

III-196 低温三軸応力下における堆積軟岩の力学特性

清水建設株式会社 正会員 ○ 木 下 直 人
安 部 透

1. はじめに

低温液化燃料の岩盤内貯蔵施設や地下冷凍倉庫の建設にあたっては、低温下における岩盤の力学特性を知る必要がある。わが国における低温下岩石の力学特性に関する研究は、従来一軸応力条件下でのみ行われており^{1)~4)}、三軸下で行われた例は全くない。また、一軸下における実験では、主として花崗岩や安山岩のような火成岩を対象としており、堆積岩を対象とした実験例は少ない。そこで、代表的な堆積軟岩である大谷凝灰岩を用いて、 -40°C までの温度範囲で三軸圧縮試験を行い、主としてその強度特性に及ぼす温度、側圧および含水状態の影響について検討した。

2. 実験概要

表-1 実験条件

実験に用いた岩石は大谷凝灰岩であり、その間隙率は約44%である。供試体の寸法は、直径50mm、高さ100mmとした。三軸室は、八嶋ら⁵⁾が用いたものと同じ構造であり、側圧300kgf/cm²、温度 -40°C までの範囲で、試験を行うことができる。側液としては、低温用シリコンオイルを用いている。

含水状態	乾燥, 含水飽和
温度($^{\circ}\text{C}$)	室温, -10 , -25 , -40
側圧(kgf/cm ²)	0, 10, 20, 50, 100
ひずみ速度(%/min)	0.15

表-1に示したように、含水状態、温度、側圧をパラメータにとって実験を行った。含水状態に関しては、72時間以上減圧水浸させたものを含水飽和状態、 110°C で48時間以上乾燥させた後デシケーター内で室温にもどしたものを乾燥状態とした。含水飽和供試体では、 -10°C 、 -25°C 、および -40°C で、乾燥供試体では室温および -40°C で試験を行った。供試体の冷却速度は $-15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ とし、所定の温度に達した後20分以上放置してから圧縮試験を開始した。含水飽和状態の場合、 0°C から約 -20°C までの温度範囲において、間隙水の凍結による体積の膨張がみられる。そして、 -10°C で試験を行う場合、所定の温度に達した後もしばらく膨張現象が続く。したがってこのような場合には必ず膨張現象が終了してから試験を開始するようにした。試験はすべてひずみ制御で行い、ひずみ速度は0.15%/minとした。ひずみの測定は、三軸室外に設置したカンチレバー型ひずみゲージ変換方式の変位計を用いて行ったが、ひずみの小さい領域では供試体に貼付した低温用ひずみゲージを併用した。

3. 実験結果と考察

含水飽和状態における三軸圧縮試験から求めた軸差応力～軸ひずみ関係を図-1に、乾燥状態におけるそ

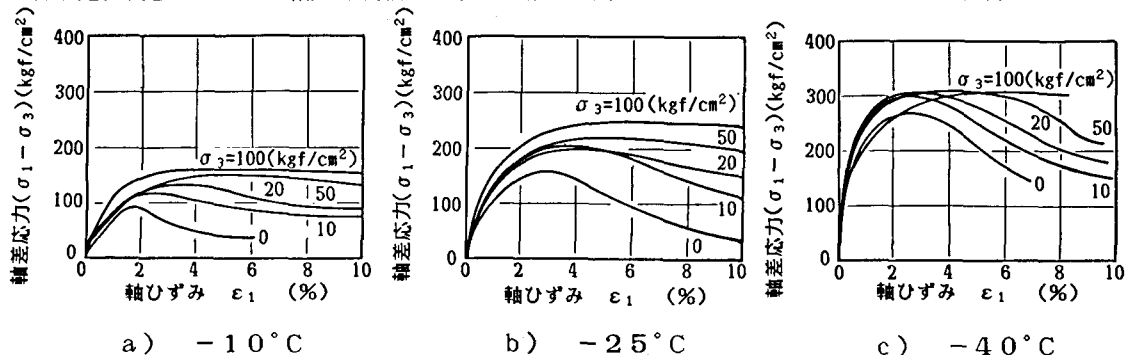


図-1 軸差応力～軸ひずみ関係（含水飽和状態）

れを図-2に示す。初期の直線部分の勾配から求められるヤング率は、含水飽和状態では、温度の低下にともない増加する。一方、乾燥状態におけるヤング率はほとんど温度に依存しない。含水飽和供試体と乾燥供試体の比較では、温度が高いと乾燥状態におけるヤング率の方が大きい、温度が低くなると逆に含水飽和状態におけるヤング率の方が大きくなる。

