

III-544 LNG岩盤内貯蔵における並設空洞周辺の熱伝導に関する検討

大成建設(株)技術開発部
大成建設(株)技術開発部
大成建設(株)技術開発部
三井石炭鉱業(株)三池鉱業所

正会員 ○真下 秀明
大川 孝
正会員 細田 泰宏
金子 宣武

1. 緒 言

LNG岩盤貯蔵タンクはトンネル状空洞に極低温（ -162°C ）のLNGを貯蔵する施設であるが、貯槽は隣接した複数のトンネルから構成されている。このトンネル周辺の岩盤の熱伝導解析を実施する場合、第一ステップとして単一空洞モデルを想定した非定常解析が一般に実施されている。単一空洞モデルは解析の簡素化、すなわち解析に要する時間やコストの低減、概略の現象把握といった目的で実施されるが、現実により即した現象を把握するために並設空洞モデルの解析が必要となる。本研究では単一空洞モデルならびに並設空洞モデルを用いた熱伝導解析を実施することにより、空洞周辺岩盤の温度分布、空洞内への熱流束を算出し、モデルによる解析結果の違いを比較検討した。また、一次元モデルによる熱伝導解析を実施し、並設空洞モデルの解析結果が時間の経過と共にどの程度まで一次元の流れに近づくかを調査した。

2. LNG岩盤内貯蔵タンクの概要

本研究におけるLNG岩盤内貯蔵タンク¹⁾は図-1に示すようなトンネル状の岩盤空洞にLNGを貯蔵する施設で、空洞周辺岩盤に凍結領域を自由に形成させる岩盤凍結方式により -162°C （常圧）という極低温のLNGの貯蔵を行なう。貯槽容量40万klのLNG岩盤貯蔵施設全体の配置例を図-2に示すが、この施設は貯槽本体ならびに施設配管の大部分が地中に設置される点に大きな特長がある。そのため地上スペースの解放や地上部の景観改善という土地利用上のメリットが生じ、従来の地上タンクや地下タンクと違った三次元的な空間利用を可能にしている。本研究においては、空洞隣接による周辺岩盤の温度分布・熱伝導への影響を検討するため、貯蔵空洞を地下100mに設置し、空洞断面を内径10mの円形断面に設定した。

3. 解析条件の設定

空洞周辺の岩盤の熱物性値¹⁾として、表-1に示す物性を設定して熱伝導解析を実施した。単一空洞²⁾ならびに並設空洞の比較を行なうために、図-3に示す解析領域でモデル化を行って解析を実施した。

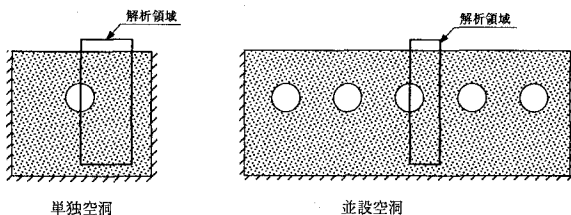


図-3 解析領域の選定

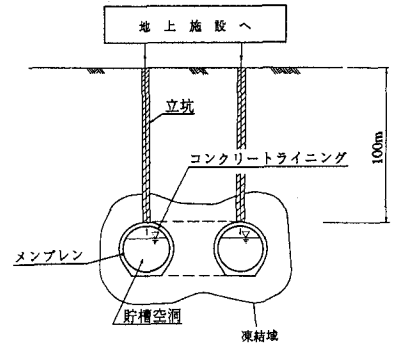


図-1 LNG岩盤貯蔵タンク断面図

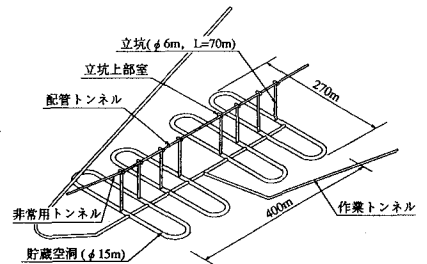


図-2 実用プラントの設置例

表-1 岩盤の物性値

単位体積重量	2,490 (kg/m^3)
比 熱	0.2 ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$)
熱 伝 導 率	0.9 ($\text{kcal/mhr}^{\circ}\text{C}$)
初期温度	15 ($^{\circ}\text{C}$)

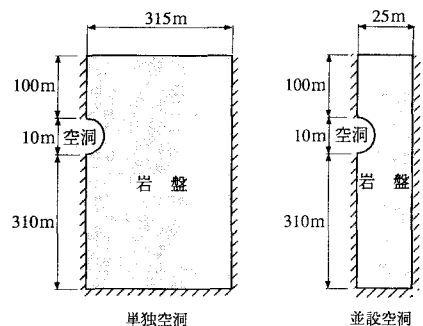


図-4 解析モデル (Not to scale)

