

LNG低温岩盤貯槽の熱応力に対する安定性の検討

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

北欧では、貯槽周辺岩盤に凍結ゾーンを形成して液化プロパン(LPG:沸点 -42°C)を素掘りの岩盤空洞に貯蔵する凍結方式のLPG低温岩盤貯槽が既に実現している。一方、凍結方式の液化天然ガス(LNG:沸点 -162°C)の低温岩盤貯槽は、熱応力によるクラックの発生等によって欧米での事例は殆ど失敗しており、最近ではメンブレン方式の実証試験が韓国Daejeonで進められている。しかし、凍結式のLNG低温岩盤貯蔵の安定性に関する定量的データは見当たらず、メンブレン方式の検討に際しても基礎的な知見が不足するものとする。

そこで本研究では、凍結方式を対象にLNG低温貯蔵時の熱応力の安定性に対する影響を定量的に把握することを目的に、有限要素法による熱伝導解析や熱応力解析等の基礎検討を行う。

2. 解析内容

解析は、自重解析、掘削解析、熱伝導解析、熱応力解析、の4段階であり、解析モデルを図-1に示す。地質は C_{40} 級上限相当の花崗岩盤、貯槽は幅 18m ×高さ 22m の単設空洞であり、熱伝導解析と安定性解析(、)の境界条件と物性値も図-1に併記した。また、解析パラメータは貯槽深度($40\text{m} \sim 80\text{m}$)と図-2の熱力学特性の温度依存性¹⁾であり、図-2のモデル1~3は「E,C,Tの温度依存性の有無」と「線膨張係数の凍結膨張性の有無」で設定している。

なお、は弾性解析である。

は掘削完了時($t=0$ 日)~90日間はプレクーリング期間、90日~18250日(50年)は貯蔵期間であり、50年間の非定常解析である。はで得られた温度分布($0, 1, 10, 30, 60, 90, 180, 365, 1095, 1825, 3650, 10950, 18250$ 日)を考慮した弾塑性解析であり、

の掘削時の解析結果に熱応力を加算する。破壊基準にはMohr-Coulombの降伏条件を用い、破壊後のせん断強度は完全弾塑性であるが、引張破壊後はno-tension材料とする。

