

Ⅲ-19 低温の影響を受ける岩石の引張応力下の力学特性

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田 善紀
愛媛大学工学部 正会員 木下 尚樹
白石建設工業（株） 正会員 付 連友
愛媛大学大学院 学生員 ○黒河 雅之

1. はじめに

筆者らは LNG, LPG, 冷凍食品等の低温物質を地山岩盤内に設けた空洞に直接貯蔵することを提案し、検討してきている¹⁾。これまでの研究により、低温物質を貯蔵した場合には、岩盤の熱収縮に起因する引張応力により空洞周辺岩盤には亀裂が空洞の半径方向に放射状に発生することがわかっている²⁾。しかし、これらの解析については圧縮応力下での力学特性が用いられており、低温下における引張応力下での力学特性を用いた例は少ない。そこで、低温下における一軸引張試験を行い、強度、接線弾性係数およびポアソン比を求め圧縮応力下と比較した。また、低温物質の貯蔵量の変動や空洞の清掃および点検等により、低温の温度履歴を受けるので、履歴を受けた岩石の強度、接線弾性係数およびポアソン比も求めて考察した。また、圧縮応力下と引張応力下での値を用いて解析を行い、比較し考察した。

2. 実験方法

本研究で用いた一軸引張試験装置の外観を図 1 に示す。試験機の中心軸が一致するようにハイテンションボルトはサーボ圧縮試験の載荷部に直接取り付けられた。さらにボールジョイントを用いることにより供試体がねじれないように補正できるようにした。また、供試体の結合にはエポキシ樹脂系接着剤を用いた。本研究に用いた。岩石試料は、安山岩（愛媛県上浮穴郡久万町産）、砂岩（徳島県鳴門産）および大島花崗岩（愛媛県越智郡宮窪町大島産）である。これらの岩石試料を一軸引張試験用には $\phi 3 \times 10\text{cm}$ 、圧縮試験用には $\phi 3 \times 6\text{cm}$ 、圧裂引張試験用には $\phi 3 \times 3\text{cm}$ にそれぞれ成形した。また、供試体には乾燥状態、湿潤状態の 2 種類を用意した。岩石の物理的性質を表 1 に示す。作製した供試体を低温下の実験では $1^\circ\text{C}/\text{min}$ で降温し、供試体の中心温度が -160°C であることを確認しながら 60 分間保温し雰囲気温度を保ったまま実験を行った。また、5、10 サイクルの温度履歴を与えた後、常温下および低温下で実験を行った。

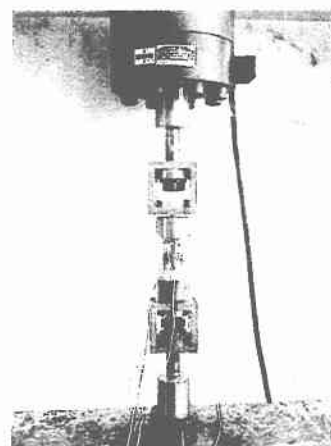


図 1 一軸引張試験装置の外観

3. 実験結果および考察

安山岩および花崗岩の一軸引張および圧裂引張試験の結果を図 2 および図 3 に示す。低温下の方が常温下よりも Dry および Wet 共に強度は大きくなる。これは粒子間の結

表 1 岩石の物理的性質

	空隙率(%)	含水比(%)	飽和度(%)	見かけ比重	真比重
安山岩(Dry)	5.60	0.91	41.02	2.55	2.67
安山岩(Wet)	5.60	1.94	88.33	2.59	2.67
砂岩(Dry)	8.12	1.46	16.77	2.40	2.62
砂岩(Wet)	8.12	3.42	96.89	2.49	2.62
花崗岩(Dry)	0.80	0.09	28.54	2.65	2.67
花崗岩(Wet)	0.80	0.24	81.32	2.65	2.67

合力が鉱物粒子の収縮および硬化により増加したためと思われる。また、一軸引張強度は圧裂引張強度よりも 1~2 割小さくなった。圧裂引張試験の場合は破壊面を人為的に設定して試験を行うが、一軸引張試験の場合は破壊する可能性のある面は無数に存在し、最弱面で破壊が起こるためと思われる。また、圧裂引張試験は線荷重を加えるという仮定のもとに試験を行うが、実際には荷重の増加に伴い供試体が変形することによって線荷重という仮定が満足されていないためとも考えられる。次に一軸引張試験と圧縮試験から得られた応力一ひずみ曲線から、破壊応力の 30% 付近における各岩石の接線弾性係数を図 4 および図 5 に、ポアソ

