

低温下における泥岩のせん断強度特性

愛媛大学工学部	正会員	稲田善紀
愛媛大学工学部	正会員	木下尚樹
愛媛大学大学院	学生員	松尾 暁
愛媛大学大学院	学生員	○中戸和正

1. はじめに

近年我が国では、石油代替エネルギーとしてLNGおよびLPGの需給量が増加している。また、多様化した社会を背景として冷凍食品の需給量も増加の傾向を示している。これらの低温物質の貯蔵方法の一つとして、地山岩盤内に設けた空洞内に直接貯蔵することが考えられる。これまでの研究により泥岩や凝灰岩の岩盤内に設けた空洞に低温物質を貯蔵した場合、空洞周辺岩盤は間隙中の水の氷結膨張によってせん断破壊することが解析結果よりわかっている。そのため、これらの岩石の低温下におけるせん断強度特性を明らかにする必要がある。本研究では、プロトジャコノフ型のせん断試験機を用いて低温下における泥岩のせん断強度試験を行い、その特性について考察した。また、一軸圧縮強度と引張強度から推定したせん断強度と比較し、考察した結果について述べる。

2. 実験に使用した試料

本実験に用いた泥岩は、神奈川県相模原市の上総層群の泥岩（第三紀鮮新世～第四紀洪積世）である。試料は以下に示すに2通りの方法で処理し用いた。

① 室内で7日間自然乾燥させ、これをデシケータ内でさらに7日間乾燥した。

② ①の状態のものを蒸留水を満たしたデシケータ内で真空ポンプにより5時間脱気した。

以後、①の状態のものをDry、②の状態のものをWetと呼ぶ。また、今回の実験では層に平行に加圧する場合について実験を行った。

3. 泥岩のせん断強度特性

本実験では、プロトジャコノフ型のせん断試験機を用いて低温下における泥岩の一面せん断試験を行った。供試体を断熱したボックス内で液体窒素を用いて冷却し、冷却温度は、常温、 -5°C 、 -50°C 、 -100°C 、 -160°C とした。供試体は $\phi 3 \times 6\text{cm}$ の円柱供試体を用い、降温速度は $1^{\circ}\text{C}/\text{min}^{1)}$ とし、所定温度に到達した後の保温時間は60分とした²⁾。せん断試験機概念図を図1に示す。ダイスの角度(α)を変化させることにより、それぞれの角度における破壊時のせん断応力(τ)と垂直応力(σ)を求めることができる。ダイスの角度は、 10° から 45° とし、この間を7段階に分け実験を行った。この実験より求めた値は引張強度を頂点とするせん断曲線として最小二乗法により近似した。

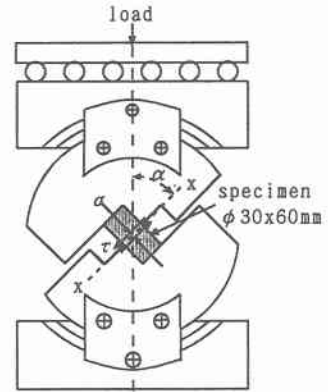


図1 せん断試験機概念図

Mohrの破壊包絡線と実験結果から求めたせん断曲線を比較したものを図2(a)～(d)に示す。破壊包絡線は引張強度を頂点とし、一軸圧縮強度と原点とを直径とする円に接する2次曲線である。Dryの状態では、せん断試験から求めたせん断強度の方が破壊包絡線よりもわずかながら大きい値を示しているが、どの所要温度においてもほぼ一致しているといえる。Wetの状態では、常温下においてせん断試験の結果は破壊包絡線に比べかなり大きい値を示している。これは間隙中の水が何らかの影響を及ぼしているものと思われる。低温下においては、これら2つの曲線はよく一致している。

次に、一軸圧縮強度と引張強度から推定されたせん断強度とせん断曲線より求めたせん断強度を比較した結果を図3に示す。 S_1 は一軸圧縮強度の応力円と引張強度の応力円の共通接線と τ 軸との交点から、 S_2 は

圧裂引張試験時の応力集中を考慮した応力円と一軸圧縮強度の応力円の共通接線と τ 軸との交点から、 S_3 せん断試験より求めたせん断曲線と τ 軸との交点から、 S_4 はMohr破壊包絡線と τ 軸との交点から求めたせん断強度である。せん断強度はDry, Wetともに温度の低下に伴い強度が上昇している。これは、温度低下に伴い鉱物粒子が硬化、収縮したためであると考えられる。また、強度上昇の割合はDryよりもWetの方が大きいことがわかる。これは、間隙中の水の膠結物質としての影響が大き

