

東京瓦斯(株)工務部 正員 中村 公道
〃 正員 高橋 行茂
鹿島建設技術研究所 正員 ○ 阿部 裕

1. まえがき

近年、我国において活発に建設がすすめられている液化天然ガスの貯槽設備としての地下式タンク設計において、重要な課題の1つに地盤の凍結膨張によりタンク躯体に作用する「凍結土圧」があげられる。

この報文は、地盤凍結に伴ない発生する膨張ひずみを初期ひずみと考え、タンク躯体、凍結土、未凍結地盤を含めた軸対称解析モデルを仮定し、既存の室内実験より得られた土の凍上特性および凍結土の物性などを利用することによって凍結土圧を算出する方法について述べたものである。

2. 一般的解析方法

一般に地下タンク周辺地盤の凍結が進行する様子を模式的に表わすと図-1 のようになる。このように、凍結領域に膨張が起こると、そのすぐ外側の未凍結地盤内に変位が発生し、この変位に対抗して土圧が増加する。有限要素法を用いた上記の凍結膨張現象に対する数値解法の適用は次のようになされる。地盤が凍結膨張などによって生じる膨張ひずみ(初期ひずみ) $\{\epsilon_0\}$ を受けている場合には、応かひずみ関係式は次のようになる。

$$\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\})$$

ここで $[D]$: 材料定数を含んだ応かひずみマトリックス

また、全構造系における節点力と節点変位の関係は各節点に働く外力を $\{R\}$ で表わすと、各節点における力のつり合い条件より次式となる。

$$\{R\} = [K] \cdot \{\delta\} + \{F\}_{\epsilon_0}$$

ここで $[K]$: 全構造系の剛性マトリックス

$\{F\}_{\epsilon_0}$: 初期ひずみによる節点力

このように、本解析では何らかの方法で凍結膨張ひずみ $\{\epsilon_0\}$ を決定すればよいことになる。

3. 凍結膨張ひずみの考え方

凍結膨張の大きさを定量的に表現したものに凍上率(ξ)がある。凍結中の土の間ゲキ水の出入を自由(動水抵抗がない状態)にしなから熱流方向に一致する上載荷重(有効拘束圧)を変化しうる開式凍上試験(側方完全拘束の一軸凍上試験)により、土が一定の有効拘束圧(σ) および凍結速度(U) のもとで凍上するとき、次のような実験式が提案されている。¹⁾

$$\xi = \xi_0 + \sigma_0/\sigma \cdot (1 + \sqrt{U_0/U}) \quad \text{ここで } \xi: \text{凍上率(凍上量と凍結土の凍結前の厚さとの比)}$$

ξ_0, σ_0, U_0 : 実験定数

ここでは、凍結要素の地盤応か(σ) に対応した膨張ひずみとして上記の凍上率を用い、膨張の方向については図-2 に示すようにあらかじめ熱解析により決定された熱流方向にのみ膨張ひずみを与えることとした。

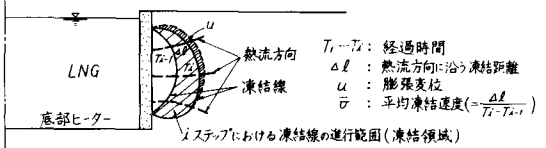


図-1 タンク周辺地盤の凍結モデル

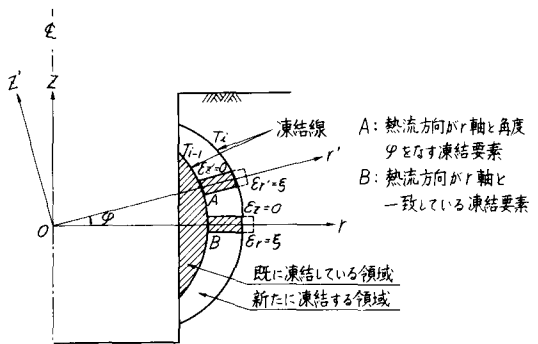


図-2 凍結要素の膨張ひずみ

解析の流れを図-3に示す。

4. 解析結果と実測値の比較

図-4は実タンク周囲地盤の土層状況図で、上部より埋立土、沖積シルト質土、洪積粘性土、洪積砂質土である。表-1はそれぞれの土層から採取した代表試料の土質試験結果である。図-5に実タンクおよび周辺地盤をモデル化した解析断面を示す。

図-6に躯体に作用する凍結土圧の計算結果を示す。これによると、凍結土圧の分布形状はおおよそ台形分布に近いと考えられ、凍結進行に伴ない徐々に増加して行くことがわかる。図-7に野液後3年におけるタンク周辺地盤の変位分布について、FEM

