

メンブレン方式の新 LNG 低温岩盤貯槽の成立性に対する室内モデル実験

清水建設（株） 正会員 ○米山 一幸、中谷 篤史
 日本大学 フェロー会員 高崎 英邦

1. はじめに

エネルギー供給源の多様化や地球温暖化問題などへの対応を背景に、液化天然ガス（LNG）の需要は今後も増加することが見込まれ、エネルギーセキュリティ向上の観点から大規模な LNG 貯蔵施設のニーズが将来において高まることが考えられる。LNG 貯蔵については地上式タンク・地下式タンクが実用化されているが、より大規模な貯蔵施設として岩盤空洞を利用した地下低温貯蔵が近年着目されており、韓国でパイロット試験が実施されている他、国内においても独自のコンセプトによる岩盤貯蔵方式が検討されている¹⁾。

本研究では、国内で検討が進められている「新 LNG 低温岩盤貯槽」について、貯槽構造を模擬した室内モデル実験によりコンセプトの有効性を確認するとともに、低温下の凍結現象を考慮した熱・浸透流連成解析による実験の再現シミュレーションを実施し、計画における予測解析手法としての有効性の検証を行う。

2. 新 LNG 低温岩盤貯槽の基本コンセプト

新 LNG 低温岩盤貯槽の基本コンセプトを図-1 に示す。貯槽はコンクリート（RC）躯体内に断熱材と鋼製の気密メンブレンを設置した構造となり、吹付コンクリート内に排水材を配置して、施工時にメンブレン・断熱材に作用する外水圧の除去を行う。また、覆工コンクリート中に凍結防止用配管（ヒーター）を配置し、LNG 貯蔵時には温水等のラインを循環させ、貯槽本体や周辺岩盤の温度低下を緩和して凍結を防止する。これにより、貯蔵時にも排水材の機能を維持して水圧によるメンブレン・断熱材の破損を防ぐとともに、熱応力や凍上による貯槽躯体や周辺岩盤の損傷を抑制する。

3. 室内モデル実験

新 LNG 低温岩盤貯槽のコンセプトの有効性の検証を目的に、貯槽の躯体および岩盤を部分的にモデル化した実験装置を用いた室内モデル実験を実施した。装置の概要を図 2 に示す。冷媒を満たした低温槽の上に設置した内寸 870×300×1800 mm の塩化ビニル製容器内に、ヒーター用配管と排水管（有孔塩ビ管）をそれぞれ 200mm、100mm 間隔に配置し、RC、吹付けコンクリート、岩盤を模擬する透水媒体として、槽底部よりモルタル、豊浦砂（透水係数 2.44×10^{-2} cm/s）、7号珪砂（透水係数 1.04×10^{-2} cm/s）を充填した。実験時は装置内に注水して透水媒体を飽和させた後、装置内の水位を一定に保ちながら装置下部の排水パイプから排水を行い、装置内に水を循環させることにより、実機における排水運転による地下水流動を模擬した。この状態で、装置下部の低温槽部を液体窒素により-40 前後まで冷却し、装置内の各位置の温度の経時変化をセンサーにより計測した。

