III-293　ＬＮＧ貯蔵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　由井洋三
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にとって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などのほかに，土地の有効利用の観点からＬＮＧの冷熱による周囲地盤の凍結とその成長という新しい課題がある。本研究はＬＮＧ貯蔵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ＦＥＭ法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

$$\frac{\partial}{\partial X}\left(K_x\frac{\partial T}{\partial X}\right)+\frac{\partial}{\partial Y}\left(K_y\frac{\partial T}{\partial Y}\right)+\frac{\partial}{\partial Z}\left(K_z\frac{\partial T}{\partial Z}\right)+Q=C\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (1)$$

ただし　Kx、Ky、Kz：X 、Y 、Z 方向熱伝導率（Kcal／m ・h ・℃）
Q：内部発熱率（Kcal／m^3・℃）
C：熱容量（Kcal／m^3・℃）
T：任意位置，任意時刻の温度（℃）

中部地方の気温は，夏季は約３０℃、冬季は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１９２℃，冬季には約１６７℃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１７９℃となる。夏と冬がそれぞれ平均と比べると１９２℃／１７９℃＝１．０７、１６７℃／１７９℃＝０．９３，±７％の変動がある。しかしながら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（１）式の右辺$C\partial T/\partial t=0$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のように規定する。

(Xi, Yi)　,　(Xj, Yj)　,　(Xk, Yk)

これらの点における温度をそれぞれTi，Tj，Tkとし，三角形要素内の温度Tを，各頂点の温度から（２）式のように

$$T=[N_i, N_j, N_k]\begin{bmatrix}T_i\\T_j\\T_k\end{bmatrix} \qquad (2)$$

ここで　Ni、Nj、Nk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蔵基礎地盤の熱伝導と温度分布を求める。なお，境界条件は二次元化するために（１）式においてZ 方向を省略し，次のように与えた。

温度指定境界　　　　T＝Ts　　　（3）

発熱境界

$$K_x\frac{\partial T}{\partial X}l_x+K_y\frac{\partial T}{\partial Y}l_y+K_z\frac{\partial T}{\partial Z}l_z=q \qquad (4)$$

熱伝達境界

$$K_x\frac{\partial T}{\partial X}l_x+K_y\frac{\partial T}{\partial Y}l_y+K_z\frac{\partial T}{\partial Z}l_z=hn(T_h-T) \qquad (5)$$

ただし　Ts：指定温度（℃）
　　　　q　：境界発熱量（Kcal／㎡・h）
　　　　hn：境界熱伝達率（Kcal／㎡・h）
　　　　Th：外部温度（℃）

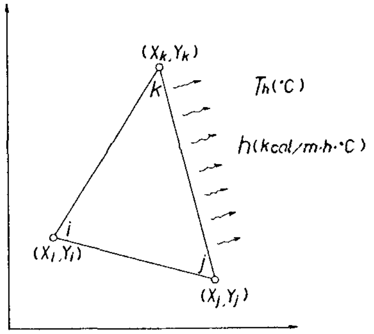
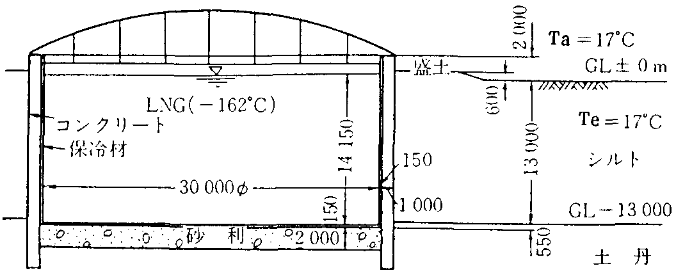


Fig-1　三角形要素



Ta：外気温度

Te：地中温度

（単位：mm）

Fig-2　ＬＮＧ　タンク概略図

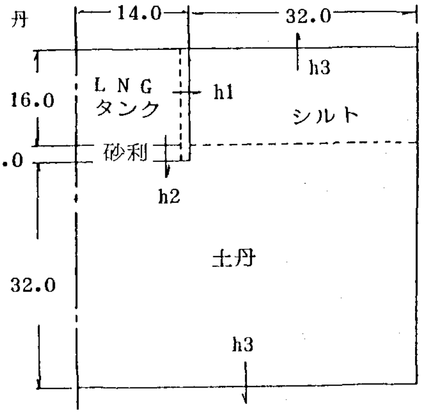


Fig-3　解析モデル

外気温度	熱伝達率
Ta＝１７℃	h1＝０．２００（Kcal／m・h・℃）
地中境界温度	h2＝０．２２２（Kcal／m・h・℃）
Te＝１７℃	h3＝２０．００（Kcal／m・h・℃）

さらにつぎのような仮定をに設けている。
（１）タンク周囲の地盤は等方均質であるものとする。
（２）保冷材とコンクリート壁とは等価熱伝達境界とする。
（３）地盤中の地下水流はないものとする。

４．おわりに

なお，解析計算の結果は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）の解析モデルを参考にした。

５．謝辞

本研究に際し，数々の助言ならびに御指導くださった本学の加藤史郎先生、本間　宏先生、大野信忠先生、河邑　眞先生、Ｍ．Ｓａｔｒａ先生に深く謝意を表します。

６．参考文献

後藤貞雄：土の凍結−その制御と応用−６章．土質工学会．昭和５７年
L. J. SEGERLIND：APPLIED FINITE ELEMENT ANALYSIS CHAPTER 8. JOHN WILEY & SONS INC. 1976.