

低温下における岩石の一軸引張試験と結果を用いた挙動解析

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
 日産建設(株) 正会員 伊与田 亮
 (株)芙蓉調査設計事務所 正会員 山田 公雄

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、検討をおこなってきている¹⁾。低温物質を貯蔵した場合、岩盤が熱収縮し、空洞周辺には引張破壊により放射状に亀裂が発生することがわかっている²⁾。そこで、引張応力下における応力 - ひずみ特性を評価することが重要となる。そのため、低温下における純引張試験を実施し得られた応力 - ひずみ曲線から接線弾性係数、ポアソン比を求め圧縮応力下で得たそれらの値と比較した。また、圧縮試験から得られた値を用いた解析と引張試験から得られた値を用いた解析を行い比較、考察した。さらに、地山岩盤内に低温物質を貯蔵した場合、空洞の整備、点検等により空洞周辺岩盤が熱履歴を受けることが予想される。そこで、熱サイクル試験機を用いて岩石に熱履歴を与え低温下における引張応力下での強度・変形特性を求め、圧縮応力下で得たそれらの値とも比較、考察した。

2. 実験方法

一軸引張試験の外観を図1に示す。ハイテンションボルトを直接サーボ式試験機に取り付け、さらにボールジョイントを用いることにより供試体が軸方向に引っ張られるように補正できるようにした。供試体の結合にはエポキシ樹脂系接着剤を用いた。本実験に用いた岩石試料は、花崗岩(愛媛県越智郡宮窪町大島産)、安山岩(愛媛県上浮穴郡久万町産)、砂岩(徳島県鳴門市産)である。岩石の力学的異方性を考慮して、花崗岩においては、強度がもっとも小さいと考えられる rift - plane で破壊が生じるように一軸引張試験用の供試体には rift - plane に垂直となる面からコアを採取し、圧裂引張試験用には rift - plane に平行となる面からコアを採取した。得られたコアを一軸引張試験用に 3×10 cm, 圧裂試験用に 3×3 cmに成形した。また供試体には乾燥状態のものを用意した。岩石の物理的性質を表1に示す。



図1 一軸引張試験の外観

表1 岩石の物理的性質

	空隙率(%)	飽和度(%)	見かけ比重	真比重
花崗岩(Dry)	0.8	28.5	2.65	2.67
安山岩(Dry)	2.7	41.4	2.60	2.67
砂岩(Dry)	3.8	20.5	2.54	2.64

3. 低温下における引張試験結果および考察

一軸引張強度、圧裂引張強度を図2に示す。いずれの岩石においても温度の低下に伴い値が上昇している。また、一軸引張強度と圧裂引張強度を比較してみるといずれの場合においても圧裂引張強度の方が大きな値を示している。これは、圧裂引張試験は線荷重を加えるという仮定のもとに実験を行っているが、実際には荷重の増加に伴い供試体に変形することで線荷重という仮定が満足されていないことや、圧裂引張試験の場合は破壊面が限定されるのに対して、一軸引張試験の場合は破壊面になりうる面は無数に存在し最弱面で破壊が生じるためと考えられる。

キーワード：岩盤内貯蔵，低温，履歴，一軸引張試験，熱的挙動

連絡先：〒790-8577 松山市文京町3 愛媛大学工学部環境建設工学科 FAX 089-927-9842

一軸引張試験の際に得られた応力 - ひずみ曲線より求めた接線弾性係数を図 3 に示す。接線弾性係数を比較すると、両応力下においても傾向は似ているが、引張応力下の方が圧縮応力下に比べ値が小さい。これは、圧縮応力下においては潜在クラックが閉塞することにより、圧縮荷重を潜在クラック部も支持し得るが、引張応力下においてはクラックの部分は引張荷重を支持し得ない。このため、供試体全断面を有効断面として求めた接線弾性係数に差が生じるものと思われる。