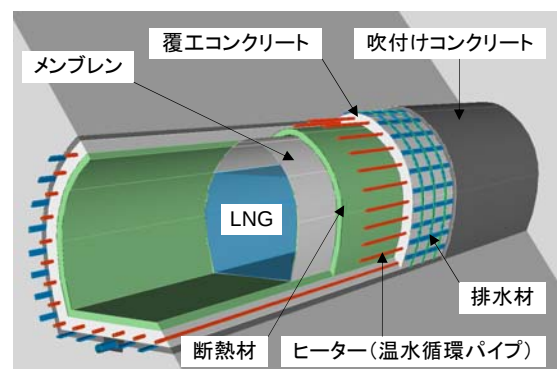


図 1 新 LNG 低温岩盤貯槽の概念図¹⁾

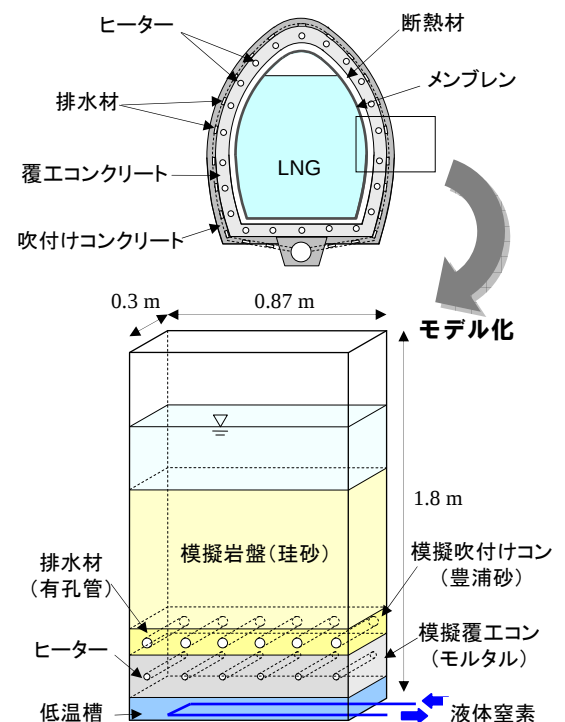


図 2 室内模型実験の概要

キーワード： LNG、低温岩盤貯蔵、メンブレン、凍結、連成解析

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

図3に、モルタル下面/上面位置の温度変化の計測結果を実線で示す。ここで、(a)はヒーター配管内に常温(約16.8℃)の水を循環させた場合(ケース1) (b)はヒーター内の水循環を行なわない場合(ケース2)の結果である。ケース1では、ヒーターからの熱供給により冷却開始から約6時間後程度で温度変化がほぼ収束し、モルタル全体が0℃以上に保持されることから凍結は発生しない。一方、ケース2では約14時間後にモルタル底面温度が0℃以下に達し、以後も緩やかな低下傾向が続いている。以上の結果よりヒーター運転による凍結防止効果が明らかとなり、前節に示す低温岩盤貯槽の基本コンセプトの有効性が示された。

4. 熱 - 浸透流連成解析による再現シミュレーション

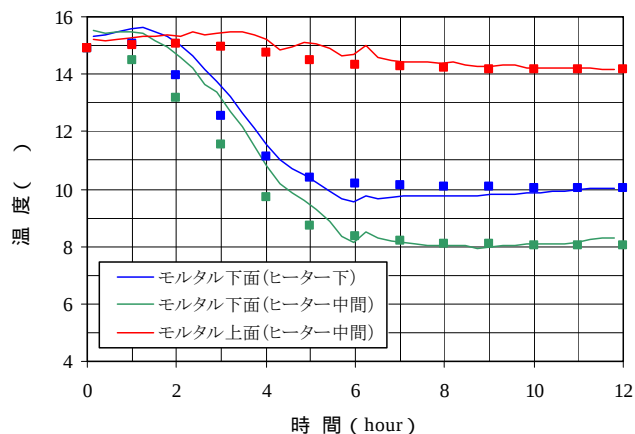
3次元モデルを用いた熱 - 浸透流連成解析による実験の再現シミュレーションを実施し、実験結果との比較検討を行った。解析には有限差分法による連成解析プログラム TOUGH2 を使い、水の凍結現象(潜熱、体積膨張、孔隙の閉塞)を扱えるように状態方程式モジュールを改造した。解析モデルを図4に示す。

解析より求められた各計測位置における温度変化を図3にプロットで示す。解析結果は測定値と良好に一致し、予測評価手法としての本解析の有効性が示された。図5には冷却開始から12時間後の温度分布の解析結果を示す。ケース1ではヒーター部からの熱供給により装置内の温度低下が軽減される傾向が示されており、ヒーターによる凍結防止効果が解析結果からも明らかとなった。

