

V-123 低温液化ガス貯蔵タンクの底版内熱応力

清水建設(株) 正〇 脇田 英治
 東京瓦斯(株) 正 高橋 行茂
 清水建設(株) 正 中沢 亨

1. まえがき

近年、天然ガスに対する需要の伸びとともに、それを貯蔵するための地下タンクの建設が数多く計画されている。ところが、液化天然ガス(LNG)は極低温(-162°C)の物質であるために、通常のタンクとは異なる設計上の問題を含んでいる。そこで、東京瓦斯(株)袖ヶ浦工場内に建設中の地下タンクでは種々の計測器を取り付けることにより、建設後の維持管理と今後の設計施工資料を得るための計測が行なわれている。タンク底版内には鉄筋計歪計、土圧計、温度計などの計器が取り付けられており、それらによって鉄筋の応力、コンクリートの歪、地盤反力、温度分布などの測定値が得られている。一方、解析的にも、熱伝導解析、熱応力解析によって測定値に対応するものが得られるので、ここではそれらの比較検討結果について述べる。

2. 底版内温度分布

(1)解析方法 タンク内部にLNGの貯蔵が開始されると、タンク底版はタンク内壁面に張られた断熱材を介してタンク内部より伝えられる冷熱によってしだいに冷却される。

表-1 熱伝導解析に用いた材料特性
 この場合、断熱材の熱伝導率がコンクリートに比較して小さいので、底版内に長期間にわたって非定常熱伝導状態が持続する。また、底版内に設置された温度計により、解析対象の時間範囲における底版内温度分布は、中央部、周辺部とでは変化がないと計測

コンクリート	熱伝導率	1.97 Kcal/mh $^{\circ}\text{C}$
	温度伝導率	4.0×10^{-3} m 2 /h
断熱材	熱伝導率	0.02 Kcal/mh $^{\circ}\text{C}$
	温度伝導率	5.0×10^{-4} m 2 /h

されているので、その分布を一次元問題として近似した。したがって、底版内の温度分布の経時変化を推定するために一次元非定常熱伝導解析を用いた。

(2)計算条件 表-1は解析に使用した材料特性を示している。このうち、コンクリートの熱的特性は強度の場合と異なり、水セメント比や材令にはあまり影響されず、主としてコンクリートの体積の7~8割を占める使用骨材の石質、単位量などに依存するものである。そこで、各種の骨材を用いたコンクリートの熱的特性値の実験結果(ACI207委員会)を参考にして、コンクリートの熱的特性値を定めた。また、断熱材の熱的特性は温度変化を考慮してその値を定めた。

(3)解析結果の検討 図-1は底版中央断面における温度計による深度方向の実測温度分布とその解析結果を表わしている。この図によると、LNG貯蔵開始日より9日目、48日目、96日目ともに実測結果と解析結果は比較的良好に一致していると思われる。厚さ5.5mの底版内には鉄筋が9段底版と水平な方向に配置されている。解析ではこの鉄筋の熱伝導に及ぼす効果を考慮しなかったが、以上の結果によればその影響は顕著なものではないと考えられる。

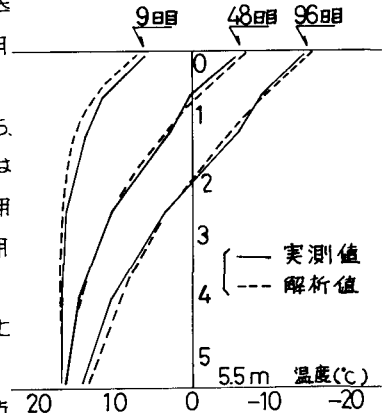


図-1 底版の深度方向温度分布

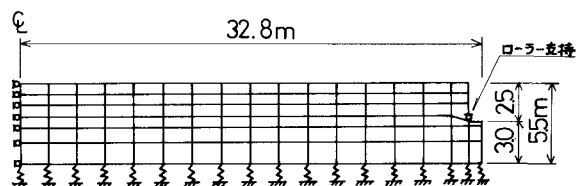


図-2 解析モデル図

3. 底版内 熱応力分布

表-2 熱応力解析に用いた材料特性

コンクリート	弾性係数	$2.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
	ポアソン比	0.20
	線膨張係数	$11.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
鉄筋	弾性係数	$2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
	線膨張係数	$11.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
地盤	地盤反力係数	1.93 kg/cm^3