図-3は、最大強度と温度の関係を示したものである。この場合、乾燥状態において室温で試験を行ったものは、0℃で試験を行ったものとして示している。含水飽和状態における最大強度は、温度の低下にともないほぼ直線的に増加する。その直線の傾きは、側圧にあまり依存しない。一方、乾燥状態では、低温になると最大強度は増加するが、その度合いは含水飽和状態ほど著しくない。含水飽和状態においても乾燥状態においても、側圧が作用すると最大強度は増加する。特に側圧が小さい場合にその傾向が著しい。また、乾燥状態における最大強度の方が側圧依存性が大きい。

八嶋ら⁵⁾および後藤ら⁶⁾は、今回の実験とほぼ同じ温度、側圧条件で、凍結砂の三軸圧縮試験を実施している。そして、凍結砂の最大強度は温度低下にともないほぼ線形的に増加し、その直線の傾きは、側圧によらず一定であること、最大強度は側圧の増加にともない大きくなるが、特に側圧が小さい場合にその傾向が著しいことを明らかにしている。これらの結果は、今回大谷凝灰岩の三軸圧縮試験によって得られた結果と全く同じである。

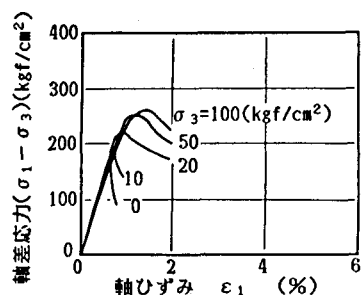
-40℃では、側圧が小さいと含水飽和状態における最大強度の方が大きい、側圧が大きくなると、逆に乾燥状態における最大強度の方が大きい。供試体冷却時の体積変化の測定結果によれば、空隙内の水の大部分は0℃から-20℃の温度範囲で凍結するので、-40℃では、不凍水が存在していたとしてもごくわずかであると考えられる。したがってこの試験結果は、岩石内の空隙を氷で充填すると、強度が低下することがあり得るということを示している。

4. おわりに

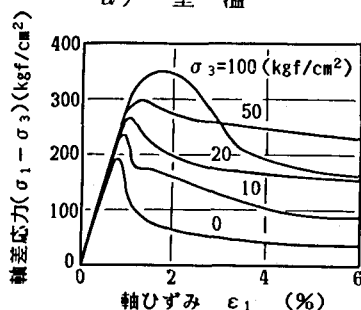
代表的な堆積軟岩である大谷凝灰岩を用いて、低温下で三軸圧縮試験を行い、その力学特性に及ぼす温度、側圧および含水状態の影響を明らかにした。そして、含水飽和供試体の最大強度に及ぼす温度と側圧の影響に関しては、凍結砂におけるそれと同じであることがわかった。また、岩石内の空隙が氷で充填された場合強度が低下することがあり得るという結果が得られた。

参考文献

- 1) 福田正巳：低温科学、物理篇、32、243～249 (1974)
- 2) 岡林信行他：鹿島建設技術研究所年報、26、7～14 (1978)
- 3) 稲田善紀他：材料、29、327、1221～1227 (1980)
- 4) 松永 烈他：日本鉱業会誌、97、1120、431～436 (1981)
- 5) 八嶋 厚他：土の凍結に関するシンポジウム発表論文集、43～52 (1986)
- 6) 後藤 茂他：清水建設研究所報、33、37～49 (1980)



a) 室温



b) -40℃

図-2 軸差応力～軸ひずみ関係 (乾燥状態)

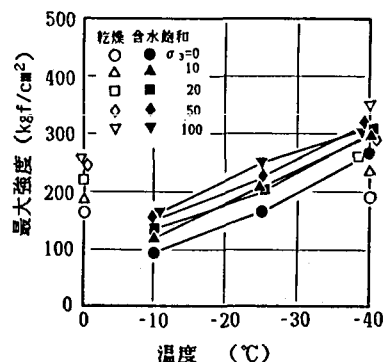


図-3 最大強度と温度の関係