

## DME 地下低温貯蔵システムに関する解析的検討

電力中央研究所 正会員 中川 加明一郎  
 エンジニアリング振興協会 正会員 前田 信行  
 清水建設 技術研究所 正会員 ○米山 一幸、宮下 国一郎、八田 敏行

## 1. はじめに

ジメチルエーテル（DME）は、環境負荷の少ない次世代エネルギーとして近年特に注目を集めており、実用化に向けた取組みが進められている。DMEは大気圧下では約 $-25^{\circ}\text{C}$ の温度で液化し、その性質はLPガスと類似している。このため、その流通・貯蔵などに既存のLPガスのインフラを利用することが可能と考えられているが、将来のDMEの広範な普及を想定した場合、より大規模な貯蔵施設の必要性が今後高まることが予想される。本検討では、DMEの大規模貯蔵施設として地下空洞を利用した地下低温貯蔵システムを考え、施設の基本概念を整理するとともに、地下貯槽周辺岩盤を対象とした熱伝導解析・熱応力解析を実施し、貯槽周辺の温度変化、貯槽空洞の安定性などについて検討を行った。

## 2. DME 低温貯蔵システムの基本概念

DME低温貯蔵システムの概念図を図1に示す。地下の岩盤中に掘削した空洞を貯槽とし、内部に低温液化状態のDMEを貯蔵する。貯槽の気密性は、貯槽周辺の地下水が低温で凍結し、漏洩経路となる岩盤のき裂を閉塞することにより確保される。このため、貯槽壁面に気密材などの設置は不要であり、吹付けコンクリート等の簡易な支保のみとすることができることから、経済的に貯槽を建設することが可能となる。貯槽上部には給水用のボーリング孔を配置し、施工中・稼動時に岩盤へ水を供給することにより、貯槽近傍の岩盤が不飽和になることを防止する。また、稼動時にボーリング内に常温の水を循環させることにより、地表付近の温度低下を抑制し、植生などに悪影響が生じることを防ぐことができる。付帯設備としては、DMEの受け払い設備、流入熱により発生する気化ガス（BOG）により貯槽内圧が上昇すること防ぐためのBOG処理設備などが必要となる。低温貯蔵施設は、北欧のLPG貯蔵に適用例があるが、国内では実績がなく、国内の地質状況に適合した設計方法などの検討が課題と考えられる。

