

大林組 技術研究所 正員○大内 一
同 上 武田 寿一

1. はじめに

LNG地下タンクは地下式という構造特性上、土水圧等の常時作用荷重と、極低温貯蔵ガスによる温度荷重を常に受けているものと考えられる。この種の構造物は、さらに地震による影響荷重を含めた組合せ荷重に対して弾性設計がなされているのが現状といえよう。本研究は地震荷重としてとりわけ支配的であると考えられる増加土圧をとりあげ、常時作用荷重も含めて静的FEM非線形解析を行った結果の報告である。地震荷重、特に破壊的なそれが明確になされていない今日ではあるが、地震時増加土圧を想定した1)両押し及び2)片押しの一様矩形分布荷重に対する終局までの挙動を温度応力の評価も含めて検討する事にした。

2. シェル構造FEM解析

本法はコンクリートのひび割れ、圧縮塑性、鉄筋の降伏までを考慮した4辺形折板有限要素法解析¹⁾であるが、ここでは図-1に示す地下タンク側壁を解析対象としてとりあげた。

2.1 解析モデルの基本的取扱い

- (1) 荷重 常時作用荷重として図-2に示す様に自重、土水圧、内液圧、屋根荷重を考慮し、温度荷重として熱伝導解析より得られた定常温度分布を与える。次に水平荷重については、一様矩形分布の1)両面対称土圧荷重と2)片面土圧荷重を考慮し、これを漸増的に載荷して終局までの躯体挙動を観る。
- (2) 構造形式 地中壁は今回仮設用と考え、対象構造を側壁にしぼる(円周方向180°分12等分割、鉛直方向11分割)。従って底版と側壁の力のやりとりは、これを考慮しない。又根入れ部分の効果については、これを弾性床上の梁と考え側壁脚部の半径方向バネと鉛直バネに置換する。
- (3) 周辺地盤 側壁の変形を拘束する媒体としての地盤の影響は考慮しないこととする。
- (4) 物性の温度依存性 鉄筋及びコンクリート物性値の温度依存性をそれぞれ図-3、4の様に仮定する。

弾性係数の増分温度内での変動項は数値計算上これを荷重項として次ステップで処理することにした。

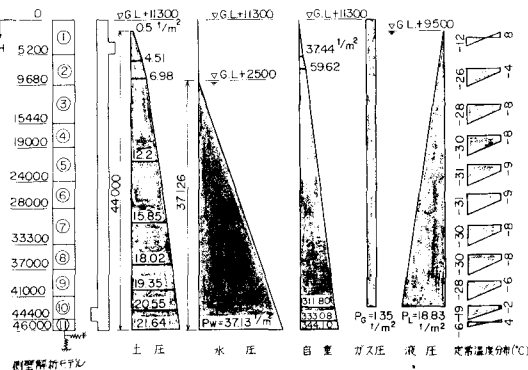


図-2 常時作用荷重

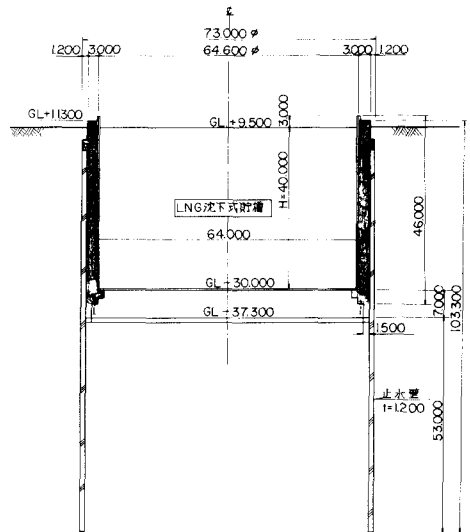


図-1 LNG地下式貯槽

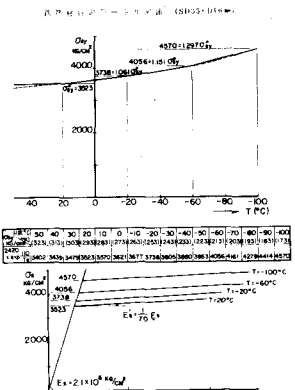


図-3 鉄筋降伏応力の温度依存性

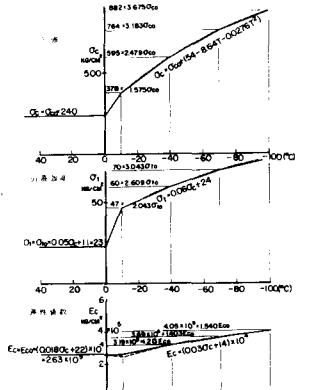
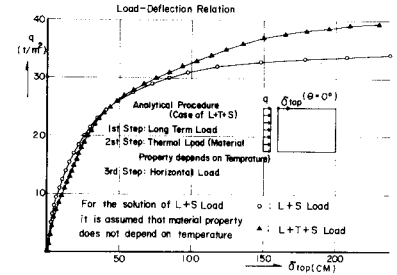
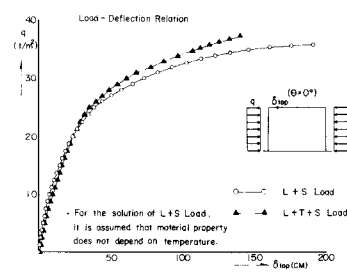


