

メンブレン方式の新LNG低温岩盤貯槽の成立性に対する検討(その2)

清水建設 技術研究所 正会員 ○米山 一幸
 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 フェロー会員 風間 広志

1. はじめに

LNG低温岩盤貯槽については、海外でメンブレン方式の貯槽が提案され、韓国のDaejeonで実証試験が行われた。同貯蔵方式・貯槽の概念は、建設時・貯蔵初期に貯槽周辺に不飽和ゾーンを形成し、メンブレン等の建込み時の外水圧除去や貯蔵時の地下水凍結による構造体への影響緩和等を行うものであるが、技術面や経済性に課題があるものと推測した。そこで本報(その1)で、図-1の新たなメンブレン方式のLNG低温岩盤貯槽を提案し、熱伝導・熱応力解析により外水圧除去や熱応力緩和等への効果を検討した。

本報では、図-1の提案構造の成立性の更なる検討として、ブライン(温水)温度をパラメータとした熱伝導解析により、流入出の熱量やBOR等を把握すると共に、温水温度条件を概略設定する。

2. 熱伝導解析条件

熱伝導解析に用いる解析モデルを図-2に示す。地質は花崗岩盤、貯槽は円形空洞(掘削φ20m)であり、熱伝導解析の境界条件と岩盤物性値を図-2に併記した。また、貯槽構造は図-1に示す構造・寸法とし、解析モデルではメンブレンは考慮せず、保冷材、躯体コンクリート(RC)、一次・二次吹付コンクリート(吹付C)に表-1の物性値を設定して熱伝導解析を行う。

LNG低温貯槽は空洞掘削後、貯槽部材を設置して完成し、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、温水等のブライン循環は $t=0$ 日から50年間に一定温度で循環運転する条件である。このため、保冷材内面を 15°C の条件下で定常解析を行い、その結果を初期条件として50年間の非定常解析を行う。解析ケースはブライン温度PCをパラメータとし、 $PC=5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ の各ケースと、温水循環を行わない場合の全4ケースとする。

3. 熱伝導解析結果および考察

4ケースの熱伝導解析結果として、貯槽流入熱量、BOR、ブライン流出熱量を図-3～5に示す。図-3によれば、クールダウン終了(1日後)まで流入熱量は増大し、その後、温水循環を行わない場合は時間の経過と共に減少するが、温水循環を行う場合は僅かに減少後、ほぼ一定値を保つことが認められる。また、循環温度が低い方が流入熱量は低下するが、その差異は小さいことがわかる。また、図-4のBORは流入熱量の経時変化傾向とほぼ一致し、温水循環を行うケースでBORが0.13～0.14程度であり、温水循環しない場合の50年後の1.5倍程度となるが、値そのものは小さく、運用上問題ないレベルと考える。図-5の温水流出熱量については、初期は周辺のRCの温度が温水温度より高いため熱が

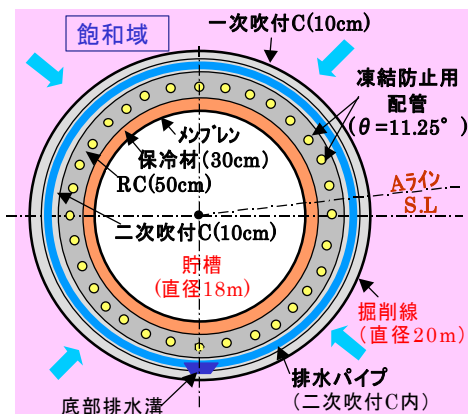


図-1 ヒーター・排水パイプをもつメンブレン方式のLNG低温岩盤貯槽

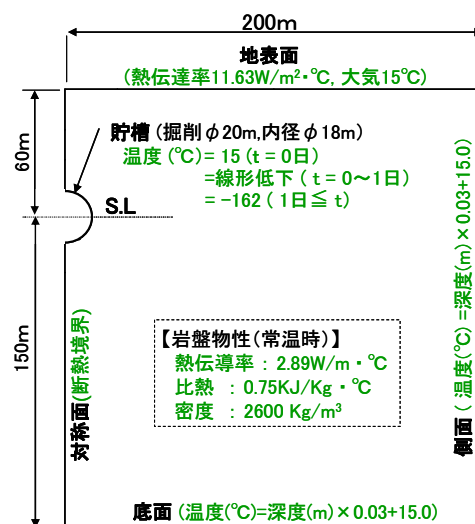


図-2 熱伝導解析モデル

表-1 貯槽部材の解析用物性

項目	保冷材	RC, 吹付C
熱伝導率($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	0.0267	2.326
比熱($\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	1046.5	837.2
密度(kg/m^3)	50.0	2400.0

キーワード LNG 低温岩盤貯槽 メンブレン方式 ブライン ヒーター

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

流入するが、周囲の温度低下により10日後位から熱流出側に転じ、その後、流出熱量が次第に収れん傾向を示すことがわかる。また、温水温度が低いと流出熱量は低下するが、その差異は小さいことが認められる。

本報で提案する新貯槽は、温水等の循環によりRC、吹付C、岩盤の凍結を防止し、排水機能確保と岩盤の熱応力を抑制することを目指している。図-6には、最も温度低下が大きい位置である保冷材外面と温水配管中央線（図-1のAライン）交点部の温度を示す。温水循環を行わないケースでは時間と共に温度低下が進行するが、行うケースでは100日後頃に温度低下がとまり、以後はほぼ一定値を保つ。温水温度が低いほど温度レベルが低くなるが、PC=5℃で約0℃、10℃と15℃では0℃以上となり、凍結は発生しないことがわかる。