3. 解析結果および考察

貯槽深度 -50m の場合に注目し、貯槽上部の温度、変位、応力度の経時変化を図-3に示す。また全ケースの

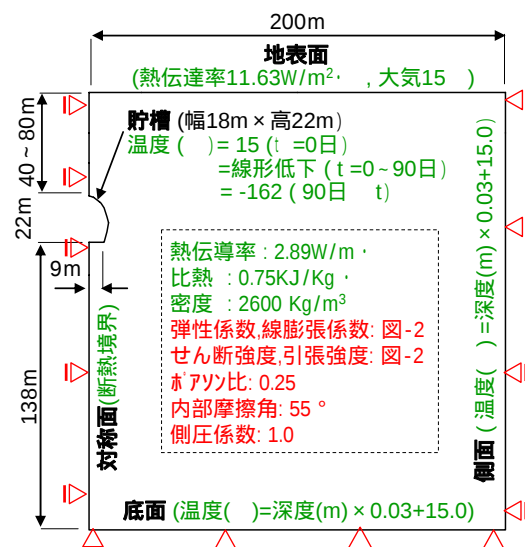


図-1 熱伝導・安定性の解析モデル

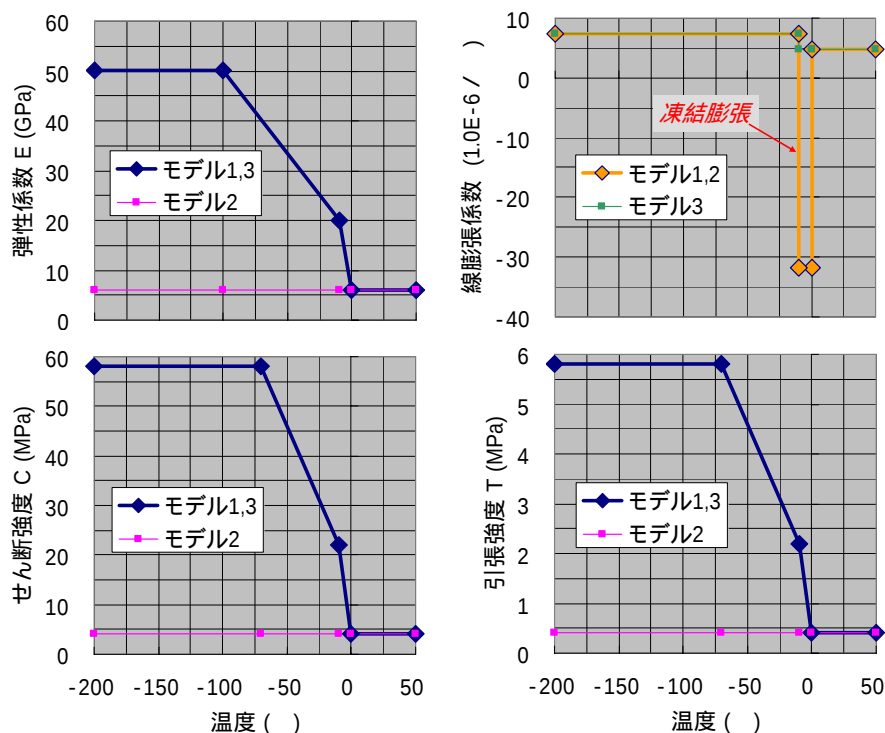


図-2 モデル1~3の熱力学特性(線膨張係数,E,C,T)

キーワード LNG 低温岩盤貯蔵 凍結方式 熱力学特性 凍結膨張 熱応力

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 地下技術グループ TEL 03-3820-8364

熱応力による破壊領域発生時期を表-1、貯槽深度-50mのモデル2の破壊領域の進展状況を図-4に示す。

図-3より、凍結膨張特性とE,C,Tの温度依存性の影響でモデル1の貯槽上部は浮き上りを生じ、温度依存性のないモデル2と凍結膨張特性のないモデル3は沈下することがわかる。また温度分布は同心円状に拡大し、鉛直方向の σ_y が最大主応力 σ_1 にほぼ一致することから、半径方向の σ_1 によって引張破壊が生じていると推測できる。次に表-1、図-4より、貯槽深度が浅く、E,C,Tの温度依存性が強いほど破壊領域が発生しやすいことが認められる。さらに、沸点-25のDME低温岩盤貯蔵の場合は貯槽上部の凍結線の近傍の凍結膨張で破壊が生じるのに対し²⁾、LNG貯蔵ではモデル1～3の空洞壁面に破壊領域が発生することから、破壊は極端な温度勾配によって生じた過大な温度応力の影響と考えられる。

参考文献

- 1) 石塚与志雄他：土木学会論文集No.370/ -5, pp.243-250, 1986.06
- 2) 米山一幸他：清水建設研究報告, Vol.82, pp.7-14, 2005.10

