

実験に用いた白浜砂岩供試体は、直径5cm・高さ10cm(間隙率13.0%)の円柱供試体で、整形後110℃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ブ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。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、温度条件下で圧密し、せん断過程での変形強度特性について観察するとともに熱応力履歴の影響についても検討した。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、水の出入りを許した状態でひずみ速度0.01%/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、50tfのサーボ制御とし強度に対して十分な剛性を有する。凍結過程において冷却装置の設定温度に到達するまでに要した平均的な温度低下率は0.4℃/min.である。

三軸セル内の温度制御には白金測温抵抗体を使用し、温度計測にはK型熱電対を使用した。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、ブライン溶液からなる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。

3. 熱応力履歴による常温下での一軸圧縮試験

図1は、常温下における一軸圧縮試験の軸応力～軸ひずみ曲線であり、上から順に乾燥・湿潤飽和・温度履歴を与えた湿潤供試体である。温度履歴を与えた試験結果は、湿潤状態の供試体を-10℃で凍結させ、さらに常温まで融解させた後に実施した一軸圧縮試験の結果である。また、図中それぞれのヤング率Eは応力～ひずみ曲線において変曲点間の最も長い直線部分の傾きとした接線ヤング率を意味している。熱応力履歴を与えることにより湿潤飽和状態の岩質材料は変形強度特性とともに著しく低下し、1回の熱応力履歴によりこの場合には接線ヤング率・強度とも約1/2になっていることが判る。なお、図1における「ひずみ」は全て供試体に貼りつけられたひずみゲージによる計測結果であり、応力～ひずみ曲線が下に凸となっているのはいわゆる bedding error ではなく供試体内部に含まれる空隙がせん断応力が低い段階で大きく変形することや、堆積構造との関係から変形しやすい面に直交する方向に載荷しているためと考えられる。

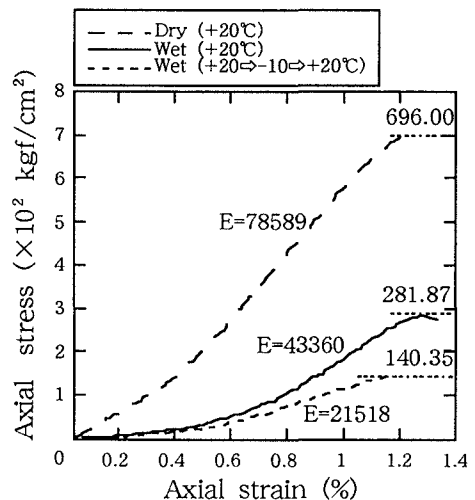


図1 熱応力履歴による常温下での軸応力-軸ひずみ曲線への影響

凍結下三軸試験 変形 強度

〒338-8570 浦和市内大久保255 埼玉大学工学部建設工学科 TEL 048-858-3544, FAX 048-858-7374

4. 凍結下一軸・三軸圧縮試験結果

第2節に示した実験方法により、白浜砂岩の凍結下一軸圧縮試験を実施し、縦軸にヤング率、横軸に一軸圧縮強度をとり図2にまとめた。図中+20℃□Wetの印は、図1のWetと同一のデータであり、温度履歴を与えた結果も図1に含まれるものと同一である。一方、凍結状態の一軸圧縮試験結果を見ると、湿潤状態の供試体が低温熱応力を受けて内部の水が氷に相変化する事により、変形強度ともに上昇し、冷却温度に依存したヤング率と強度になることがわかる。また、-10℃と-20℃のヤング率がほぼ同一の値であることから、-10℃程度の温度で微小間隙内部にある水の大部分が凍結しているものと考えられる。それと同時に、間隙内部に含まれる水分は、0℃で全ての水が凍結するのではなく、-20℃に至る過程で徐々に固相に変化していくことを表していると考えられる。この傾向は気泡コンクリートにおいて観察される傾向に類似している。

