

LNG貯槽基礎地盤の熱伝導に関する一考察

豊橋技術科学大学 正員 栗林 栄一
 豊橋技術科学大学 正員 河邑 真
 豊橋技術科学大学大学院 学生員 ○徐 元一

1. まえがき

エネルギーは日常の生活や産業の発展にかけ替えのないものであり、その需要は着実に増加している。最近、LNG（液化天然ガス）や、LPG（液化石油ガス）などの需要が高まるに伴い、これら極低温液体の貯蔵が重要な課題になってきた。零下162℃のLNGを地下に貯蔵することは安全性、景観としての周囲環境との調和、土地の有効利用の観点からLNGの冷熱によるタンク周囲地盤の凍結とその成長という新しい課題が発生した。本研究はLNG貯槽基礎地盤の熱伝導に関して有限要素法で解析する方法を提案する。

2. 熱伝導と拡散による熱の移動

複雑な断面形状、地層、境界条件などを考慮する場合、差分法又はFEM法が適していると考えられる。そこで、ここでは最も一般的であり、差分法より更に幾何的に近似したモデル化のできる、潜熱を考慮したFEM法による三次元構造物の熱伝導方程式を導いた。まず

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q = C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

ただし K_x, K_y, K_z : X, Y, Z方向熱伝導率 (kcal/m・h・℃)
 Q : 内部発熱率 (kcal/m³・℃)
 C : 熱容量 (kcal/m³・℃)
 T : 任意位置, 任意時刻の温度 (℃)

中部地方の気温は、夏季約30℃、冬季5℃とみられる。つまり、夏季におけるタンクと空気との温度差は約19℃、冬季には約16℃であり、平均気温は約17℃である。その場合、タンクとの温度差は17℃とみる。夏と冬がそれぞれ水と比べると $192^\circ\text{C}/179^\circ\text{C}=1.07$, $167^\circ\text{C}/179^\circ\text{C}=0.93$, ±7%の変動がある。本研究では変動を無視して外部の条件は定常的であるとしている。従って式(1)の右辺 $C \frac{\partial T}{\partial t} = 0$ となる。

つぎにFEM法を適用するに当って Fig.1 に示す三角形要素の頂点を i, j, k とし、それらの座標をつぎように規定する。

$$(X_i, Y_i) \quad , \quad (X_j, Y_j) \quad , \quad (X_k, Y_k)$$

これらの点における温度をそれぞれ T_i, T_j, T_k とし、三角形要素内の温度 T を各頂点の温度で(2)式のように

$$T = \begin{bmatrix} N_i & N_j & N_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで N_i, N_j, N_k とは三角形要素の形状関数である。

3 解析のモデル

Fig. 2 と Fig. 3 のように二次元の解析モデルについて貯槽基礎地盤の熱伝導と温度分布を求める。

なお、境界条件はつぎのとおりである。

温度指定境界 $T = T_s$

断熱境界

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} + k_z \frac{\partial T}{\partial z} = q$$

熱伝達境界

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} l_y + k_z \frac{\partial T}{\partial z} l_z = hn(T_h - T)$$

ただし T_s : 指定温度 ($^{\circ}\text{C}$)

q : 境界発熱量 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

hn : 境界熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

T_h : 外部温度 ($^{\circ}\text{C}$)

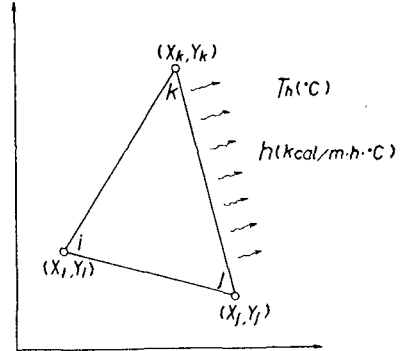


Fig. 1 三角形要素

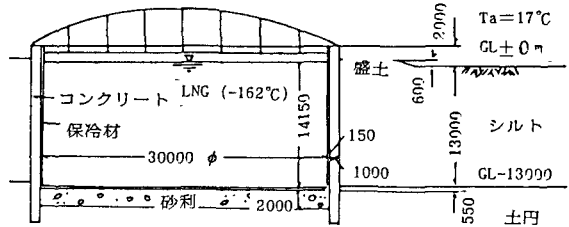


Fig. 2 LNG タンク

さらにつぎの仮定を設けている。

(1) タンク周囲の地盤は等方均質であるものとする。

(2) 地盤中に地下水流はないものとする。

(3) 保冷材とコンクリート壁とは等価熱伝達境界とする。

4 おわりに

なお、解析計算の結果は講演の当日に発表する予定である。

本研究は後藤貞雄先生(東京ガス株式会社)の解析モデルに参考した。

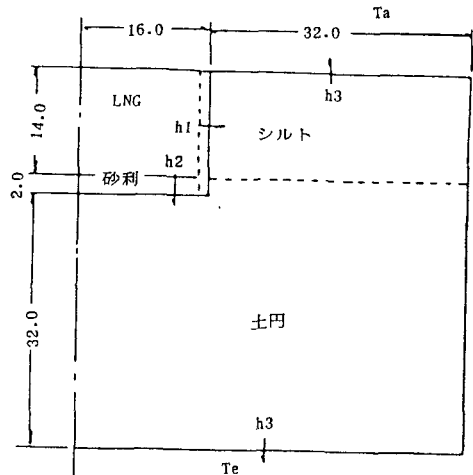


Fig. 3 解析モデル

参考文献: 後藤貞雄、土の凍結-その制御と応用-6章、土質工学会

L. J. SEGERLIND: APPLIED FINITE ELEMENT ANALYSIS, CHAPTER 8

外気温度

$T_a = 17^{\circ}\text{C}$

地中境界温度

$T_e = 17^{\circ}\text{C}$

熱伝達率

$h1 = 0.200$ ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

$h2 = 0.222$ 〃

$h3 = 20.0$ 〃

MEMO

MEMO