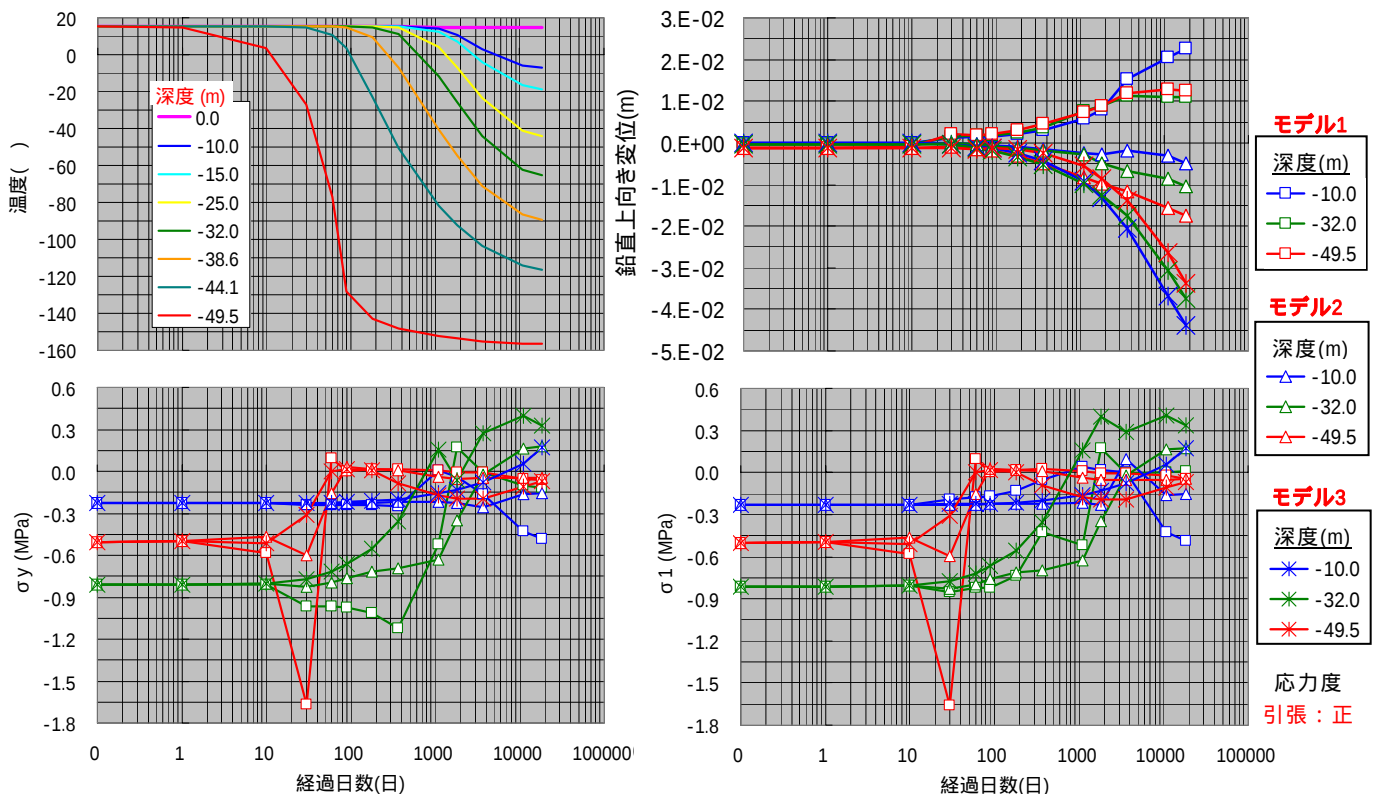


図-3 貯槽深度-50mの場合の対称面上における温度、変位、応力度の経時変化(地表～貯槽天端)

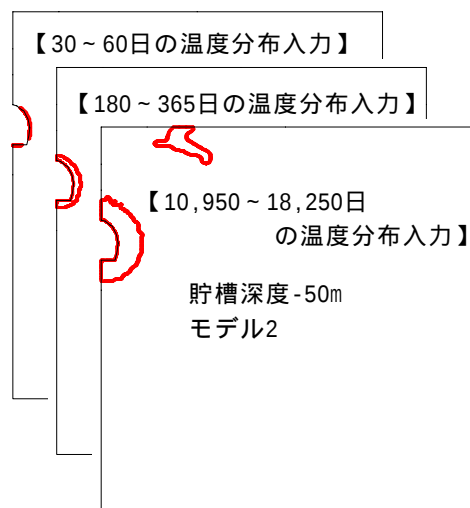


図-4 熱応力による破壊領域発生状況

表-1 破壊領域の発生時期（単位：日）

【貯槽壁面】

深度(m)	モデル1	モデル2	モデル3
-40	30～60	30～60	未解析
-50	30～60	30～60	30～60
-60	30～60	30～60	未解析
-80	30～60	30～60	未解析

【貯槽上部(貯槽壁面を除く)】

深度(m)	モデル1	モデル2	モデル3
-40	365～1,095	3,650～10,950	未解析
-50	365～1,095	発生せず	発生せず
-60	1,095～1,825	発生せず	未解析
-80	1,825～3,650	発生せず	未解析