4. 有限要素法による熱伝導解析

岩盤凍結方式のLNG貯蔵タンクの場合、岩盤から空洞内への熱の流れが生じ、これに伴った岩盤の熱放出により空洞周辺の岩盤が冷却されることになる。今回、LNG岩盤貯蔵タンク内にLNGを貯蔵した場合の有限要素法非定常熱伝導解析を実施することにより、空洞周辺岩盤の温度変化の状況を調査した。解析は単一空洞の場合と並設空洞の場合について検討を行ない、空洞隣接による周辺岩盤の温度分布や熱流束への影響について調べた。また、並設空洞の場合、最終的には上下方向の熱伝導が卓越するようになると考えられる。そこで、単一・並設空洞モデルとの比較を行なうために一次元の解析モデルを設定し、一次元方向の熱伝導解析についても実施した。

図-5は並設空洞の場合の温度コンター経時変化を示したものである。また、図-6は5年後ならびに30年後において、

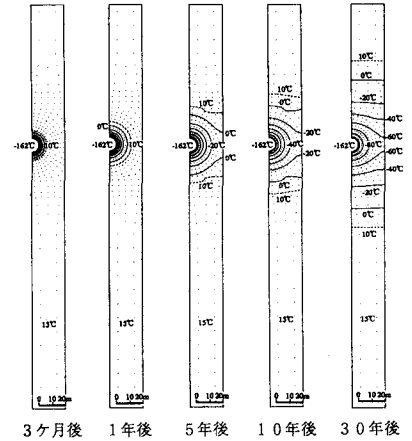


図-5 温度コンター経時変化

解析モデルの違いによる空洞周辺岩盤の温度分布を比較したものである。図-7は空洞内に流れ込む熱流束（単位時間・単位面積当たりの熱流入量）の経時変化を示したものである。これら図-3に示した3種類の解析モデルで凍結領域・温度分布・熱流束の違いを比較することにより、解析モデルの違いが経過時間において解析結果にどのように影響を及ぼすかを確認した。

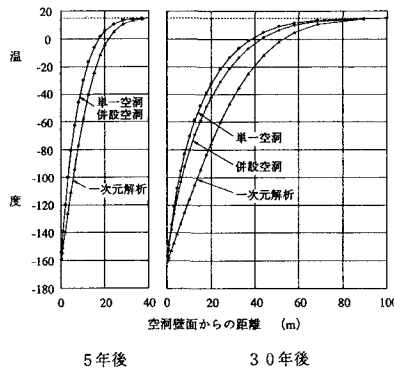


図-6 温度分布図

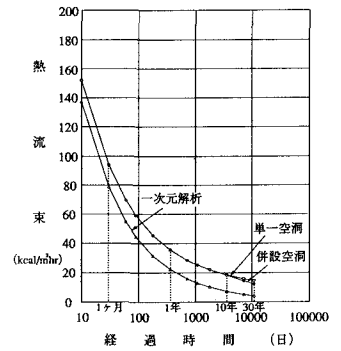


図-7 熱流束経時変化

5. 結 言

本研究では地山岩盤内に設けた空洞にLNGを貯蔵することを想定して、空洞周辺の温度分布、空洞内への熱流束の経時変化が解析モデルの設定によってどのように影響するかを検討した。本研究で得られた成果を要約すると以下の通りである。

- ① 並設空洞モデルによる解析結果を見ると、貯蔵後5年程度までは凍結領域が単一空洞モデルと同様に空洞から放射状に広がる。しかしながら、その後は凍結線が上下方向に進展しはじめる。
- ② 二つの空洞モデルの結果を比較すると、貯蔵後5年程度までの温度分布、熱流束はほぼ一致している。また、貯蔵後30年後においては、並設空洞周辺の岩盤は一次元的な温度分布になりはじめているが、一次元モデルの熱流束との比較から全体的な熱移動は二次元的に生じていることがわかる。
- ③ 複数の空洞を離間距離40mで配置した場合、空洞周辺の温度分布は5年程度まで単一モデルで代表できることが確認された。また、単一空洞の熱流束は30年後において並設空洞モデルよりも20%程度増加することが認められた。

本研究の遂行にあたり、愛媛大学工学部稲田善紀教授に御協力を得たことをここに記しておく。

- [参考文献] 1) 真下秀明, 大川孝, 細田泰宏 他: LNG岩盤貯蔵における空洞の安定性に関する検討, 第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp86~90, 1992
- 2) 稲田善紀: 地下の空間利用, 森北出版株式会社, pp87~112, 1989