

(株)大林組 技術研究所 正 斉藤 二郎

同 土木本部技術部 正 河野 彰

同 技術研究所 ○正 上野 孝之

1. ま え が き

現在、液化天然ガス(LNG)の貯蔵は安全性、まわりの住民に与える心理的影響、さらに敷地の有効利用ということから地下貯蔵方式への関心が高まっている。しかし、地下貯蔵についてはまだ未解明の問題が少なくない。すなわち

- ① 地盤凍結に伴う諸現象(凍結進行過程、凍結土圧、地盤変位、ボイルオフガス量等)の予測
- ② 貯蔵槽本体の設計方法(熱応力、凍結土圧等)の解明

上記の問題を明らかにし、さらに液シール兼用の断熱材を開発して、経済的で合理的な地下タンクを開発する目的で、内容積が80KLの実験タンクを沖積層地盤に構築し、液化窒素による冷却実験を行なった。

なお、実験は、大阪泉北地区において昭和46年11月より昭和47年11月までの1ケ年にわたって実施したものである。

2. 実 験 概 要

この実験では躯体に発生する熱応力、凍結膨脹圧、地盤変位、ボイルオフガス量等の測定を行なったものであるが、これらを算定するには地盤の凍結進行過程を予知する必要がある。

そこで、本報文では地盤凍結の経時変化について、測定値と計算値との比較を行ない、算定方法の妥当性を検討した。

タンクの概略構造と温度計(Cu-Co熱電対)の設置位置を図-1に示す。また地盤は図-2の土質柱状図に示すように主としてシルト質地盤である。

室内実験によって求めた地盤、コンクリートおよび断熱材の熱的性質の代表的な値を一覧表にして表-1に示す。なお躯体コンクリートは表-2に示す配合のものを使用した。

タンクの冷却は液体窒素を用いて、15日でクールダウンを行ない、タンク内温度を約-190℃に低下させた後貯液を開始した。以後約2ヶ月にわたって貯液を継続

し、躯体内および周辺地盤の温度測定を行なった。

3. 周辺地盤の凍結進行過程

この実験では、貯液後 表-2 コンクリートの配合

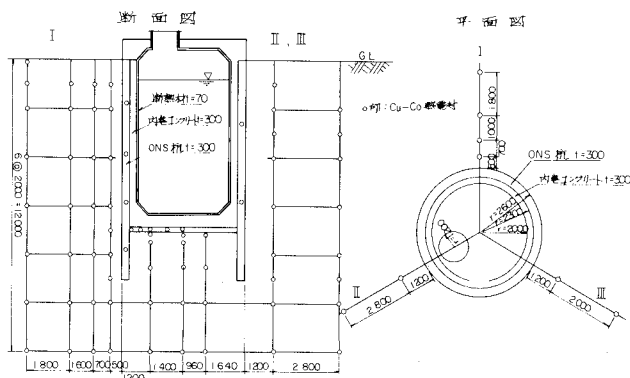


図-1 タンク概略構造と温度計設置位置

		熱伝導率 kcal/mh℃		比熱 kcal/kg℃		凍結潜熱 kcal/kg
		凍結前	凍結後	凍結前	凍結後	
地	砂質シルト	1.95	3.65	0.44	0.23	20.9
	シルト質粘土	1.90	4.15	0.47	0.25	22.6
	粘土	1.80	4.00	0.43	0.33	18.0
盤	シルト質粘土	1.80	1.75	0.75	0.23	27.2
	コンクリート	1.95	2.15	0.22	0.15	2.0
	保冷材	0.025	0.167			—

表-1 熱定数測定結果

粗骨材 の最大 寸法 mm	スラン プの 範囲 cm	空気量 %	単位体 積重 W kg	単位セ メント 量 C kg	水セメ ント比 W/C %	絶対細 骨材率 S/A %	単位粗 骨材重 S kg	単位細 骨材重 G kg	単位A 制量 E kg
25	15	4	162	300	54	61.2	707	1155	12

備考:セメントは普通ポルトランド AE 剤はボソリス NO.10

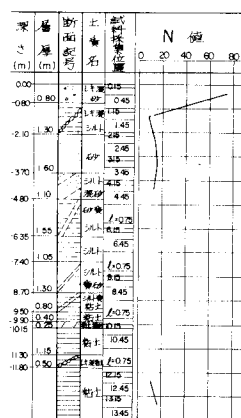


図-2 土質柱状図

断熱材にクラックが生じたため、断熱材が健全であるときと比べて防熱性能が劣化したことが確かめられた。したがって、熱伝導の解析において測定値と計算値を比較するためには劣化の程度を推定する必要がある。

