

DME 地下低温貯蔵システムにおける貯槽空洞の安定性に関する検討

(財) 電力中央研究所

正会員 中川 加明一郎

(財) エンジニアリング振興協会

正会員 宮川 彰彦

清水建設（株） 技術研究所

正会員 ○米山 一幸、宮下 国一郎

日揮（株）

小林 隆輔

1. はじめに

ジメチルエーテル（DME）は、次世代のエネルギーとして近年注目を集めており、実用化に向けた取組みが進められている。DME は常圧下で -25°C 程度で液化するため、その流通・貯蔵にはLP ガスの既存インフラを転用することが考えられているが、将来の広範な普及を想定した場合、より大規模で、環境にも配慮した貯蔵施設の開発が望まれる。筆者らは、このような大規模貯蔵施設の一案としてDME 地下低温貯蔵システムを提案し、その基本構想や経済性を整理するとともに、周辺岩盤の温度変化や、貯槽空洞の安定性等について検討を行っている¹⁾。本報告では、貯槽周辺岩盤の熱伝導率、力学特性が温度分布や空洞安定性等に及ぼす影響について、数値解析による検討を行った。

2. 解析モデル、解析条件

DME 低温貯蔵システムの概念図を図1に示す。地下岩盤中に掘削した空洞を貯槽とし、内部に低温のDMEを貯蔵する。貯槽周辺の地下水は低温で凍結し、岩盤中のき裂を閉塞することにより、貯槽の気密性（液密性）が確保される。貯槽上部にはボーリング孔を配置し、施工中に岩盤へ水を供給して不飽和領域の形成を防止し、運転時には孔内に常温の水を循環させ、凍結領域の地表付近への拡散を抑制する。このような低温貯蔵施設は、北欧のLPG貯蔵に適用例があるが国内の実績はなく、わが国の地質状況に適合した設計方法等の検討が必要となる。

図2に検討に用いた解析モデルを示す。貯槽は容量5万tの2連のトンネル型空洞とした。岩盤の熱伝導率は、温度依存性を考慮し、花崗岩および安山岩に関する文献調査結果より表1に示す値を設定した。岩盤の力学特性については、電研式岩盤分類の C_H 級と C_M 級を想定し、常温時の物性として表1の値を設定した。さらに、弾性係数、引張強度、せん断強度については、花崗岩の文献値²⁾をもとに温度依存性（常温時の値に対する比）を図3のように仮定し、各岩級ごとに設定した。また、岩盤の線膨張係数は、文献値²⁾をもとに図4のように設定した。

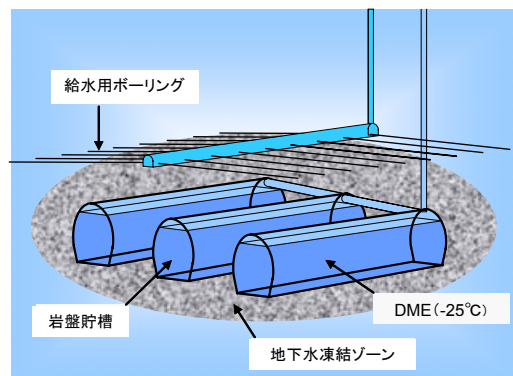


図1 DME 低温貯蔵システムの概念図

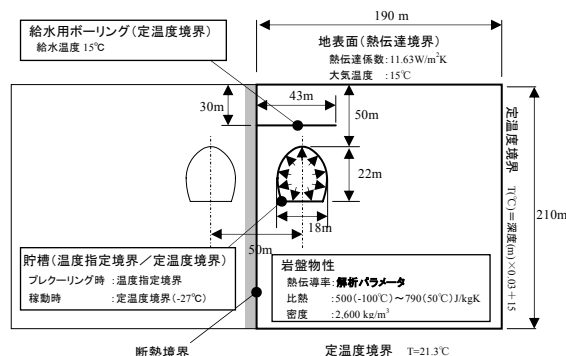


図2 解析モデル

表1 解析条件

ケース	熱伝導率	力学特性
ケース1	2.8~2.4 W/m ² ・K (飽和花崗岩の平均値)	C_H 級岩盤を想定 単位体積重量 : 26.0 kN/m ³ 弾性係数 : 6.0 GPa せん断強度 : 3000 kN/m ² 引張強度 : 300 kN/m ² 内部摩擦角 : 45°
ケース2	3.9~3.4 W/m ² ・K (飽和花崗岩の最大値)	
ケース3	2.0~1.7 W/m ² ・K (安山岩の平均値)	
ケース4	2.8~2.4 W/m ² ・K (飽和花崗岩の平均値)	C_M 級岩盤を想定 単位体積重量 : 24.5 kN/m ³ 弾性係数 : 2.75 GPa せん断強度 : 1500 kN/m ² 引張強度 : 150 kN/m ² 内部摩擦角 : 35°

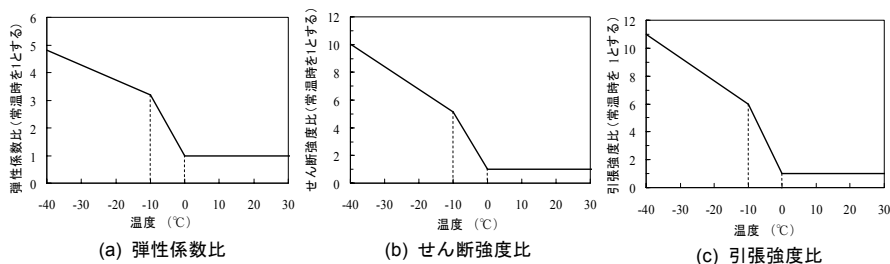


図3 力学特性の温度依存性（解析条件）

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. 03-3820-5557 FAX. 03-3820-5959