図-4 コンクリート諸物性の温度依存性

コンクリートの1軸応力-ひずみ関係はe関数法によって予測した常温時の関係を軟化域を含むマルチリニアモデルで近似する。低温時については各折れ曲り点でのひずみを固定し、図-4



より求める諸定数により図-5 荷重-頂部水平変位(両面对称土圧) 図-6 荷重-頂部水平変位(片面土圧) これらを決定する。

3. 解析結果

増加土圧として両押しものと片押しものそれぞれに対し、温度荷重履歴のあるものとないもの計4ケースを実施した。図5, 6に荷重-頂部水

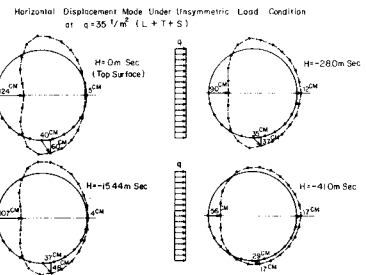
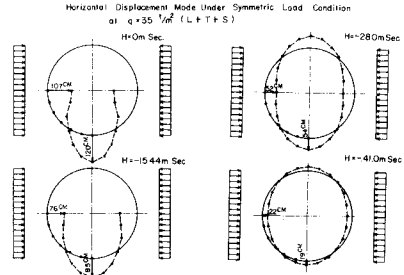


図-7 水平断面水平変位(両面对称土圧) 図-8 水平断面水平変位(片面土圧)

平変位関係を示す。ここに、Lは土水圧等の常時作用荷重を、Tは温度荷重、Sは地震時増加土圧を想定した水平荷重を示す。図中 $q=0 \text{ t/m}^2$ 時の変形はL、或いはL+T荷重時のそれを表わす。温度荷重が作用する場合(▲印)、L+T荷重までに、最大引張応力は 49.8 KG/CM^2 に達するが(側壁下方縦方向応力)低温による引張強度増加の為ひび割れ発生に到らない。しかしながら、水平荷重に対しては温度荷重という履歴を受けている以上、L+S荷重の場合よりひび割れ発生は当初から顕著であり、若干低い勾配を示す。しかし、終局時耐力はむしろ温度荷重の作用している方が高い値を示しており、物性の温度変化の影響がうかがえる(L+Sの場合は常温として解析)。図-7, 8には各水平断面の変位図を示すが、頂部程曲げ変形の影響が大きく現われ、加力点付近の押し込み、そして側方への膨らみが顕著に発生している。特に図-8の片面土圧の場合には、変形は加力面側に集中し、反対面ではむしろモードの影響で変形が決まっているといえる。従って図-5, 6に示す様な頂部 $\theta=0^\circ$ 位置の変形は円周方向の曲げモーメント M_θ に決定づけられ、その意味で両面と片面載荷で同様な荷重-頂部変位関係が得られると言えよう。破壊のメカニズムとしては上に述べた様に加圧面側で M_θ が塑性モーメントに達していることが両載荷状態に対して言える。又両面土圧の場合 $\theta=0^\circ \sim 60^\circ$ で脚部縦筋が降伏、片面土圧の場合は根入れ部水平抵抗を半径方向バネに置換した事もあって、水平反力の作用する脚部 $\theta=90^\circ \sim 180^\circ$ 領域でコンクリートの圧壊が観察される(荷重レベル $q=30 \text{ t/m}^2$)。図-9は頂部加圧面側での円周方向曲げモーメントと膜力について、温度荷重履歴を受ける場合と受けない場合の差を温度応力として評価しようとするものである。ひび割れの発生により温度応力は徐々に緩和され最終的にほぼ消滅するものと言えよう。

4. あとがき

地震時増加土圧に関する設計荷重に対し、終局耐力はほぼ3倍に達している事、又物性の温度変化を考えれば終局耐力はむしろ増加する事が分った。1)「RC大型冷却塔模型の水平加力実験と弾塑性解析」: 大内他土木学会論文報告集No.266, 1977.10

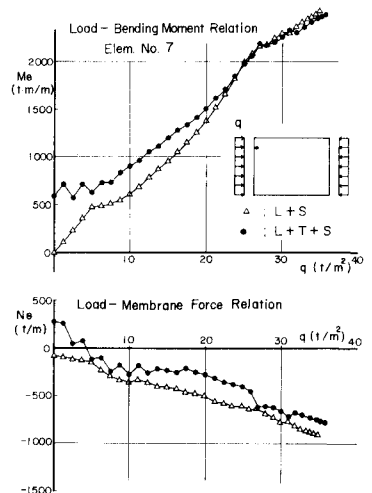


図-9 荷重-円周方向断面力(両面对称土圧)