

III-545

LNG岩盤内貯蔵における断熱材の効果に関する検討

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
大成建設(株)土木設計部

正会員 ○細田 泰宏
大川 孝
正会員 真下 秀明
正会員 岩野 政浩

1. 緒言

LNG 岩盤貯蔵施設における空洞周辺の温度制御を行なうのに、空洞壁面への断熱材の敷設¹⁾を考える。空洞周辺の岩盤は極低温の LNG (-162°C) により冷却されるが、岩盤の冷却速度は断熱材の仕様により大きく異なる。貯槽の断面を図-1 に示すが、空洞内部に断熱材が敷設され、その内側に液密性を保つためのメンブレンが設置されている。本研究では断熱材の物性が空洞周辺岩盤の温度分布、空洞内への熱流束におよぼす影響を概略検討するために、一次元モデルによる熱伝導解析を実施した。

2. 解析条件の設定

非定常熱伝導問題の支配方程式は (1) 式で表される。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q} \quad (1)$$

ただし、 $T = T(x, y, z, t)$ は温度、 ρ は密度、 c は比熱、 $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ はそれぞれ x, y, z 方向の熱伝導率、 $\dot{Q}$ は発熱率である。ここで (1) 式は発熱率を $\dot{Q} = 0$ とし、均一な物質内における x 方向の一次元問題を考えると、 $\lambda_x = \lambda$ として (2) 式のように書き表される。さらに、熱拡散率 $\kappa (= \lambda / \rho c)$ を用いて表すと式 (3) のように書き表される。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

この(3)式の支配方程式は均一な物質内において発熱がない場合の熱伝導問題を検討するのに用いられ、熱拡散率を解析定数とした非定常解析により温度分布、温度の経時変化が求められる。また、この熱拡散率は均一な領域内における低温域の進行を比較²⁾するのに、一つの目安として用いられている。

本研究においては表-1に示すような岩盤物性値¹⁾を用い、断熱材の物性をパラメータとした熱伝導解析を実施した。この時、断熱材の熱拡散率を一定に保ち、その熱伝導率を変化させて、熱伝導率が岩盤内における温度分布の経時変化ならびに熱流束にどのように影響するかを検討した。岩盤ならびに断熱材の初期温度は15℃で、この時用いた解析モデルの寸法は図-2の通りである。

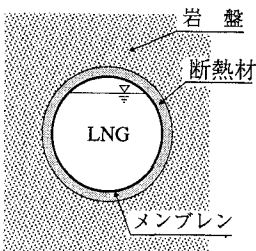


図-1 貯槽の断面

表-1 岩盤と断熱材の物性値

物 性	岩盤の 物性値	断熱材の物性値			
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
熱伝導率 (kcal/mhr℃)	0.9	0.9	0.1	0.02	0.01
単位体積重量 (kg/m ³)	2,490	1,660	184	37	18
比 熱 (kcal/kg℃)	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
熱拡散率 (kcal/m ³ hr℃)	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}
断熱材の厚さ (cm)	—	20	20	20	20

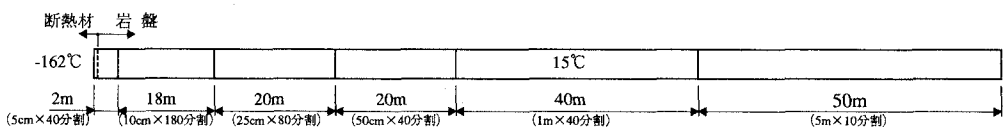


図-2 解析モデル図

3. 解析結果

本研究における岩盤凍結方式のLNG貯蔵タンクは、断熱材の表層がLNGにより冷却される。これに伴い岩盤から断熱材を通り空洞内へと移動する熱の流れを生じ、岩盤の熱放出により空洞周辺の岩盤が冷却される。今回、空洞壁面の断熱材の物性値を変え、一次元モデルによる有限要素法非定常熱伝導解析を実施し、LNG岩盤貯蔵タンク内にLNGを貯蔵した場合の空洞周辺岩盤の温度変化の状況を調査した。また、この断熱材の仕様が熱流束におよぼす影響についても検討した。