3. 解析結果

熱伝導解析より得られた各ケースの貯蔵開始から10年後の貯槽周辺温度分布、および、凍結領域の範囲（図中の赤線）を図5に示す。貯槽周囲の温度変化は、熱伝導率を大きく設定したケース2で大きく、熱伝導率が小さいケース3で小さくなる。凍結領域は貯槽壁面から10～

20m程度であり、熱伝導率が大きいケースほど領域が大きくなる。また、水封ボーリングの効果により地表付近の温度変化は各ケースとも小さく、地表部の温度変化はほとんど見られない。

熱応力解析より得られた各ケースの貯蔵開始10年後の破壊領域の範囲を図6に示す。 C_H 級の岩盤を想定したケース1～3では、破壊領域が凍結領域先端付近（図中の青線）に集中しており、熱伝導率を大きく設定したケースの方がより顕著になっている。これは、主に凍結位置の近傍において熱応力および凍結膨張による破壊が生じていることを示している。破壊領域は凍結部の外側へ進行するが、内側方向へは広がっておらず、貯槽周囲に十分な厚さをもった凍結領域が保持されることから、貯槽の気密性は確保されと考えられる。一方、 C_M 級の岩盤を想定したケース4の結果では、凍結領域近傍での破壊はほとんど発生せず、地表付近での破壊が顕著になっている。これは、 C_M 級岩盤では岩盤強度を小さく設定しているが、弾性係数も小さく設定したため熱応力や凍結膨張により発生する応力が小さくなり、後者の効果の方がより顕著に働いたためと考えられる。一方、岩盤の変形量は大きくなるため、凍結膨張による地表部の隆起は C_H 級岩盤より大きくなり、地表付近の破壊がより顕著になっている。

以上の結果より、岩盤の熱伝導率が小さい場合の方が、貯槽の気密性、安定性に関しては、有利となることが示された。また、岩級を低く設定したケースの方が貯槽近傍での破壊の発生が抑制されることから、強度の比較的小さい岩盤においても貯槽の気密性、安定性が確保される可能性があることがわかった。

4. まとめ

DME 地下低温貯蔵システムについて貯槽周辺岩盤を対象に数値解析による検討を行った。その結果、設定した条件においては貯槽の気密性、安定性が良好に保持されることが確認され、比較的低強度の岩盤に対しても本システムが適用可能なことが示された。本報告は（財）エンジニアリング振興協会が日本自転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16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。検討においてご支援を賜りました関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献 1) 米山ら：第59回土木学会年次学術講演会，3-340，pp.679-680，2004

2) 石塚ら：土木学会論文集，第370号／Ⅲ-5，1986

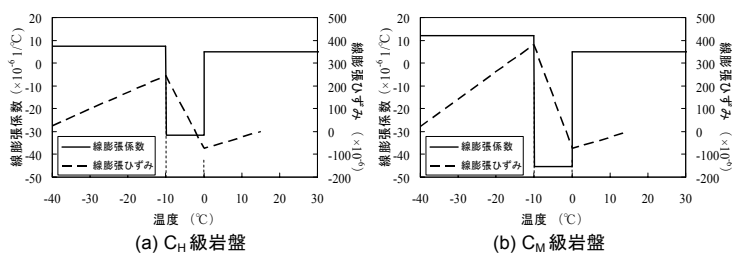


図4 岩盤の線膨張係数，線膨張ひずみ（解析条件）

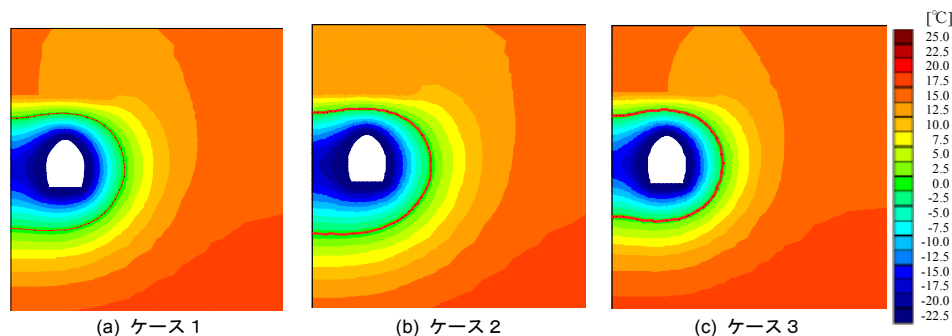


図5 解析結果：岩盤温度分布（赤線は凍結領域を示す）

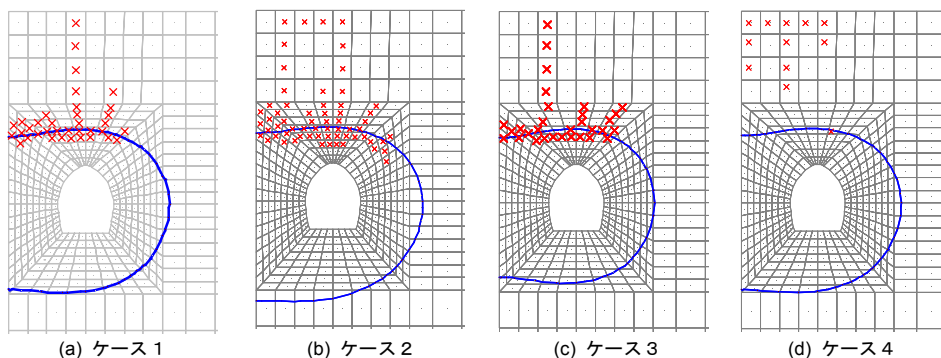


図6 解析結果：破壊領域の分布（青線は凍結領域を示す）