

メンブレン方式の新LNG低温岩盤貯槽における長期貯蔵の可能性検討

清水建設 技術研究所 フェロー会員 ○百田 博宣
清水建設 技術研究所 正会員 米山 一幸

1. はじめに

輸入LNGは受入基地の低温貯蔵施設（地上、地下タンク）に貯蔵されるが、外気や地中からの熱流入によって、ボイルオフガス(BOG)が発生する。現状の利用では、LNGの貯蔵期間は数週間から数ヶ月のため、BOGの発生は大きな問題ではないが、今後、緊急時対応の大型貯蔵施設やLNGのハブ基地構想などが顕在化した場合、BOGを低減し、LNGの長期貯蔵を可能にすることが重要と考えられる。

そこで本報では、著者らが提案してきたメンブレン方式の新LNG低温岩盤貯槽¹⁾（以下、岩盤タンクと称す）を対象に、BOGの低減によるLNGの長期貯蔵性検討を目的とした熱伝導解析を行う。

2. 熱伝導解析条件

図-1に示す岩盤タンクは、掘削時の力学的安定性を1次吹付とロックボルト等の支保部材で受け持ち、貯槽部材設置中とLNG貯蔵時の外水圧を2次吹付内の排水パイプで除去する。また、躯体RC中のヒーターに温水等を循環させて凍結域を保冷材中に封じ込め、その外側の温度低下による温度応力の発生を大幅に削減できる貯蔵方式である。

本報告では、BOGの削減を目的とした2次元熱伝導FEM解析を行うが、貯槽形状・貯槽部材を図-1に示す構造・寸法とし、熱物性を表-1、解析モデルと境界条件を図-2に示す。地質は花崗岩盤を想定し、解析モデルではメンブレンは考慮せず、保冷材厚さをパラメータとした。なお、ヒーターは躯体RCの厚さ中央に設置し、間隔は2mである。

岩盤タンクは空洞掘削・貯槽部材設置を行って完成し、この時を $t=0$ 日とする。その後、 $t=0$ 日～1日間はクールダウン期間、1日～18250日（50年）は貯蔵期間であり、温水等の循環は $t=0$ 日から50年間に 10°C で循環させる条件である。このため、保冷材内面を 15°C で定常解析を行い、その結果を初期条件として50年間の非定常解析を行う。

3. 熱伝導解析結果および考察

まず、保冷材厚さ $t=30\text{cm}, 70\text{cm}$ の条件を対象に、ヒーターありとなしのケースの解析結果を図-3に示す。BORは、岩盤タンクへの全流入熱量がすべてLNGを気化させるものとした場合の、一日当たりのBOG量の貯蔵容量に対する割合(%/日)であり、次式で求めている。

$$BOR = \frac{Qt \times 86400}{Ar\rho h_v} \times 100$$

ここに、 Qt ：全流入熱量(W/m)、 A ：貯槽断面積(m^2)、 r ：貯液率(0.97と仮定)、 ρ ：LNGの密度(425kg/m^3)、 h_v ：LNGの蒸発熱(509.91J/kg)。

また、図-3下段の保冷材外面温度は図-1のA点の温度をグラフ化した。

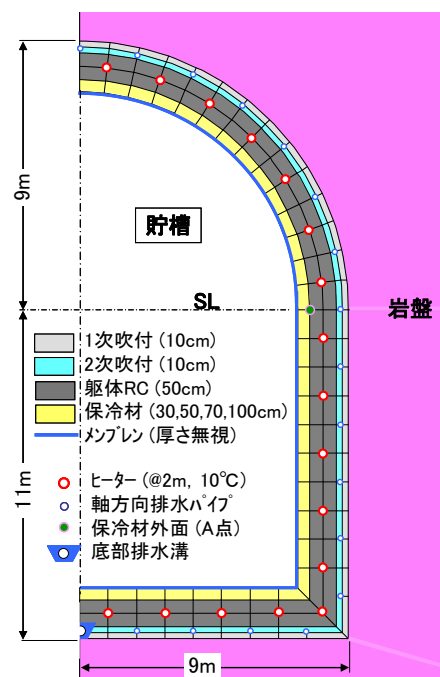


図-1 ヒーター・排水パイプをもつメンブレン方式のLNG低温岩盤貯槽

表-1 貯槽部材の解析用物性

項目	密度 (Kg/m^3)	比熱 ($\text{J/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
岩盤	2,600	750.0	2.89
1次吹付	2,400	837.2	2.326
2次吹付	2,400	837.2	2.326
躯体RC	2,400	837.2	2.326
保冷材	50	1,046.5	0.0267