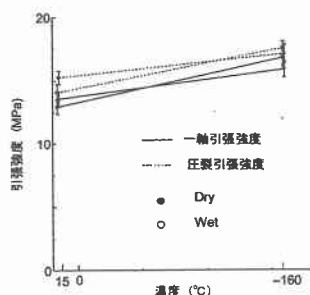


図2 安山岩の引張強度

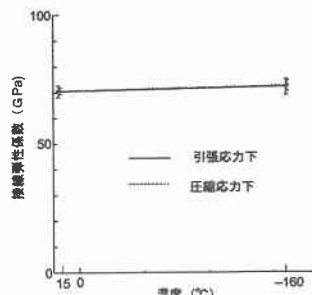


図4 安山岩の接線弾性係数

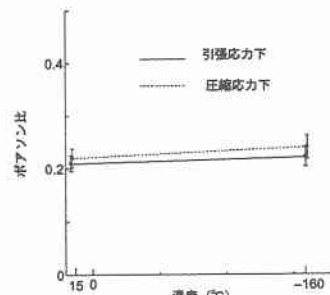


図6 安山岩のポアソン比

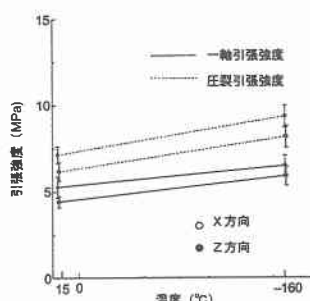


図3 大島花崗岩の引張強度 (乾燥)

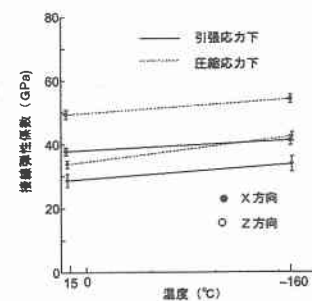


図5 大島花崗岩の接線弾性係数 (乾燥)

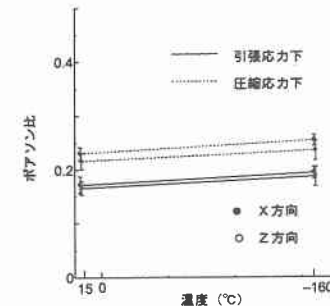


図7 大島花崗岩のポアソン比 (乾燥)

ン比を図6および図7に示す。接線弾性係数については各岩石とも低温下になると少し大きくなっている。これは、構成鉱物粒子が収縮し硬化したためと思われる。ポアソン比についても各岩石とも低温下になると少し大きくなっている。これは常温下では与えられた応力によって供試体のマイクロクラックが広がることにより、横方向の応力が伝わりにくいが、低温下では間隙水が氷結することによって、縦方向の応力を横方向に伝えやすくなるためにポアソン比は増加したと考えられる。また、安山岩は圧縮応力下と引張応力下ではほとんど同じような値をとったが、花崗岩については引張応力下の方が圧縮応力下よりも小さくなった。

4. 低温物質貯蔵時の空洞周辺岩盤の挙動に関する解析結果および考察

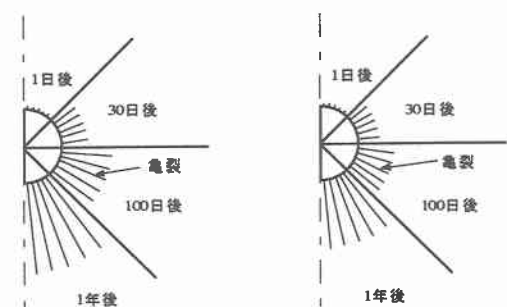
本解析では、土被り100mの花崗岩岩盤内に直径が10mの単一円形空洞を設けて、そこにLNGを貯蔵することを想定して逐次破壊を考慮した亀裂解析法を用いて求めた。圧縮応力下から求めた物性値を用いた解析の結果よりも、引張応力下から求めた物性値を用いた解析の結果は亀裂進展の範囲が小さく、100日後と1年後の亀裂進展の範囲がそれぞれ約1.5mおよび3mほど小さいことがわかった。これは、圧裂引張強度と一軸引張強度とを比べると一軸引張強度の方は値が小さいが、圧縮応力下での接線弾性係数およびポアソン比と引張応力下での接線弾性係数およびポアソン比を比較してみると、引張応力下の方が値が小さいため、その分熱応力の発生が小さくなり、亀裂進展の範囲が小さくなったと考えられる。

5. おわりに

圧縮応力下での値を用いた解析結果と引張応力下での値を用いた解析結果とを比べてみると、後者のほうではLNG貯蔵開始からの100日後および1年後の亀裂進展の範囲がそれぞれ約1.5mおよび3mほど小さいことがわかった。

参考文献

- 1) 稲田善紀：岩盤工学，173～177頁，森北出版，1997
- 2) 稲田善紀，谷口浩二：液化天然ガスの地下岩盤内貯蔵による空洞周辺の塑性領域，日本鉱業会誌，103巻，1192号，365～372頁，1987



(1) 圧縮応力下での値を用いた結果 (2) 引張応力下での値を用いた結果

図8 空洞周辺岩盤の亀裂の進展長 (大島花崗岩)