図-3は1年後、5年後、30年後における空洞壁面からの温度分布を示したものである。また、図-4は空洞内への熱流束の経時変化を、図-5はその時の断熱材の両端における温度差を示したものである。この時、断熱材の厚さは20cmと温度の影響範囲（10～50m程度）と比較して小さいことから、断熱材の熱容量（ $\rho c V$ ）は岩盤の熱容量に比べ非常に小さくなる。そのため、断熱材の温度低下量が大きいことを加味しても断熱材の奪われた熱量は岩盤のそれと比べて小さく、岩盤の温度分布に殆ど影響を及ぼさないと考えられる。このことから、LNG岩盤貯蔵タンク周辺の岩盤の温度分布は断熱材の熱伝導率が支配的であり、この値を変えて空洞内への熱流束を制御することにより空洞周辺の岩盤温度を管理することができる。また、断熱材における熱流束は断熱材内部の温度勾配に比例することから、熱容量の無視できる範囲内で断熱材の厚さを変えることによって岩盤温度を制御することも可能である。

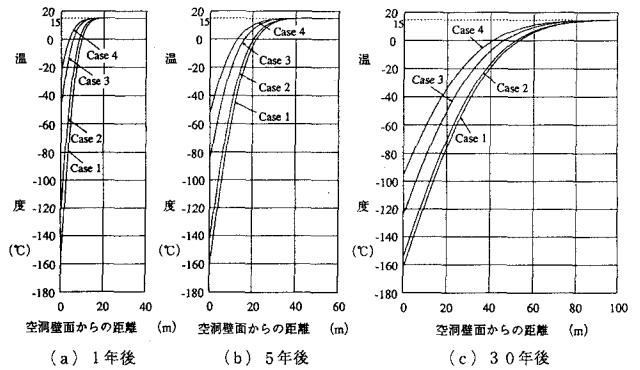


図-3 温度分布経時変化

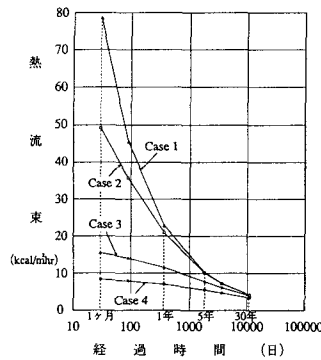


図-4 熱流束経時変化

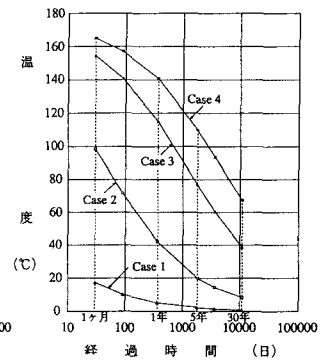


図-5 温度差経時変化

4. 結 言

本研究ではLNG岩盤貯蔵タンク内の断熱材の仕様が周辺の岩盤温度にどのように影響するかを一次元の解析モデルを用いて検討した。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 断熱材の熱拡散率が同じでも、その熱伝導率を変えることにより岩盤の温度分布と空洞内への熱流束を制御できることがわかった。その効果は岩盤の熱伝導率0.9 (kcal/mhr°C) に対して、断熱材の熱伝導率0.02 (kcal/mhr°C) 以下で顕著に見受けられた。
- ② 貯蔵後30年後においても、熱伝導率0.02 (kcal/mhr°C) の断熱材（厚さ20cm）には約40°Cの温度差、また熱伝導率0.01 (kcal/mhr°C) の場合で約70°Cの温度差があり、それぞれ岩盤温度の低下量を空洞表面で25%、40%減少させている。このことから適当な仕様の断熱材を選択・敷設することにより岩盤温度の低下をある程度制御できることが明確となった。

- [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