

岩盤接着剤としての薬液の強度特性に及ぼす極低温の影響

愛媛大学工学部 (正会員) ○稲田善紀

愛媛大学工学部 (正会員) 八木則男

(株)応用地質調査事務所 (正会員) 利藤房男

1. 緒言

液化天然ガスを地下岩盤空洞に貯蔵する場合、岩盤は -162°C という極低温の影響を受け、岩盤内に亀裂が存在している場合には岩盤の熱収縮によって、さらに亀裂が進展することが予想される。そこで、亀裂の進展を防ぐために岩盤接着剤を亀裂内に注入しておく必要がある。今回は岩盤接着剤として高分子系の薬液を選んだが、亀裂内に注入した岩盤接着剤も極低温の影響を受けるため、温度の低下が、これらの材料の強度ならびに変形特性に及ぼす影響を実験によって求め、極低温下における岩盤接着剤としての適否を考察した結果について報告する。

2. 実験に使用した岩盤接着剤

一般に地盤強化や止水を目的として地盤内に注入する材料を注入材(グラウト)と呼び、それらのうち、その素材が薬剤を使用し、化学反応により固結するものを特に薬液と呼んでいる。しかし、従来から用いられてきた薬液は、今回のように岩盤を接着するという目的から考えると強度的に十分でない。そこで岩盤の接着としての目的のみをもち、常温において接着力をも含めた強度特性にすぐれているとされている高分子系の岩盤接着剤を使用することとした。本実験で用いた岩盤接着剤は、エポキシ樹脂をベースにし改良したクリートボンド#1(株)ABC商会製)と、不飽和ポリエステルをベースにし改良した不飽和ポリエステル樹脂エスターR289B(三井東圧化学(株)製)の2種類である。以下、エポキシ樹脂といえばクリートボンド#1のことを、ポリエステル樹脂といえば不飽和ポリエステル樹脂エスターR289Bをさすことにする。

3 低温が岩盤接着剤の線膨張係数に及ぼす影響

3.1 実験方法

試料は、直径3cm、長さ6cmの円柱状のものを作製し、これにストレインゲージをはり低温炉に入れ、温度の低下によるひずみを静ひずみ指示計により測定した。

3.2 実験結果および考察

図1は温度の低下によるひずみの変化を示したものである。これよりエポキシ樹脂およびポリエステル樹脂ともに非常によく似た挙動を示している。まず、 0°C 以下の部分においては、温度の変化に対して、ひずみはほぼ直線的であるということがわかる。また、 -160°C まで一度冷却して、これと室温(20°C)にもひずみ、ほとんど残留ひずみを残さずにもとにもどる。このことより、温度履歴を受けても力学的な性質は変化しないことが推測される。実際、一度温度履歴をうけた試料に対して圧縮試験および引張試験を行なったが、圧縮強度、引張強度、接線弾性係数、ポアソン比の変化はみられなかった。次に、図2および図3は、温度の低下によるひずみの変化より、接線線膨張係数、割線線膨張係数を求めて図示したものである。

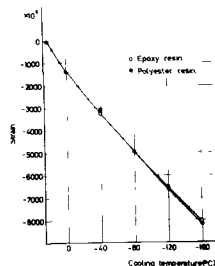


図1. 温度の低下が岩盤接着剤のひずみに及ぼす影響

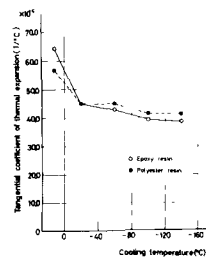


図2. 温度の低下が岩盤接着剤の接線線膨張係数に及ぼす影響

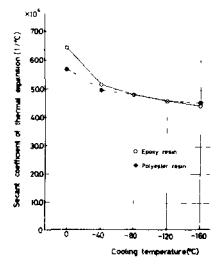


図3. 温度の低下が岩盤接着剤の割線線膨張係数に及ぼす影響

4. 低温が岩盤接着剤の変形強度特性に及ぼす影響

4.1 実験方法

圧縮試験においては、直径3 cm、長さ6 cmの円柱状に、また引張試験においては、ダンベル型の試料を製作した。これらの試料は、低温炉内で冷却されたまま実験に供されるが、実験に際しては、ひずみ速度を $3000 \times 10^{-6}/\text{min}$ 、 $6000 \times 10^{-6}/\text{min}$ 、 $12000 \times 10^{-6}/\text{min}$ の3種類に変化させることとした。また圧縮試験の際、試料表面にストレーンゲージをはり、応力-ひずみ曲線を求めておき、これより接線弾性係数およびポアソン比を求めた。