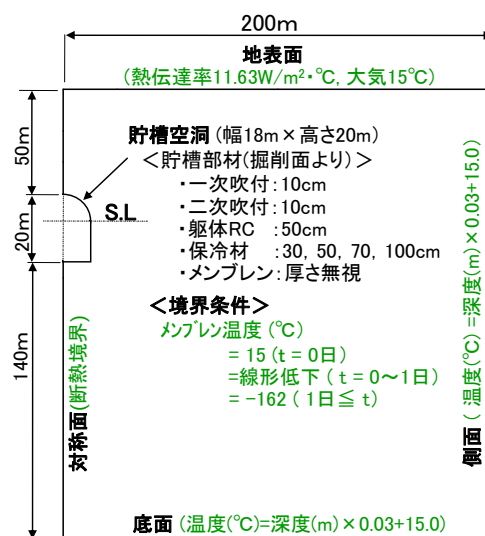


図-2 熱伝導解析モデル

キーワード LNG低温岩盤貯槽 メンブレン方式 ヒーター BOG BOR 保冷材

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 社会基盤技術C TEL 03-3820-8362

図-3から、ヒーターありの場合は、クールダウン終了後、BORと保冷材外面温度がほぼ一定になり、凍結域を保冷材に封印できていることがわかる。これに対し、ヒーターなしではBORと保冷材外面温度とも低下が続くことが認められる。この保冷材外面温度の低下は、躯体RC、吹付、岩盤部へと凍結域が拡大し、それに伴う凍結膨張力・低温下の温度応力(引張応力)が掘削応力に加算され、岩盤タンクおよび岩盤の力学的安定性が損なわれる可能性が大きいものと推測される²⁾。

次に、ヒーター設置の場合について、保冷材厚さ t をパラメータとした熱伝導解析結果を図-4に示す。上段から、BOR、A点の保冷材外面温度、ヒーター流出熱量(流入: 正值)の経時変化をグラフ化している。図-4によれば、 t の増大で保冷材外面の温度は漸増、ヒーター流出熱量(流入: 正值)は漸減することがわかり、岩盤タンクの貯蔵性能上、特別な問題はないと考えられる。また、 $t=30, 50, 70, 100\text{cm}$ の30日以降のBORは0.148, 0.092, 0.069, 0.051%/日程度であり、 t を増大させることによりBORの低下が可能なが認められ、LNGの長期貯蔵の可能性が推測できる。

4. まとめ

保冷材厚さの増大によるBOGの削減によって、B OGを出荷する場合でも、タンク内のLNGの減少が小さくなり、長期貯蔵が可能になる。一方、更なる長期貯蔵を目的として、BOGの部分再液化、100%再液化を行う場合でも、BORの低下は再液化装置の小型化、同装置の動力費の低コスト化に有利となる。なお、本報告では、岩盤タンクを対象に、BOR低減を目的とした保冷材厚さの増大効果を報告したが、以下の課題等があり、今後検討を行う予定である。

1. 岩盤タンクにおける保冷材の施工方法の検討。特に、施工可能な保冷材厚さの把握。
2. 保冷材厚さの増大に対する初期コスト・貯蔵時の運転コスト等の経済性の関係把握。
3. 保冷材の断熱性能向上の可能性の把握。

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
- 2) 米山一幸 他：地下空間シンポジウム論文・報告集、第12巻、pp.9-18、2007.01

