

Ⅲ - B312 LNG地下式貯槽の躯体実測温度に基づくヒーターの適正運転

清水建設 正会員○藤原 龍雄

同 上 フェロー 菊池 雄一

東京ガス 上野 衛

同 上 正会員 中下 兼次

1. はじめに

LNG地下式貯槽は極低温のLNG（液化天然ガス； -162°C ）を地下に貯蔵する。貯槽は大きな魔法瓶であり、図-1に示すように、内側からメンブレン（SUS）、保冷材（硬質ウレタンフォーム）及びRC製躯体から成っている。また、LNGの冷熱により地盤が凍結し、過大な凍土圧が作用しないように躯体の側部と底部にヒーターを設けている。ヒーターは躯体及び地盤内に配置した温度計をモニタしてコントロール可能である。

一般に貯槽を構成する部材の熱物性や境界条件は成分、環境（温度・水分）等によって変化し、躯体や地盤の温度分布に影響を与えることが知られている。この報告では躯体実測温度に最も近くなる主要部材の熱物性と境界条件をFEM解析から推定し、底部ヒーター運転温度・時期を検討した事例を述べる。

2. 検討フロー

検討フローを図-2に示す。

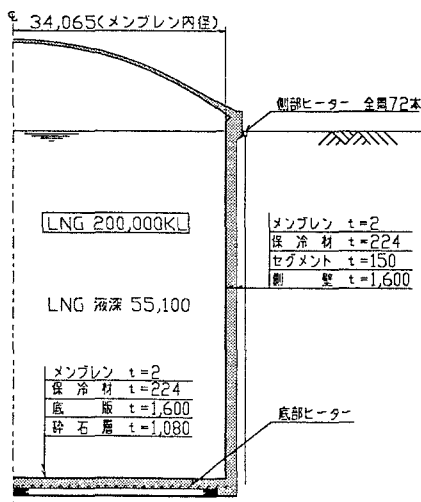


図-1 貯槽概略図

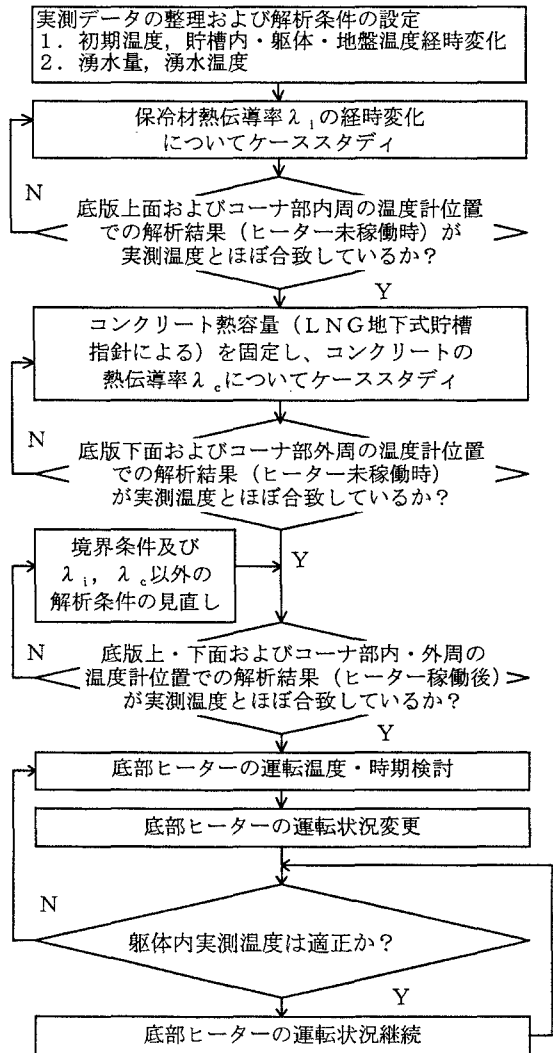


図-2 検討フロー

キーワード；LNG地下式貯槽、FEM解析、ヒーター温度

〒105-07 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館清水建設土木本部 TEL:03-5441-0662 FAX:03-5441-0515