による計算値と地中変位計による実測値を比較した結果を示す。これによると、水平変位分布について計算値と実測値は比較的良好な対応を示していることがわかる。

5. あとがき

以上の解析によって、LNG地下タンク周辺地盤の凍結によって躯体に作用する凍結土圧増加の機構の一端を明らかにすることができた。今後は、実タンクデータを集積し、本解析法の適用性についてさらに検討を加えて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 高志; 地盤凍結工法を対象とした土の凍結膨張, 土と基礎, 1977・7

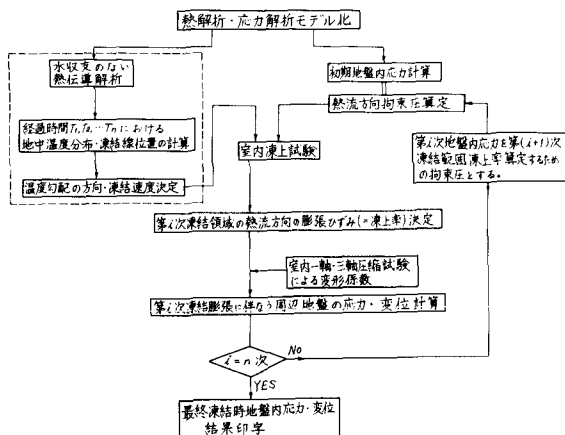


図-3 解析の流れ

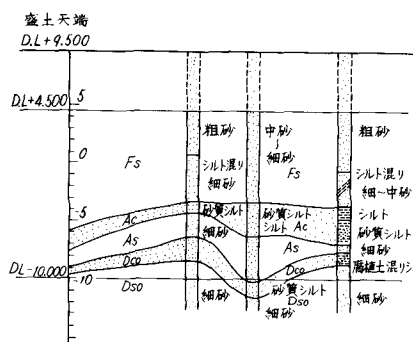


図-4 土層状況図

表-1 土性値一覧表 (平均値)

項目	土層	Fs層	Ac層	As層	Dco層	Dso層
比重 G_s		2.78	2.70	2.70	2.70	2.69
含水比 w	%	33.4	40.1	38.9	28.4	3.16
湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.767	1.718	1.742	1.821	1.823
飽和密度 ρ_d	g/cm^3	1.335	1.230	1.259	1.419	1.344
液性限界 LL	%	-	36.5	-	36.3	-
塑性指数 PL	%	-	27.8	-	25.1	-
間隙率比 e		1.11	1.21	1.16	0.91	0.93
飽和率 S_r	%	82.8	80.9	90.6	84.9	89.3
$\alpha_1 \cdot S_r$	%	90.4	89.0	98.8	82.6	87.4
三角座標分		砂	シルト質砂	砂	シルト質砂	砂

$\alpha_1 S_r = \frac{w}{L} \cdot \frac{e}{e_{max}}$ ($\gamma = 0.917 \text{ g/cm}^3$)

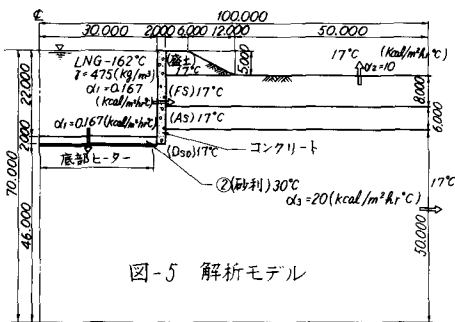


図-5 解析モデル

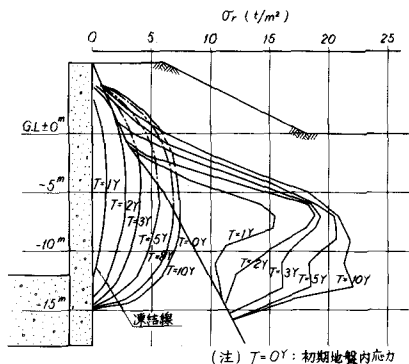


図-6 凍結土圧経時変化図

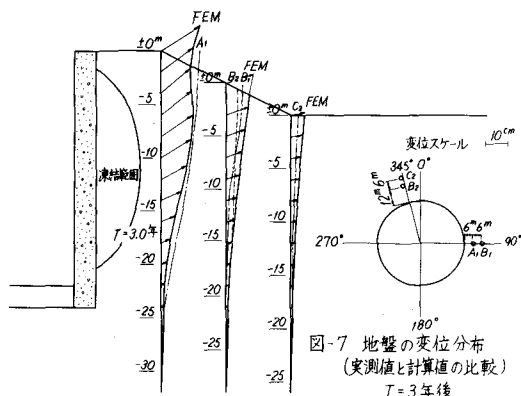


図-7 地盤の変位分布
(実測値と計算値の比較)
 $T=3$ 年後