4. 温水ブラインの温度低下量の推定

図-5の50年後のブライン流出熱量を基に、貯槽延長を500mと仮定して凍結防止用配管1往復分（1000m）におけるブライン温度低下を計算した結果を表-2に示す。計算では、ブラインとして水の比熱を用い、配管は65A、循環流速は2m/sと仮定した。1往復間の温度低下は約0.7～0.9℃程度であり、循環温度が高いケースで温度低下がやや大きくなる。実際の運転では循環中にブライン温度が低下することを考慮し、水循環式空調などの事例より1系統の循環システムの供給／戻りの温度差を5℃程度と想定すると、例えば、循環温度10℃のケースは供給12.5℃／戻り7.5℃に設定した場合の平均的な温度低下とほぼ等しいと考えられる。この場合、5℃の温度差は約6往復分の温度低下に相当し、2～3系統のシステムで空洞全体（16往復分）をカバーできることになり、設備仕様や運用面でほぼ実用的な範囲と考えられる。

表-2 温水ブラインの温度低下

ブライン 循環温度 (℃)	1往復間 (1000m) の温度低下 (℃)
5.0	0.72
10.0	0.79
15.0	0.86

参考文献

- 1) 米山一幸他：清水建設研究報告，Vol.82，pp.7-14，2005.10
- 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

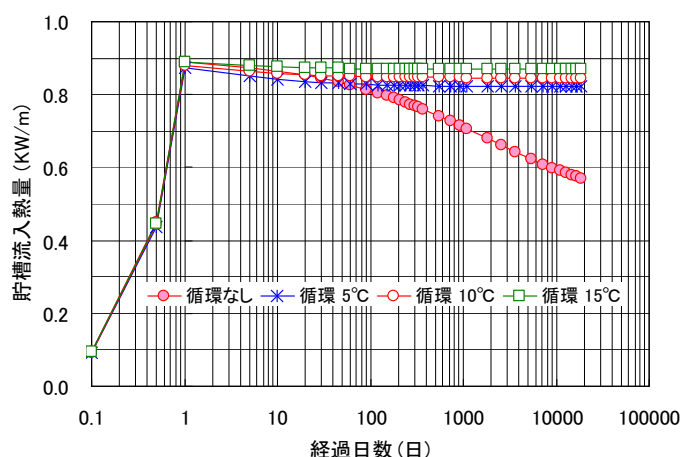


図-3 貯槽流入熱量経時変化

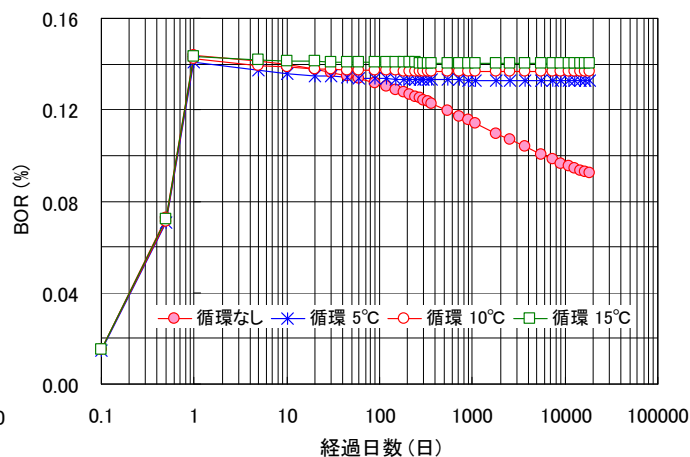


図-4 BORの経時変化

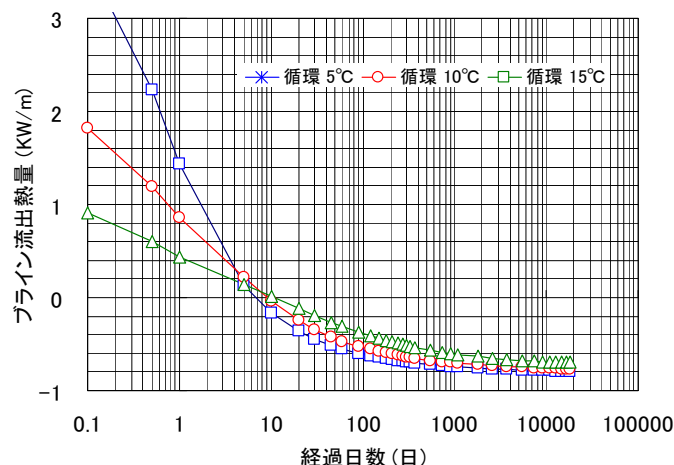


図-5 ブライン（温水）流出熱量経時変化

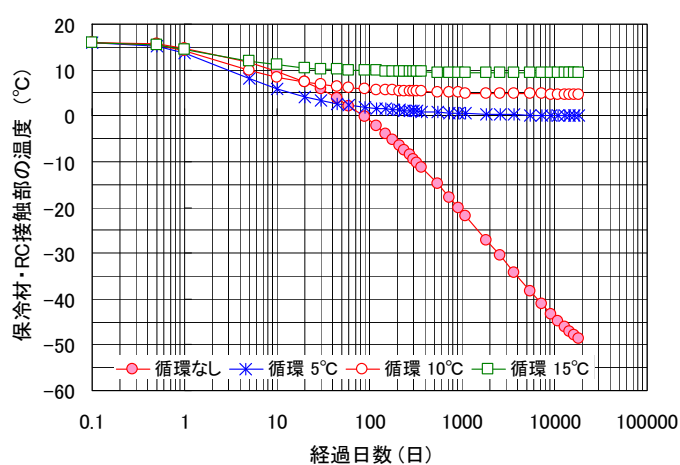


図-6 保冷材・RC接触部(Aライン交点)の経時変化