3. 解析条件

解析条件を表-1に示す。なお、図-2による見直しの有無を○×で示す。

表-1 解析条件

境界条件	貯槽内面		LNG実測温度による固定温度境界	×
	貯槽中心鉛直軸		断熱境界	×
	地盤	最下端面	底部初期温度のうちの最高値による固定温度境界	○
		側部最外周面	断熱境界	×
	砕石層水面		砕石層水面位置において砕石層初期温度のうちの最高値と実測湧水量に相当する等価熱伝達率による熱伝達境界	○
	底部ヒーター	メイン	ヒーター管外径位置での流体温度による熱伝達境界	○
		サブ	ヒーター管外径位置での断熱境界	×
熱物性	保冷材		図-2検討フローにより温度計位置での解析結果が実測温度とほぼ合致する値を採用	○
	コンクリート		とほぼ合致する値を採用	
	地盤		原設計値	×

4. 解析モデル

解析モデルの主要部を図-3に示す。

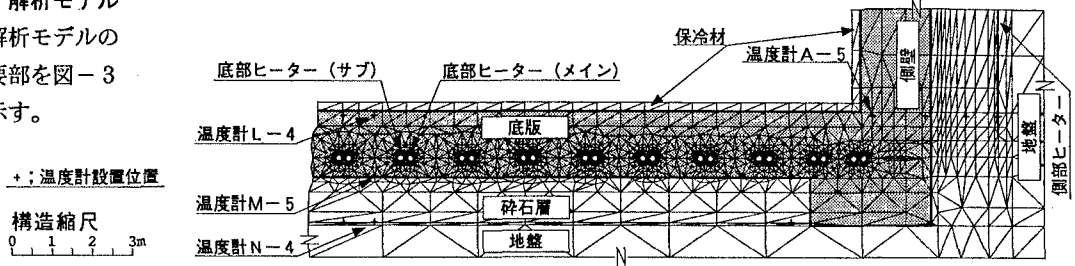


図-3 解析モデル

5. 解析結果と実測温度の照合

微小物体の熱伝導問題は次の一般的な熱伝導基礎微分方程式で表わされる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

ここにTは温度、tは時間、x y zは直角座標系内の座標、 ρc は熱容量、 λ は熱伝導率である。

熱伝導問題は基礎方程式を初期条件と境界条件のもとで解くことに帰着する。

$\lambda/\rho c$ は熱拡散率であり、 λ と ρc の比率及び境界条件が一定であれば、基礎方程式と初期条件を満足する温度解はただ一つ存在する。本検討においては ρc を固定し、 λ 及び境界条件を推定した。当該推定結果を用いた予想温度（解析結果）と実測温度の経時変化を図-4に示す。

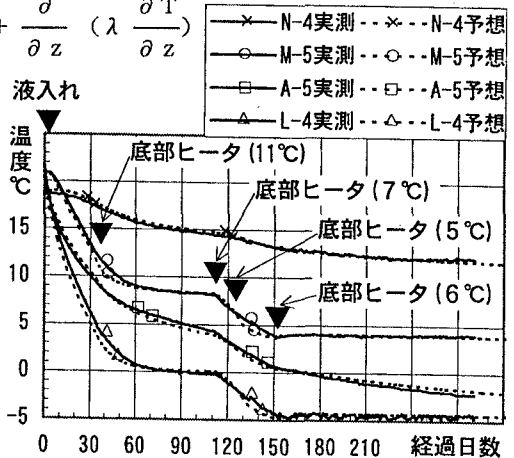


図-4 解析と実測の比較

6. おわりに

貯槽の運用を実際に開始してから約8ヶ月間に得られた初期温度、湧水量、湧水温度等の実測値は貴重であった。これらの実測値をもとに主要部材の熱物性と境界条件を推定し、ヒーター運転温度や温度変更時期を検討のうえ適切な運転を実施した。また、躯体内温度計をモニタすることにより適正な運転を行うことができた。