

Ⅲ－11 低温の影響を受けた岩石の引張応力下での力学特性

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
 愛媛大学大学院 学生員 ○付 連友
 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、岩盤の熱収縮により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⁾。しかし、これらの解析は圧縮応力下での変形特性を用いた結果であり、低温下で引張応力下での変形特性を求めた例はみあたらない。そこで、低温下における一軸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のそれらと比較した。また、これまでの解析の圧縮応力下で得られた値を用いた解析と新しく引張応力下で得られた値を用いた解析を行い比較、考察した。

2. 実験方法

本実験で用いた一軸引張試験の概念図を図1に示す。試験器は、軸方向に引張荷重を十分大きな荷重まで連続的に加えることができ、同時に荷重と変形が正しく測定できるように考慮し、上下のハイテンションボルトは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。本実験に用いた岩石試料は、大島花崗岩(愛媛県越智郡宮窪町大島産)、稲田花崗岩(茨城県笠間市稲田産)である。岩石の力学的異方性を考慮して、岩石ブロックのそれぞれ直交する3つの面の弾性波伝播速度を測定し、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φ3×10 cm、圧裂試験用にφ3×3 cmに成形した。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。このようにして得られた供試体を低温下の実験では1℃/minで降温し、供試体の中心温度が－160℃であることを確認しながら60分間保温し、その温度を保ち実験を行った。

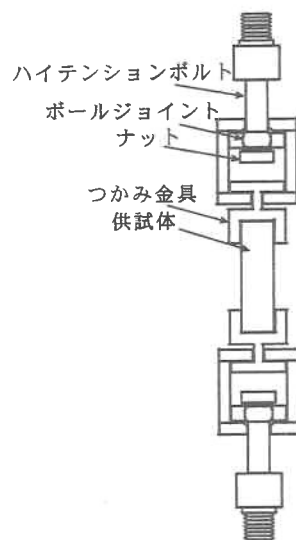


図1 一軸引張試験装置の概念図

3. 実験結果および考察

一軸引張強度、圧裂引張強度を図2に示す。両岩石とも温度の低下に伴い値が上昇している。これは、温度低下に伴い鉱物粒子が収縮して硬化したためと考えられる。また、一軸引張強度と圧裂引張強度を比較してみると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の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。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。圧縮応力下、引張応力下での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

表1 岩石の物理的性質

	空隙率(%)	飽和度(%)	見かけ比重	真比重
大島花崗岩(dry)	0.8	28.5	2.65	2.70
大島花崗岩(wet)	0.8	81.3	2.65	2.70
稲田花崗岩(dry)	1.5	5.45	2.63	2.67
稲田花崗岩(wet)	1.5	44.14	2.63	2.67

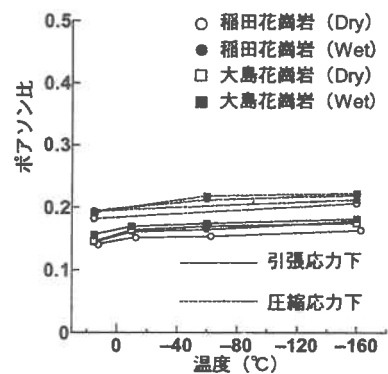
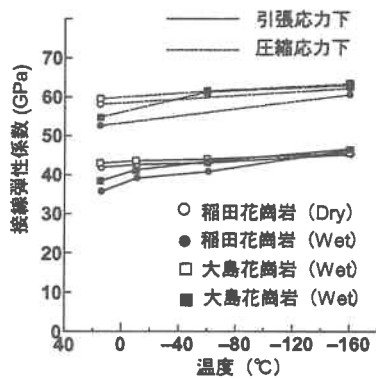
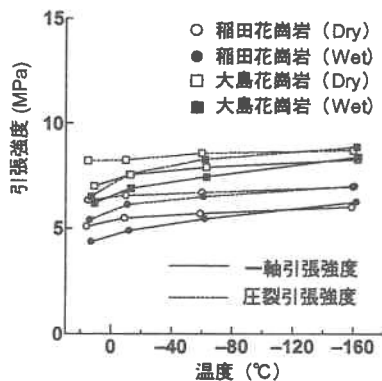


図2 低温下における引張強度

図3 低温下における接線弾性係数

図4 低温下におけるポアソン比

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。このため圧縮応力下と引張応力下では、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。次に、ポアソン比を図4に示す。ポアソン比は常温下に比べ低温下の値が大きくなっている傾向がある。これは一軸引張試験では与えられた応力により供試体のマイクロクラックが広がり、横方向に応力が伝わりにくい、低温下では間隙水が氷結することにより縦方向の応力を横方向に伝えやすくと考えられ、これによりポアソン比が増加したものと思われる。値の大きさを比べると、引張応力下の方が小さくなっている。これは、圧縮応力下では潜在クラックを閉じる方向に応力を与えていくので比較的空隙の小さい花崗岩では横方向にも力を伝えやすいが、引張応力下では加圧軸に対して最も大きく、最も危険な方向を向いている潜在クラックの縁に応力集中がおこることにより、そこから破壊が始まるとされているので引張応力が作用することで加圧軸に垂直な方向の潜在クラックが進展し、加圧軸方向にはひずみ易いが圧縮応力下にくらべて横方向には力が伝わりにくく、横ひずみの増加割合が小さくなっているものと考えられる。

4. 低温物質貯蔵時の地山岩盤内空洞の挙動の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10m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。圧縮応力下での値を用いた解析の結果を図5に引張応力下での値を用いた解析結果を図6に示す。両者を比較してみると後者のほうが一年後の亀裂の進展長が約3mほど小さい。これは、圧裂引張強度と一軸引張強度とを比較してみると一軸引張強度のほうが値が小さいが、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で

の方が約3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。

5. おわりに

圧縮応力下での強度・変形定数を用いた解析と引張応力下での強度・変形定数を用いた解析とを比較してみると、引張応力下での値を用いた解析のほうが約3mほど亀裂の進展が小さくなることがわかった。

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

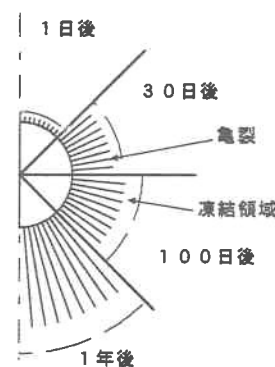


図5 圧縮応力下での値を用いた解析

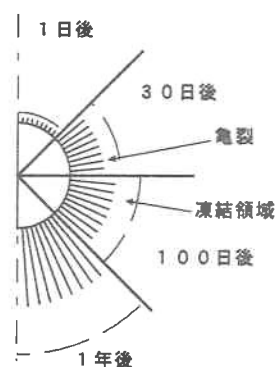


図6 引張応力下での値を用いた解析