

躯体の熱応力について

(株) 大林組土木本部技術部 正 河 野 彰

同上 正 高 瀬 邦 夫

同上 〇 正 三 浦 昭 爾

1. ま え が き

80KL極低温液化ガス地下貯蔵式タンクの一連の実験のうち、ここではタンクの熱応力測定結果について述べる。地下タンクの構造は円筒シェルにするのが一般的に経済的であるが、この場合部材は土圧等により大きな圧縮力をうけるので、剛性の高い鉄筋コンクリート製とするのが有利である。

しかし、低温液化ガスを貯蔵する場合は、厚いRC部材内に生ずる温度差によつて熱応力が発生する。しかも低温液体の熱伝播により、コンクリート部材も温度分布の経時変化とコンクリート自体の物理的性質の変化を伴うので、発生する熱応力も複雑な経時変化を伴うことが予想される。

実験タンクの構築にはタンク周辺地盤を乱さないことと遮水性を確保し、適度な剛性を得るためONS壁(削孔たて込み式鉄筋コンクリート壁体)を先行し、内部に本体壁を構築した。

こうした形式の熱応力の実体を把握するため、鉄筋計による躯体の応力測定を行なつた。

2. 測定位置と使用計器

埋設鉄筋計はカーソン型および振動弦型、両タイプを用いた。振動弦型鉄筋計は弦の振動数が張力の平方根に比例する原理を応用したもので、機構が簡単でしかも -200°C 程度の低温でも測定できる。

今回使用したものは振動弦として高張力鋼を用い、弦の振動はマグネットにより、拘束を開放することによつて生じさせる機構のものを使用した。振動弦型鉄筋計の使用は初めての試みであつたが低温用計測器の開発も兼ねることにした。またカーソン型鉄筋計も -80°C まで測定できるよう一部改良を加えて使用した。

鉄筋計は図-1に示すような配置で、側壁は円周方向で三断面、上下方向で三断面に設置し周方向および上下方向の鉄筋応力を測定することにし、底板は二方向上下面鉄筋応力を測定することにした。ONS壁は周方向には連続していないので上下方向のみ測定することにした。

使用測定計器数はカーソン型鉄筋計22個、振動弦型鉄筋計24個、合計46個である。なお躯体の温度は銅-コンスタンタン熱電対で測定することにした。

3. 測定結果

測定結果のうち、躯体温度変化のグラフの一部を図-2に、鉄筋応力測定結果の一部を図-3に示す。

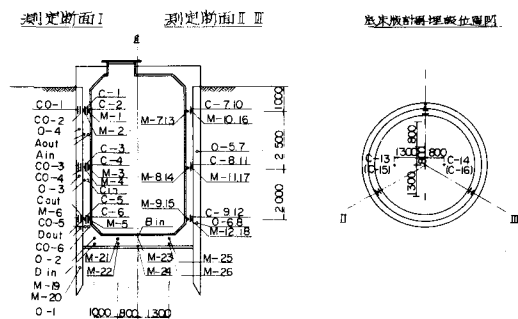


図-1 鉄筋計および熱電対設置位置図

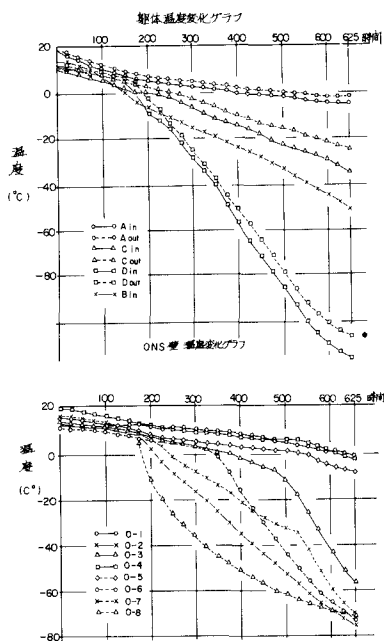


図-2 躯体温度変化グラフ

4. 測定値と計算値の比較

測定温度に基づいて躯体に発生する熱応力は有限要素法を用いて計算し、測定応力との比較をおこなった。計算はONS壁と本体壁の拘束条件によつて2ケースに分け、ONS壁と本体壁の拘束なしとした場合をCaseⅠ、完全に一体とした場合をCaseⅡとした。有限要素法による応力計算はタンクが単一なコンクリート部材で構成されているとして計算しているので、計算結果はコンクリート部材に発生する応力度として算出される。計算による鉄筋応力を算定するためには、コンクリートの応力度をモーメントと軸力に換算して算定することにした。CaseⅠ、CaseⅡ、それぞれの測定応力と計算応力を比較したものの一部を図-4に示す。