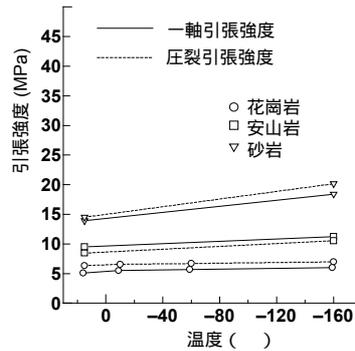


図 2 各岩石の引張強度

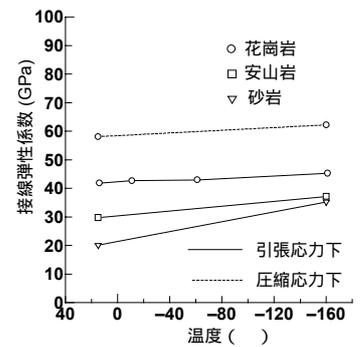


図 3 各岩石の接線弾性係数

4. 低温の熱履歴を受けた場合の各岩石の引張試験結果および考察

熱履歴を受けた各岩石の一軸引張強度、圧裂引張強度を図 4 に示す。熱履歴回数の増加に伴い強度が低下することがうかがえる。これは花崗岩の構成鉱物粒子が熱履歴を受けた際、それぞれの鉱物粒子の膨張・収縮により粒子間のマイクロクラックが増加、拡大したためと考えられる。

一軸引張試験の際に得られた応力 - ひずみ曲線より求めた接線弾性係数を図 5 に示す。熱履歴回数が増加するにつれて僅かながら接線弾性係数の値が低下することがうかがえる。このことから熱履歴を受けることで、鉱物粒子間のマイクロクラックが増加、拡大したものと考えられる。

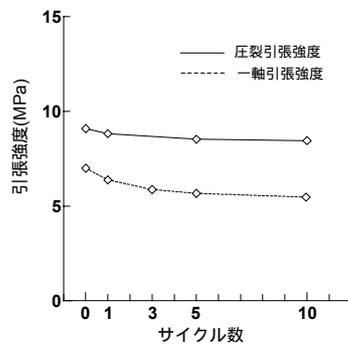


図 4 熱履歴を受けた各岩石の引張強度

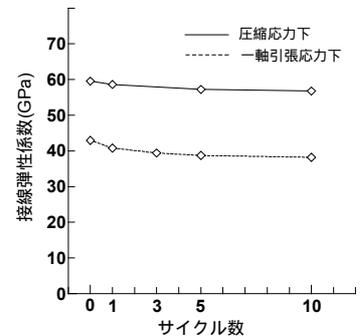


図 5 熱履歴を受けた各岩石の接線弾性係数

5. 低温物質貯蔵時の挙動解析

本解析では、土被り 100m の花崗岩岩盤内に直径 10m の単一円形空洞を設け LNG (- 162) を貯蔵した場合の空洞周辺岩盤の応力分布を亀裂解析法により求めた。結果を図 6 および図 7 に示す。両者を比較すると後者のほうが一年後の亀裂の進展長が約 3m 小さい。これは、一軸引張強度の方が値が小さいが、圧縮応力下での弾性係数と引張応力下での弾性係数との差が引張応力下の方が約 3

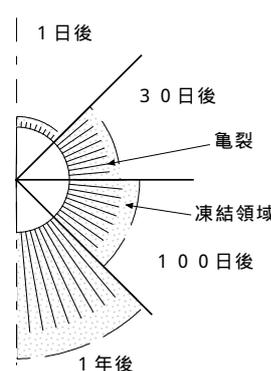


図 6 圧縮応力下での値を用いた解析

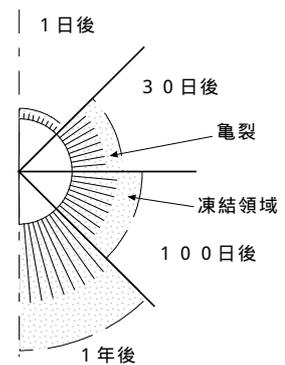


図 7 引張応力下での値を用いた解析

割小さいため、その分熱応力の発生が小さくなり、結果として亀裂の進展が小さくなったものと考えられる。

6. おわりに

今後、熱履歴を受けた岩石のデータを増やし、熱履歴を受けた際の空洞周辺岩盤の挙動を解析により求めていく必要がある。

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空洞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.