4.2. 実験結果および考察

図4～7は、ひずみ速度一定 ($6000 \times 10^{-6}/\text{min}$) とした場合の温度の低下による圧縮強度、引張強度、接線弾性係数、ポアソン比の変化を表わしたものである。なお、接線弾性係数およびポアソン比の値は、圧縮強度の30%に相当する応力付近でのそれを示したが、圧縮応力の立ち上がり付近および圧縮強度の70%に相当する応力付近での接線弾性係数 E_0 、 E_{70} およびポアソン比 μ_{30} についても E_{30} 、 μ_{30} と全く同じ傾向を示した。まず、図4より温度の低下につれ圧縮強度は -160°C において約2倍もの大幅な増加を示していることがわかる。また前述の線膨張係数の実験より、温度の低下とともに両試料とも大幅に収縮することがわかったので、この温度の低下による収縮が圧縮強度増加の原因と考えられる。このことは図6に示した接線弾性係数が温度の低下とともに大きくなってゆくことも関連性がある。次に図5は温度の低下による引張強度の変化を表わしたものであるが、一軸引張試験においては、 -160°C 付近ではばらつきが大きく、はっきりとした結果は得られなかったので、 -20°C 以下の低温で圧裂試験を行ない値を推定することにした。圧裂試験の結果からは、温度の低下とともに引張強度はやや大きくなることがわかる。図7は温度の低下によるポアソン比の変化をあらわしたものであるが、温度の低下とともに値がわずかながら低下することがわかる。

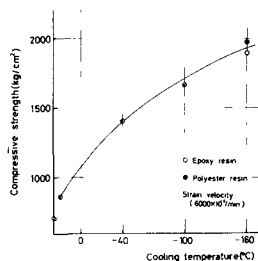


図4. 温度の低下が岩盤接着剤の圧縮強度に及ぼす影響

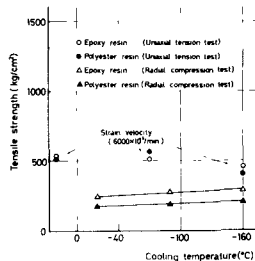


図5. 温度の低下が岩盤接着剤の引張強度に及ぼす影響

以上の結果は、ひずみ速度を $6000 \times 10^{-6}/\text{min}$ とした場合のものであったが、ひずみ速度を $3000 \times 10^{-6}/\text{min}$ 、 $12000 \times 10^{-6}/\text{min}$ としても、まったく同様な結果を得た。また温度を一定とした場合のひずみ速度の変化による圧縮強度および引張強度の変化は図8～9に示すように $3000 \times 10^{-6}/\text{min} \sim 12000 \times 10^{-6}/\text{min}$ のひずみ速度の範囲内では、ひずみ速度が大きくなるにつれ少しずつ大きくなることがわかった。しかし接線弾性係数およびポアソン比については、ほとんど変化がみられなかった。

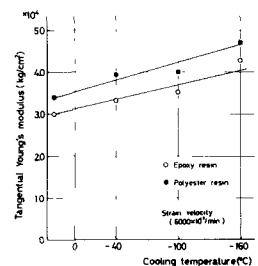


図6. 温度の低下が岩盤接着剤の接線弾性係数に及ぼす影響

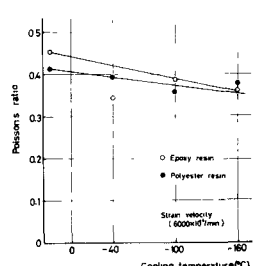


図7. 温度の低下が岩盤接着剤のポアソン比に及ぼす影響

4. 結言

温度の低下によってエポキシ樹脂およびポリエステル樹脂の強度は増加し、それを室温にもおいても温度履歴を受けていないものと比べて強度の変化はみられない。これは岩盤接着剤として使用する場合に非常に有利に思われる。しかし、温度の低下により非常に大きなひずみを生じるため、これを岩盤内に注入して岩盤と一体として働かせる場合、低温においての岩盤との間で生じるひずみの差が問題になってくるものと見られる。

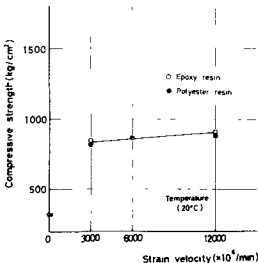


図8. ひずみ速度の変化が岩盤接着剤の圧縮強度に及ぼす影響

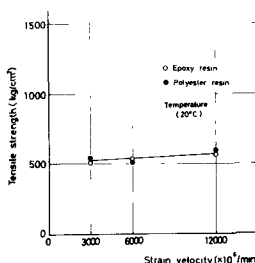


図9. ひずみ速度の変化が岩盤接着剤の引張強度に及ぼす影響