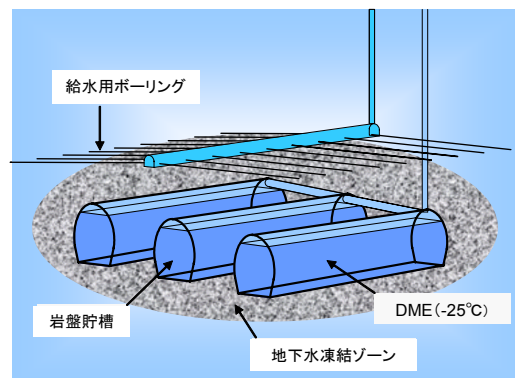


図1 DME 低温貯蔵施設の概念図

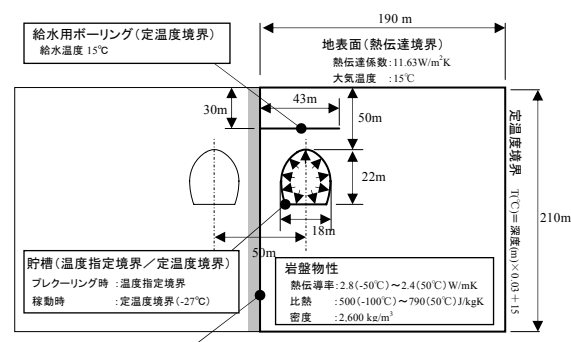


図2 解析モデル、解析条件

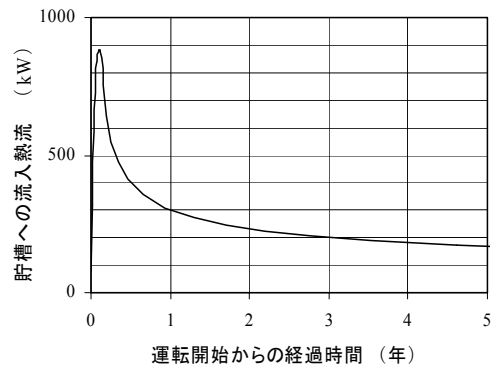


図3 貯槽への流入熱量

## 3. 貯槽周辺の温度変化の検討（熱伝導解析）

貯槽周辺の温度変化、凍結ゾーンの進展状況、貯槽内への熱流量の予測を目的に、貯槽周辺岩盤を対象に熱伝導解析を実施した。解析モデルと解析条件を図2に示す。貯蔵容量は5万tと仮定し、2連のトンネル型空洞とした。建設地の地質は花崗岩を想定し、岩盤の熱特性などは既存の文献に示された花崗岩の物性値を用いた。貯槽内は施設稼動前の2ヶ月間のプレクーリングにおいて常温から $-27^{\circ}\text{C}$ まで温度を低下させ、以後は一定温度を保持することとした。解析は2次元FEMによる非定常熱伝導解析によった。

キーワード： ジメチルエーテル（DME）、地下低温貯蔵、岩盤空洞、数値解析、熱応力

連絡先： 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL. 03-3820-8362 FAX. 03-3820-5959

解析による貯槽内への流入熱量の経時変化を図3に示す。貯槽流入熱量は最大時でも1000 kW以下であり、運転開始後数ヶ月で急激に減少することより、熱流入によるエネルギー損失（BOG処理設備の負荷）は小さいと考えられる。

運転開始から10年後の貯槽周辺の温度分布、凍結ゾーンの範囲を図4、5に示す。10年後には貯槽壁面から約70mの範囲の岩盤温度が低下しており、壁面から約10~15mの範囲の地下水が凍結する。50年後までの解析結果において地表部の温度低下は0.1℃以下であり、低温貯蔵による地表への影響はほとんどみられない。

#### 4. 貯槽空洞の安定性の検討（熱応力解析）

稼動時の貯槽空洞の安定性の検討を目的に、周辺岩盤を対象とした熱応力解析を実施した。解析モデルは熱伝導解析と同じモデルを用いた。岩盤の力学特性は、文献より得られた花崗岩の物性値を参考に、図6のように設定した<sup>1)</sup>。図6(d)の凍結に伴う線膨張ひずみについては、非排水条件下での岩石試験結果より設定されており、水の流動が可能な場合に比べて大きな値となっている。引張破壊後の岩盤はno tension材料として挙動すると仮定した。岩盤のポアソン比は0.3、内部摩擦角は45°とした。

解析結果のうち、貯槽直上部の水平方向応力を図7に、運転開始10年後と50年後の破壊領域の範囲を図8に示す。貯槽直上部の水平応力は、貯槽からの距離が大きいくほど圧縮応力が小さくなり、運転開始10年後以降では距離約10mから地表までの区間で応力がほぼ0となる。図8によると、上記の応力が0となる位置は凍結ゾーンの境界に相当し、境界近傍と貯槽直上部に凍結膨張による引張破壊が生じていると考えられる。一方、空洞壁面直近部や凍結ゾーンを貫通するような破壊は発生せず、貯槽空洞の安定性、凍結ゾーンの気密性は良好に保持されていることがわかる。

#### 5. まとめ

DMEの地下低温貯蔵システムについて、地下貯槽周辺岩盤を対象とした熱伝導解析・熱応力解析による検討を行った。その結果、設定した条件下では施設稼動時の貯槽空洞の安定性、凍結ゾーンの気密性は良好に保持され、地表部の温度低下などの周辺への影響がほとんどみられないことから、本施設は技術的に十分な成立可能性を有することが示されたと考えられる。本報告は（財）エンジニアリング振興協会が日本自動車振興会から機械工業振興資金の補助を受け、同協会・地下開発利用研究センターの平成15年度「社会開発プロジェクト等の計画策定及び推進事業」として実施したものです。