(1)解析方法 底版内熱応力分布の解析に軸対称有限要素法を用いた。図-2はその解析モデル図である。底版は地盤によりバネ支持されるとして、地盤部分をLinkage Elementで表わした。

(2)コンクリートのひび割れの取扱い 底版内に設置した歪計による実測の結果、コンクリート断面に作用する引張応力は底版上端付近で最大であり、その値は歪計の読みから推定すると、 42 kg/cm^2

と算定される。一方、コンクリートは低温になるほどその引張強度が上昇する傾向があり、実験の結果、 -10°C で引張強度は 50 kg/cm^2 であった。したがって、温度が -4°C である底版上端付近のコンクリートの応力度は引張強度以下であると推定される。すなわち、コンクリートにひび割れは発生していないと考え、ここでの解析においては、コンクリートは析重に対して全断面有効に働くとした。

(3)鉄筋を含む断面の換算ヤング率 鉄筋を含むコンクリート断面に相当する要素においては、鉄筋の効果を考慮して、換算ヤング率を用いた。

図-3 底版中央断面における歪の深度方向分布

(4)材料特性 解析には要素の材料特性として表-2に示した値を用いた。このうち、コンクリートの材料特性は事前に同一配合の試料を用いて行なった実験結果に基づくものである。極低温下におけるコンクリートの材料特性は常温のものとは大きく異なるが、今回の解析対象の温度範囲($-4^\circ\text{C} \sim +17^\circ\text{C}$)においては大差ないので、一定値とした。また、鉄筋の線膨張係数は温度範囲、鉄筋の炭素含有量などにより変化するが、今回の解析ではコンクリートと同一の値とした。また、地盤反力係数はN値からその値を推定した。

(5)荷重条件 析重条件としては底版の温度低下による温度析重とタンク内のLNGの液位上昇分に相当する上載荷重である。ここで、温度析重はLNG貯蔵開始後90日目の状態を解析の対象としているので、この日の実測温度分布から初期温度を差し引いた温度差とした。

(6)解析結果の検討 図-3は底版中央断面における鉄筋、およびコンクリートの歪の深度方向分布を表わしている。ただし、この図における歪は線膨張係数に比例する自由収縮によって生ずる初期歪を原点にとって、境界拘束の影響によるそこから歪の移動量のみを表示したものである。図-4は底版中央断面における鉄筋応力の深度方向分布を表わしている。ただし以上の各図に示された実測値は事前に行なった計器検定試験に基づいて、温度補正のなされた値である。これらの図によると計器の精度は高い方から温度計、歪計、土圧計の順であるが、解析結果と実測値は歪、応力、地盤反力のすべてについておおよそ一致する結果が得られた。

参考文献 1) 秋田、他、土木学会論文報告集第199号(1972年3月)

2) 今井、他、第31回土木学会年次学術講演集第5部門(1975年10月)

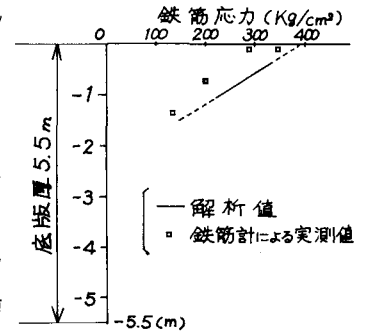
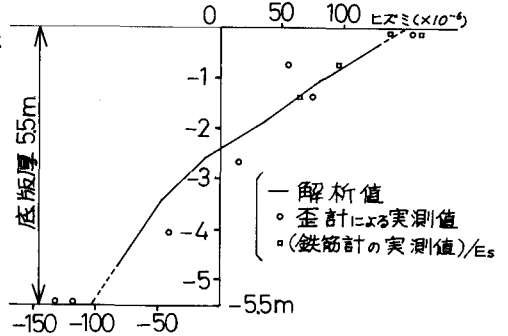


図-4 鉄筋応力の深度方向分布

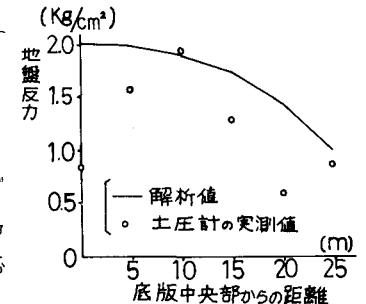


図-5 地盤反力の分布