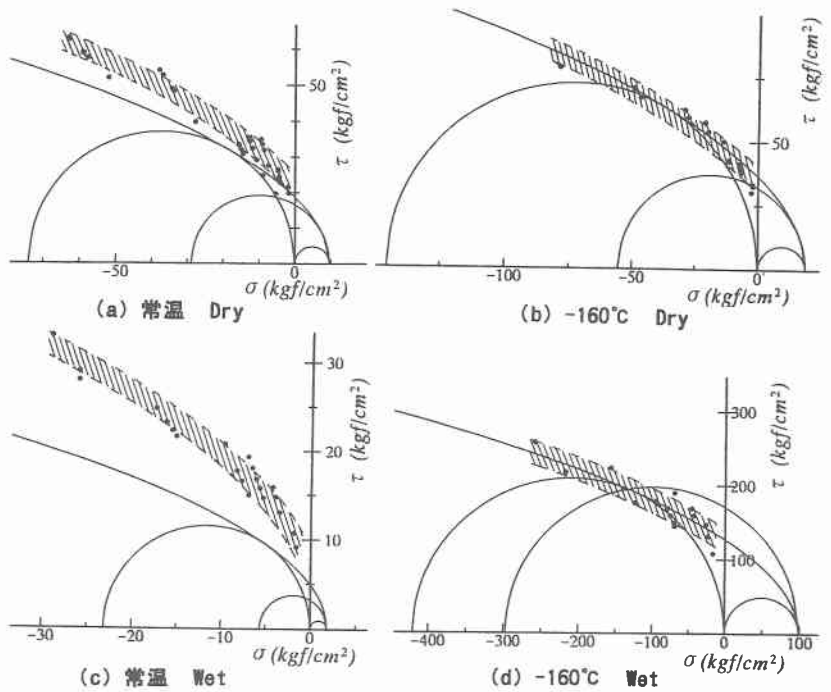


図2 Mohrの破壊包絡線とせん断曲線

く関与しているものと推察される。また、含水状態に関わらずい

ずれの温度においても、 S_1 より求めた値は最も小さい値を示している。 S_2 より求めた値はDryでは S_3 に比較的近い値を示している。しかし、Wetの低温下では、 S_3 に比べかなり大きい値を示している。これは図2(d)で、せん断曲線が圧裂引張試験時の応力集中を考慮した応力円と交わっていることからわかる。この応力円は、等方均質な弾性体を仮定した場合、供試体内部には引張応力の3倍の圧縮応力が作用するとしたものであるが、低温下において泥岩(Wet)の試験を行った場合、供試体内部の応力状態はこれとは異なっており、3倍の圧縮応力より小さい応力が作用しているものと推察され、約1.2~1.5倍の圧縮応力が作用していれば S_2 と S_3 が一致することがわかる。 S_4 はDry, Wetともに温度に関わらず S_3 と比較的近い値を示している。

4. おわりに

圧裂引張試験時の応力集中を考慮した応力円と一軸圧縮強度の応力円の共通接線より求めたせん断強度は、Wetの低温下においては直接せん断試験より求めたせん断強度に比べかなり大きい値を示すことがわかった。また、Mohrの破壊包絡線より求めたせん断強度は、せん断試験より求めたせん断強度ほぼ一致していることがわかった。

本研究で用いた泥岩は、東急建設(株)より提供して頂いた。ここに記し御礼申し上げたい。

参考文献

- 1) 山口梅太郎, 宮崎道雄, 日本鉱業会誌, 86, 986, pp. 347~348, 1970.
- 2) 稲田善紀, 八木則男, 材料, 28, 313, pp. 979~985, 1979.

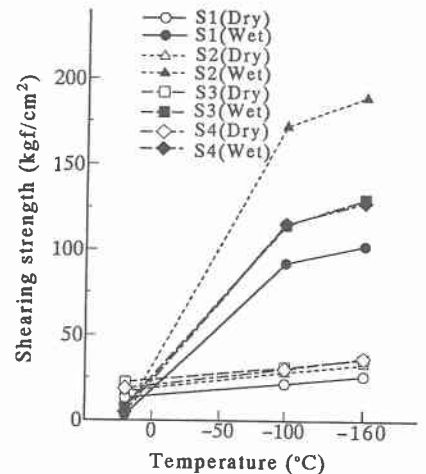


図3 低温下における泥岩のせん断強度