参考文献 1) 石塚ら：LPG岩盤内貯蔵空洞の熱応力に対する安定性の検討，土木学会論文集，第370号／III-5，1986

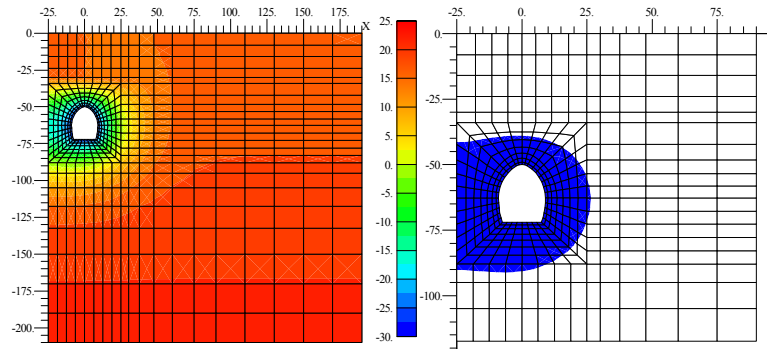


図4 温度分布（10年後）

図5 凍結ゾーン（10年後）

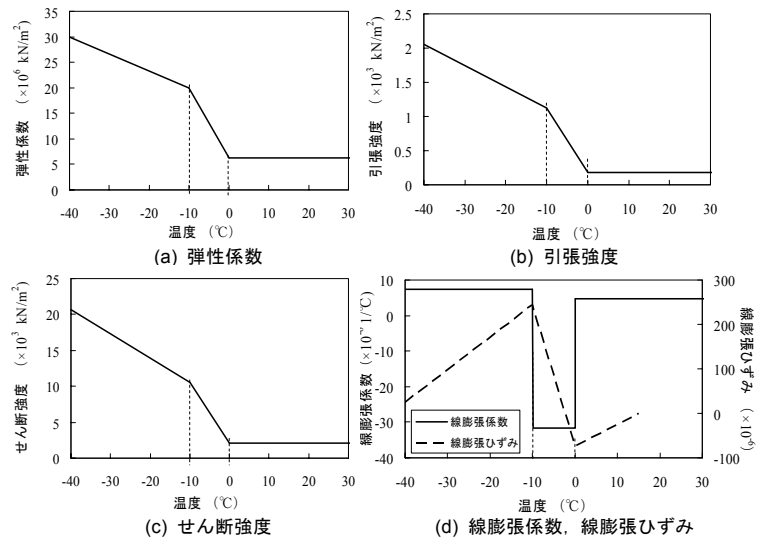


図6 熱応力解析条件<sup>1)</sup>

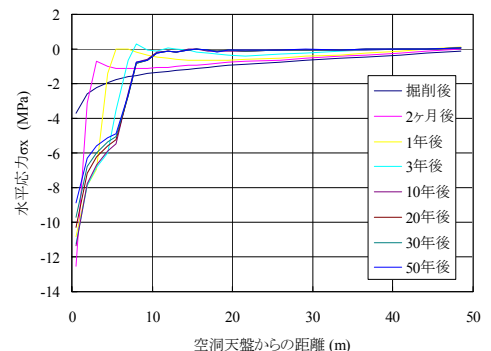


図7 貯槽直上部の水平方向応力（引張が正）

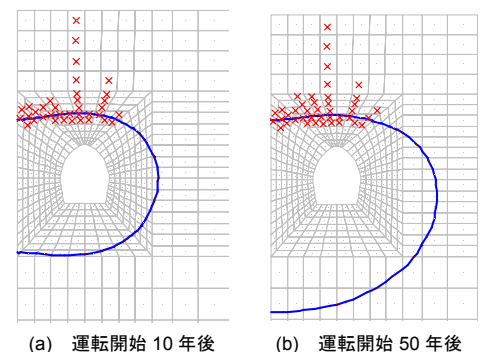


図8 破壊領域の範囲（青線は凍結ゾーン）