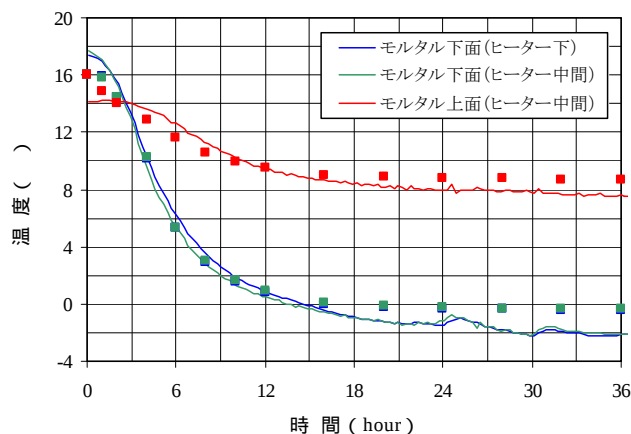
5. まとめ

新LNG低温岩盤貯槽を模擬した室内モデル実験によりヒーターによる凍結防止効果が明らかになるとともに、凍結を考慮した熱 - 浸透流連成解析により結果が良好に再現され、予測解析手法としての有効性が示された。

参考文献 1) 百田博宣他：地下空間シンポジウム論文・報告集，第13巻，pp.53-62，2008.01



(a) ヒーター運転あり(ケース1)



(b) ヒーター運転なし(ケース2)

図3 温度の経時変化(実線:計測値/プロット:解析結果)

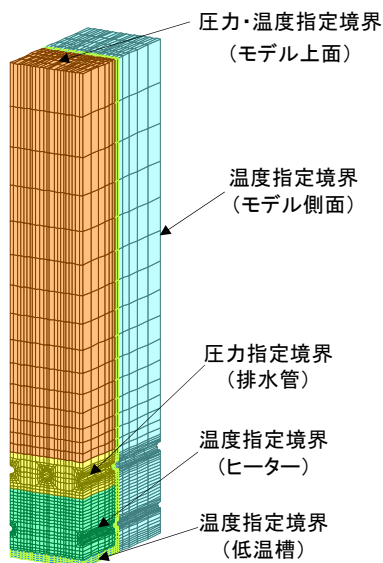


図4 解析モデル

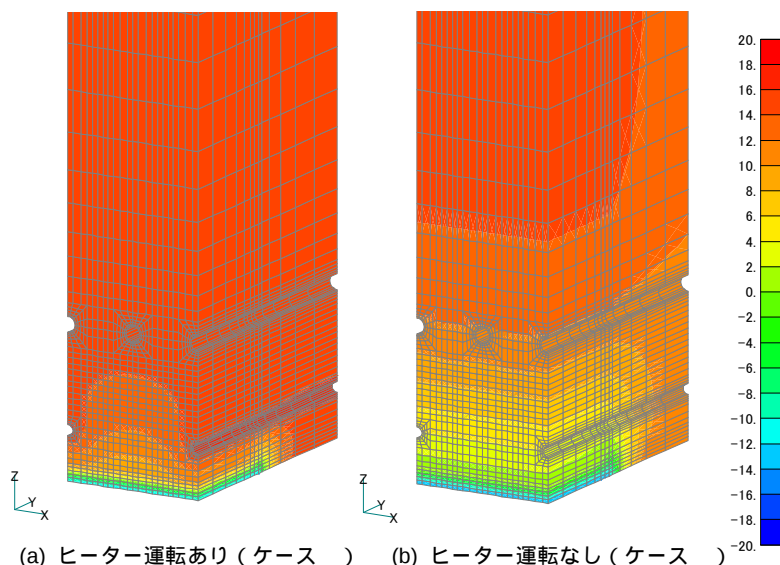


図5 温度分布の解析結果(冷却開始から12時間後)