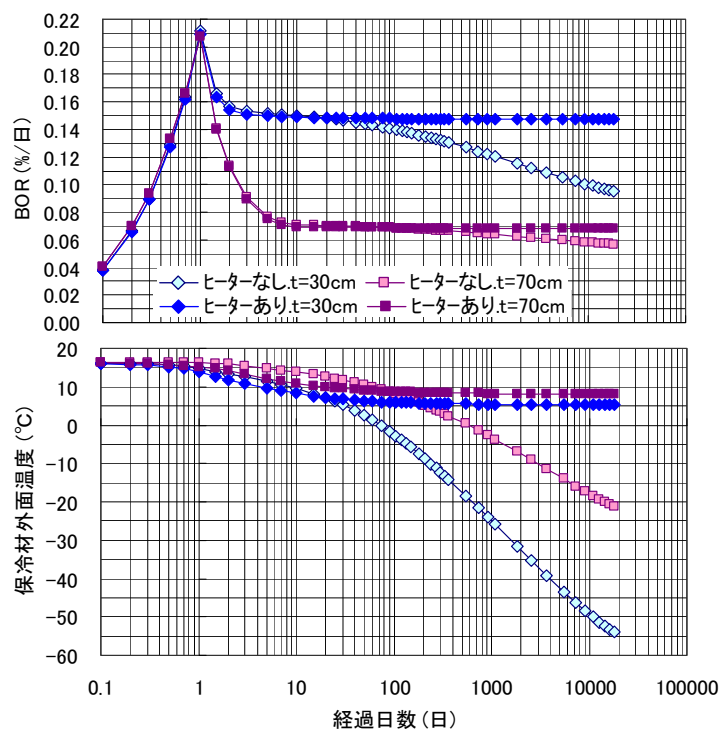


図-3 ヒーター有無の条件に対する熱伝導解析結果

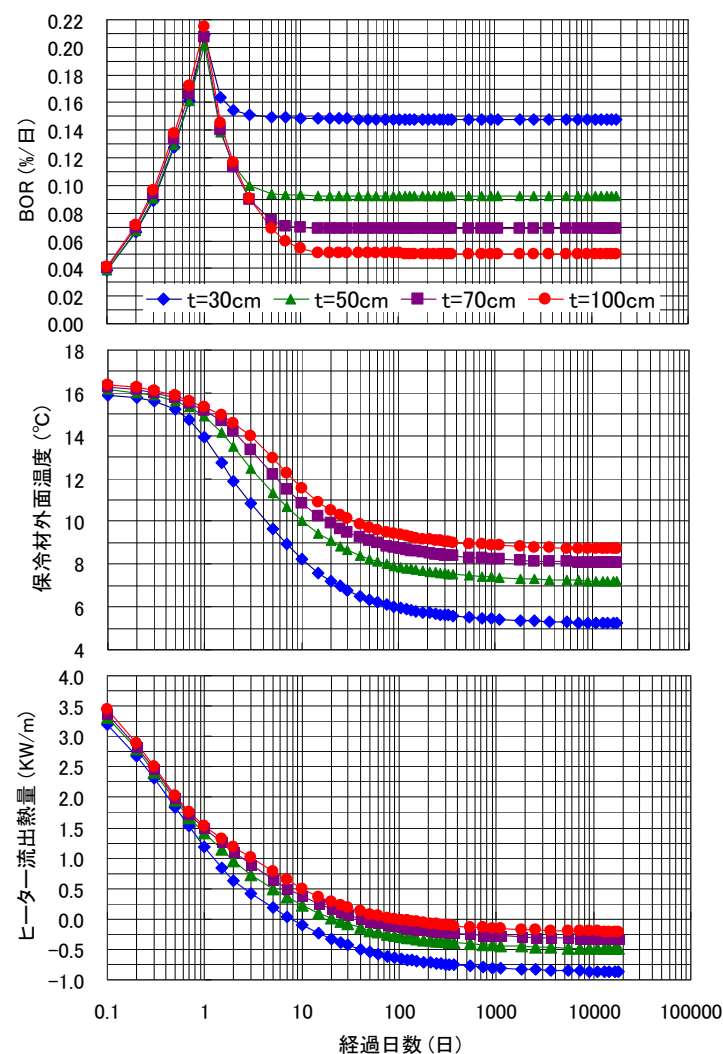


図-4 保冷材厚さ t をパラメータとした熱伝導解析結果