

低温物質の岩盤内貯蔵における水封式の適用性に関する基礎実験

愛媛大学大学院 フェロー 稲田善紀 正会員 木下尚樹 正会員 川口隆 学生会員 ○安藤新一郎

1. はじめに

わが国では石油代替エネルギーとして LNG の需要量の増加が見込まれている。この社会背景により LNG の安定供給を求めるため、地山岩盤内に設けた空洞に直接貯蔵することが提案されている¹⁾。しかし、LNG は低温であるため、地山岩盤が熱収縮による引張破壊を起こし、岩盤空洞内に放射状の亀裂を生じるため、そこから貯蔵物内の冷気が亀裂内に浸入し、亀裂をさらに進展させる可能性があり、その対策が必要となる。

本研究では、極低温物質を岩盤内貯蔵した場合の水封式の適用性について模型を用いて実験的に検討、考察を行った。

2. 低温物質貯蔵時の水封式の効果に関する基礎実験

実験装置は、角柱のセメントモルタルと水で熱源である液体窒素と水を分離し、氷に亀裂を生じさせることで岩盤収縮時の亀裂を表現した。また、亀裂に水が浸入したことを観察しやすいように水を着色した。

亀裂を入れた直後の様子を図-1 に示す。水の亀裂への浸入はみられず、水と氷の境界面で瞬時に凍結し、液体窒素の流出を防いでいることがわかった。つぎに時間が経過すると亀裂先端部から凍結し、水側へ凍結層が広がる。その状態で再び亀裂を生じさせた。その場合も図-2 および図-3 に示すとおりの現象が観察された。

これらの実験結果より氷を十分に形成した後、亀裂を入れると亀裂内部には液体窒素が浸入するが、水と氷の境界面で瞬時に凍結し、液体窒素の流出を防いでいることがわかった。さらに、低温の影響による亀裂の進展に見立て、一定時間経過した後には亀裂を発生させても、同様に液体窒素の流出を防ぐことがわかった。これより水封式による低温物質の漏出防止は有効な手段であると考えられる。

しかし、亀裂が温度収縮によって連続的に発生する場合、液体窒素は水を貯蔵している部分へ浸入し、水との接点にて凍結する。このため漏出を防ぐことはできるが、亀裂を塞ぐことをできないため、極低温の熱源は貯蔵場所の外側に進出していくため、熱源が拡大していくことが予想される。

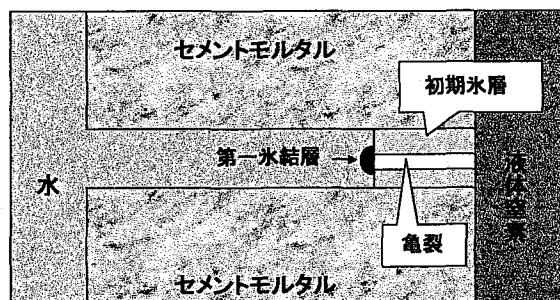


図-1 第一段階の氷層形成の模式図

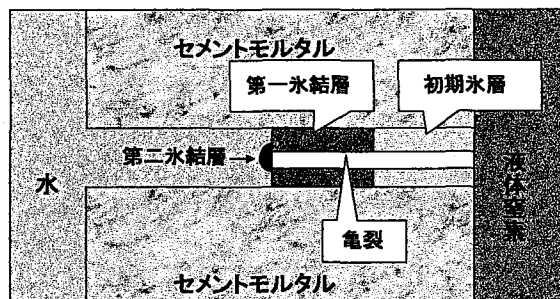


図-2 第二段階の氷層形成の模式図

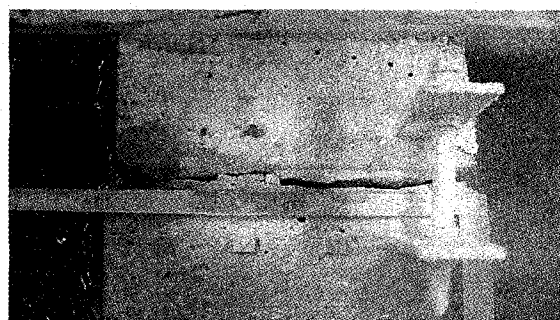


図-3 実験の外観

3. 極低温物質の貯蔵内圧力と水封圧力の差圧に関する実験

水封式貯蔵では、岩盤内の亀裂が水で満たされた状態となり、貯蔵内の LNG が気化して発生するボイルオフガスの内部圧力と亀裂から浸入する水との圧力差が生じるため、貯蔵が可能となると考えられる。また

低温物質貯蔵時には、亀裂内で水が凍結することで貯蔵物質の外部への漏出を防止し、その熱源の拡大を抑止する効果が期待されると考えられる。実際にこのような現象が発生するかについて、図-4 に示すような模型を作り実験を行った。

実験により、水封圧力が低温物質の圧力より 0.1MPa 小さい場合、図-5 のように熱源である液体窒素が亀裂を通して気化ガスと共に漏出するが、その後、水側に接する亀裂の周りで凍結することを確認した。