そこで、球面座標系における熱負荷の準定常解¹⁾を用い、 $Bi(=\alpha \cdot a/k)$ 、但し、 α ；境膜熱伝導係数、 a ；半球の相当半径、 k ；断熱材の熱伝導率)を変えた熱負荷曲線を何本も描き、実測のボイルオフ量と最もよく一致するものを選び、 Bi と $t=0$ の時期を推定した。図-3はその結果を示したもので、

$$Bi = 2.10, \quad t = 0 \quad \text{8月9日}$$

この Bi から防熱層の劣化程度を検討した結果、 $ki = 0.2169 \text{ Kcal/m.h}^\circ\text{C}$ が得られ、断熱層の防熱力が初期の約 $1/8.7$ に、劣化したことが判明した。

地盤凍結の進行過程の算定に際して、断熱材の熱伝導率は上記の値を用い、その他の計算条件は表-3に示す値を用いた。

解析方法は軸対称問題として、有限要素法²⁾を用い、また非定常であることから時間項の処理に差分手法を用いた解法によった。

凍結線は防熱力劣化のため、当初の予想を大きく上回るものとなつたが、計算結果と測定結果の凍結線の形は図-4に示すように両者共ほぼ同様に回転楕円体の形状で進行している。

また、 $GL-5m$ の側壁の位置における凍結線の経時変化を図-5に示しているが、測定値と計算値とが比較的良好に近似している。

4. あ と が き

今回の実験から、凍土の成長曲線については実測値と計算値とが比較的良好に合ひ、熱定数が与えられれば有限要素による解、あるいは半球理論による解で凍土の成長過程を推定することの妥当性が認められた。

ただ、計算値が実測値を多少上回っているのは地盤の凍結潜熱を考慮しなかつたことによるもので、さらに厳密な値を得るためには潜熱を考慮した解法による必要があると思われる。

なお、本実験は、大林組、精研冷機、日本ソフラン化工3社の共同実験であり、実験に御協力いただいた関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 高志 勤；液化低温ガス貯蔵用地下タンク周囲の地盤の凍結について(II) 冷凍-第47巻第56号
- 2) 斉藤、藤原；有限要素法による浸透流、熱流などの解析 第8回土質工学発表会E-7-139

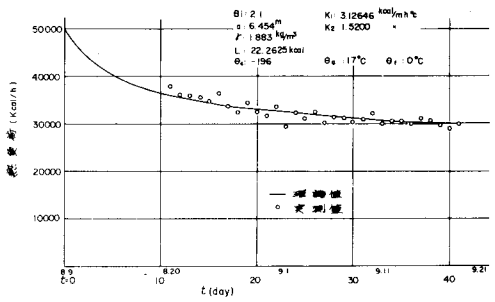


図-3 熱負荷の経時変化

未凍結土の熱伝導率	$k_1 = 3.1265 \text{ kcal/m.h}$
凍土の熱伝導率	$k_2 = 1.5200 \text{ "}$
凍土の単位体積重量	$\rho = 1.8830 \text{ kg/m}$
地中平均温度	$\theta_0 = 17^\circ\text{C}$
$L \text{ N}_2$ 温度	$\theta_0 = -196^\circ\text{C}$

表-3 計算条件

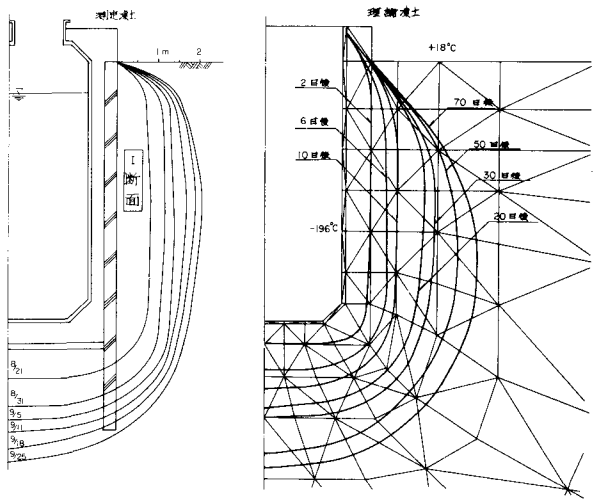


図-4 凍結線形状の経時変化

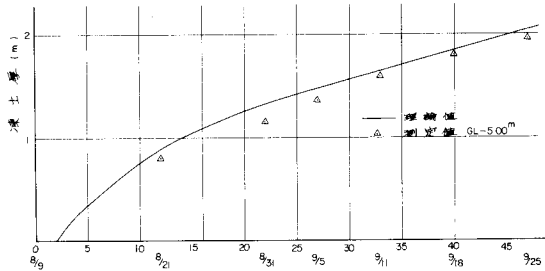


図-5 凍結線成長経時変化 (GL-5m)