拘束圧力を与えた凍結状態三軸圧縮試験時の軸差応力～軸ひずみの結果を図3に示す。ここでは拘束圧力 σ_3 が0から30kgf/cm²へと高くなるにつれて変形強度ともに増加することが確認できる。また、この応力～ひずみ曲線の初期には、上に凸となる部分がありこれは岩石内部の水が降伏するためと考えられる。さらに破壊基準にMohr-Coulomb型を仮定し、内部摩擦角を一定（ $\phi=31^\circ$ ）として実験結果を整理すると、図4に示すように-5℃以下の環境温度において粘着力成分は著しく増加することが明らかとなった。

以上の凍結下一軸・三軸試験に使用した白浜砂岩を、縦30cm横30cm厚さ15cmに整形した供試体とし、その中央部分に1つのボアホールを設け銅製凍結管（管半径2.3cm）を挿入し、その内部に-20℃に冷却した不凍液を循環させる室内凍結融解試験³⁾を別途実施している。その数値解析⁴⁾の入力として必要となる変形強度特性には接線ヤング率の応力レベル依存性と粘着力成分の温度依存性を考慮した形式とすべきことがわかる。

5. まとめ

白浜砂岩を用いて凍結下一軸・三軸試験を実施した結果、

- 1) 低温下の温度履歴を与えると変形強度特性が著しく低下するが、低温下の変形強度は増加すること（図2）
- 2) 接線ヤング率は拘束圧力とせん断応力レベルに依存していること（図3）などが判明した。

参考文献

- 1) 稲田善紀, 山辺正: 各種条件下に・・・挙動, 材料, pp. 1996.
- 2) 柿沢雅樹: 埼玉大学修士論文, 1998.
- 3) 濱田雄史 他: 凍結融解する砂岩の温度変形特性に関する実験および熱特性の逆解析, 第54回土木学会年講, 1999.
- 4) 小出祐毅 他: 凍結融解時の連成解析における物性パラメータの影響, 第54回土木学会年講, 1999.

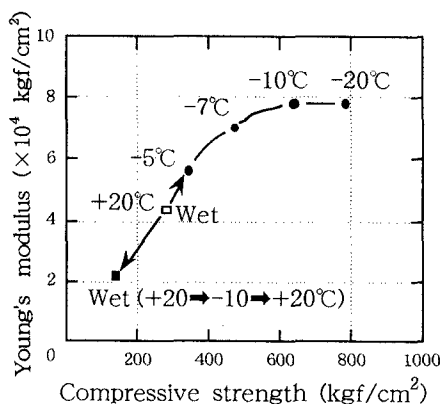


図2 一軸圧縮試験時の凍結による変形強度特性の変化

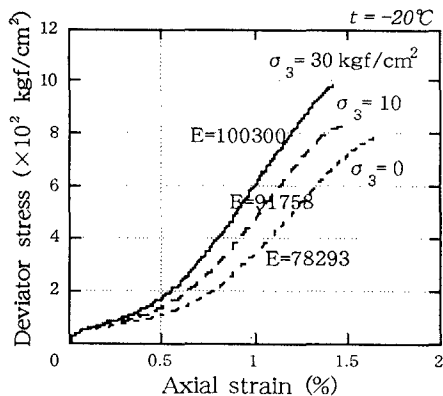


図3 凍結三軸圧縮試験時の拘束圧による効果

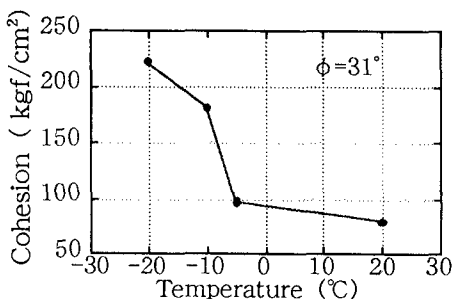


図4 温度低下に伴う粘着力の変化