水封圧力が低温物質の圧力より 0.2MPa 大きい場合、図-6 に示すように、水が熱源付近まで亀裂内に浸入していく様子を確認することができた。この結果から水压により水を亀裂内に充填し、凍結することで熱源の漏出を防ぐことがわかった。また、連続する熱収縮を再現するため再度亀裂を発生させた実験を行ったが、図-7 に示すように、熱源付近まで水が浸入し、凍結することで同様な結果が得られた。

4. おわりに

低温物質の圧力と水封による圧力の差圧が 0.2MPa にすることで貯蔵空間まで浸入した水が凍結し、貯蔵物質の漏出および熱源の拡大を防止したと考えられる。極低温物質を岩盤内貯蔵する場合、水封式は適用性があると考えられ、今後の実用化に向け期待は高まると思われる。

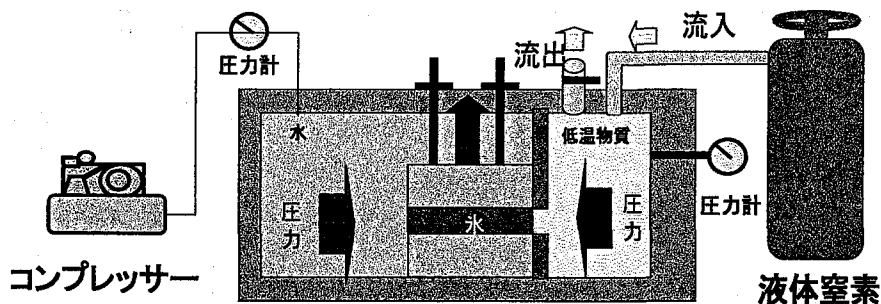


図-4 実験装置の外観図

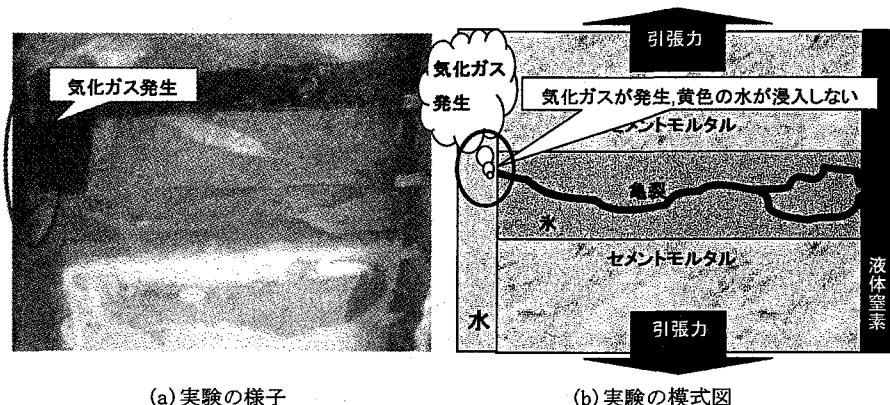


図-5 水に 0MPa、低温物質に 0.1MPa の圧力を与えた実験写真と模式図（亀裂開口時）

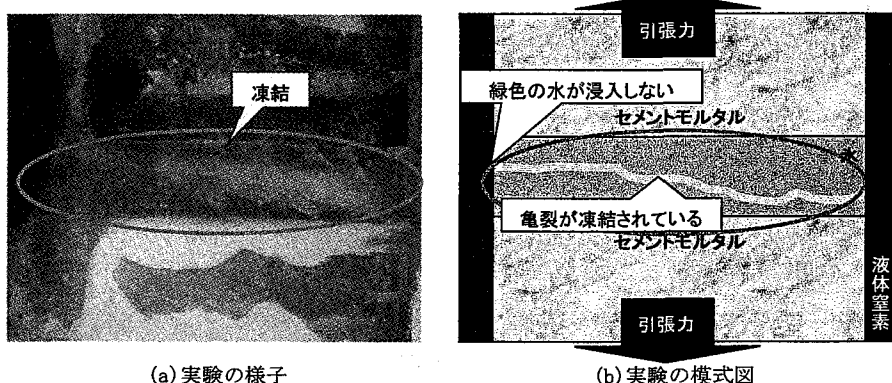


図-6 水に 0.3MPa、低温物質に 0.1MPa の圧力を与えた実験写真と模式図（凍結後）

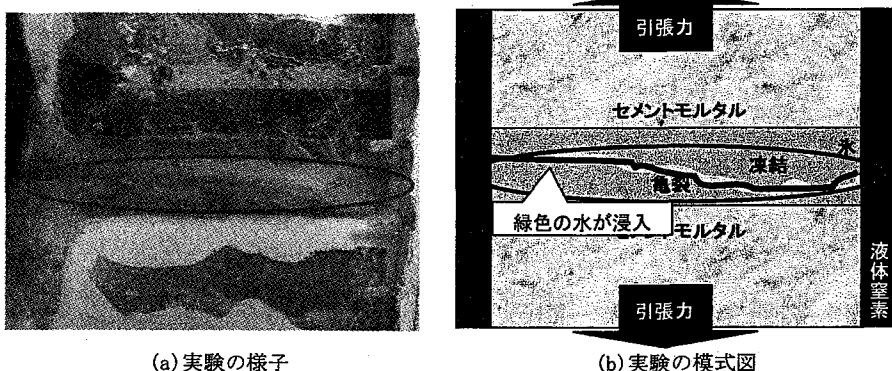


図-7 2回目亀裂開口時の実験写真と模式図