躯体に発生する鉄筋応力をベースに、CaseⅠとCaseⅡを比較した場合、発生応力の形状、鉄筋応力の引張と圧縮の表われ方では、CaseⅠが測定値と近似している。したがって、今回の実験では本体壁とONS壁の拘束があまりなかったと想定される。また、応力度の数値でみた場合、応力レベルの小さい段階ではコンクリートの引張力を無視した計算では測定値より大きな値を示すことになる。この場合コンクリートの引張力を考慮してヒズミに相当する鉄筋応力を $E_c = 1.9 \times 10^5$ 、 $E_s/E_c = 1.1$ 程度にして計算した値が測定値と近似してくる。この E_c は一般に考えられる値に比し小さい値である。またコンクリートのヒズミが200マイクロ程度以上になるとコンクリートの引張力は期待できず、全引張力は鉄筋が負担すると考えられるが、このような高い応力レベルの段階でも測定値は計算値より一般に小さくなる傾向を示し、その比は $1/2 \sim 1/15$ 程度である。

このような差が温度変化によるコンクリートの物理定数の変化から生ずるとは考えにくい。従つて計算値と測定値の違いはコンクリートに発生するクラックによる熱応力の緩和や、コンクリートのクリープや伸び能力が計算に入っていないこと等が大きな要因であると考えられる。

5. あとがき

低温下のコンクリート自体の挙動がまだ充分解明されておらず、まして熱応力解析に関しては研究が緒についたばかりというのが実情であり、今後の研究に待つところが多い。今回の実験では土圧や凍結土圧の影響が入つてこなかったが、この影響を入れた解析も今後の課題の一つになろう。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。

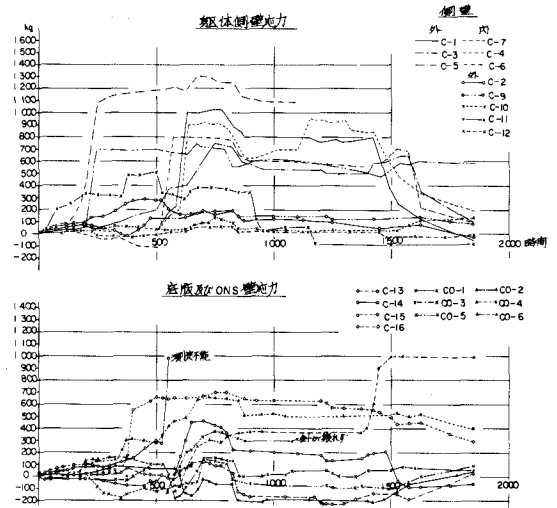


図-3 鉄筋応力測定結果

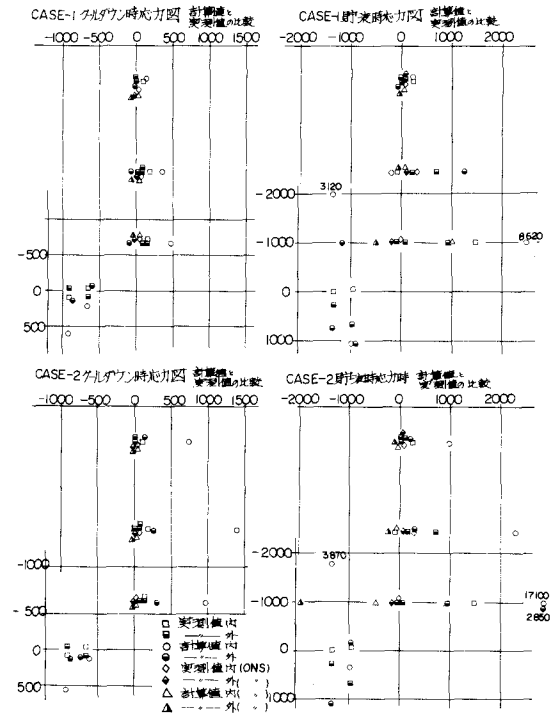


図-4 測定値と計算値の比較