

石川島播磨重工業 正員 田中元章
石川島播磨重工業 阪野賢治

1. まえがき

RC製LNGタンク側壁には一般に熱応力が発生するが、この算定は通常、ACIの規定に因する指針に示されたコンクリートの引張抵抗を無視する常用設計的方法が用いられる。しかしこれでは側壁の内外面温度差が比較的小さな範囲で最大応力度を小さく算定する傾向がある。そこで本報告ではコンクリートの引張抵抗を考慮し、ひびわれ部分に鉄筋・コンクリート応力が集中する傾向を取り入れた熱応力計算法を用いた。ここでは側壁の引張強度部材としてコンボジットタイプのRCセグメントを使用した場合の熱応力を求め、さらに普通のRC製側壁の熱応力と比較することによってセグメントの使用が熱応力に対して及ぼす影響を検討した。

2. 基礎的仮定および計算モデル

解析の対象として側壁の中央部をとり、これを曲げ変形の拘束される複鉄筋RC梁としてモデル化した(図2)。高さは側壁の厚さ、長さ $2L$ はセグメント長となる。引張鉄筋は図1のセグメント内の鉄筋である。図1で引張鉄筋はフランジプレートを用いて隣りのセグメントの鉄筋とHTボルトで繋がれている。この部分を継手部と称する。モデル梁のひびわれで挟まれた部分は全断面有効とする。このモデル梁にフォーカス力を外力として作用させる。熱応力を発生させる側壁内の温度分布(定常温度分布)は半径方向に直線分布で周方向軸方向に一様分布とする。すなわちモデル梁の高さ方向に直線分布となる。鉄筋・コンクリートは弾性体と考へ材料特性は温度に依らず一定とし、また線膨張率は同じであるとする。

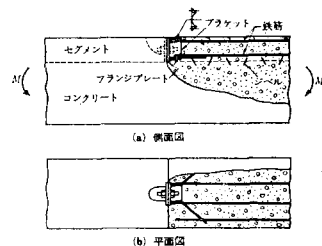


図1 セグメントで補強されたコンクリート梁

3. 熱応力計算法

モデル梁の上下面(実際のタンク側壁の内外面)に温度差 ΔT を与え曲げ変形を拘束するとモーメント M が生ずるが、これは梁の平均曲げ剛性を EI_{ave} とすると次式で表わされる。

$$M = EI_{ave} \alpha \Delta T / h \quad (1)$$

ここで α は線膨張率、 h はモデル梁の高さである。モーメント M ・軸力 N の組み合わせによってはモデル梁にひびわれが生じ EI_{ave} が低下するので EI_{ave} は M 、 N の関数となる。この関係は M 、 N と梁の変形量から

$$\frac{M}{EI_{ave}} = \frac{2\Delta L_s + 2\Delta L_c + 2\Delta L_j}{2Ld} = \frac{\Delta L_s + \Delta L_c + \Delta L_j}{Ld} \quad (2)$$

ここで $2\Delta L_s$ 、 $2\Delta L_c$ 、 $2\Delta L_j$ は各々モデル梁の引張鉄筋の伸び量、コンクリート圧縮線の縮み量、セグメント継手部の伸び量である。 $2L$ はセグメント長、 d は梁の有効高である。これは次式で表わされる。

$$\Delta L_s = \int_0^L \frac{P_x}{E_s A_s} dx \quad (3) \quad \Delta L_c = \int_0^L \left(\frac{P_x}{E_c A_c} + \frac{M_x h}{2E_c I_c} \right) dx \quad (4) \quad \Delta L_j = \frac{P_j}{\gamma} \quad (5)$$

ここで E_s 、 E_c は鉄筋・コンクリートのヤング率、 A_s は引張鉄筋断面積、 A_c はコンクリート断面積、 I_c はコンクリート断面2次モーメントである。 P_j はセグメント継手部にかかる引張力、 γ はセグメント継手部の伸び剛性である。他の記号は図2を参照のこと。(3)、(4)式の演算には鉄筋とコンクリートの付着を考へねばならない。なぜなら鉄筋の引張力の一部が付着によってコンクリートに伝達され P_{cx} 、 P_{sx} 、 M_x が x の関数となるからである。このとき、付着力は相対滑り量に比例し、ある相対滑り量を越えたところで一定となるという仮定を用いた。

(3)～(5)式からある M 、 N に対する ΔL_s 、 ΔL_c 、 ΔL_j が求まる。これを(2)式に代入して M 、 N と EI_{ave} の関係が

定まる。さうに(2), (1)式から ΔT と M , N の関係を得る。 N も一定とよければ温度差 ΔT に対する M の値が定まり M , N から鉄筋・コンクリートの応力度(ΔT に対する熱応力)が計算される。最大応力度を求めることから、鉄筋・コンクリート応力度ともにセグメント継手部断面(ひびわれ面)の応力度を求めた。応力度算定法はコンクリート引張を無視した通算の方法である。ただしコンクリート圧縮線応力度の算定には継手部の剛性が引張鉄筋に比べて低いことによる影響を考慮した。すなわち継手部の伸びをひびわれ面の鉄筋の抜け出し量に含めるため、引張鉄筋のヤング率を低下させてコンクリート応力度を求めた。

4. 計算例の結果と考察

計算例として用いた断面は $h=220\text{cm}$, $d=210\text{cm}$, $b=78\text{cm}$ の単鉄筋断面である。鉄筋はD32 $\times$ 4である。これに100tの引張および圧縮軸力を導入した場合と軸力ゼロの場合の3ケースを考えた。表1に計算に用いた主な物性値を示す。図3,4に側壁内外面の温度差による鉄筋およびコンクリートの応力度を実線で示す。さらに比較のため通常のRC製の同じ断面に対する熱応力も破線で示した。図5には温度差による平均曲げ剛性の变化を実線で同じ断面のRC側壁の剛性を破線で示した。図中のACIの直線はコンクリートの引張抵抗を無視したACIの規定に因する指針によって計算した曲げ剛性である。

図3,4の曲線の折れ曲がり点の温度差でモデル梁にひびわれが入り出したと考えられ、これにより平均曲げ剛性が減少し始めている。(図5)

また図3,4で、小さな温度差においてセグメントを使用すると、RCに比べて鉄筋応力度が大きく低下しコンクリート応力度は殆んど変へないことがわかる。これはRCでは小さな温度差においてひびわれ数が少なく曲げ剛性が高いが、セグメントを使用すると継手部の伸び剛性が引張鉄筋に比べて低いために小さな温度差で継手部にひびわれが入ってセグメント継手部が伸び、これにより曲げ剛性が低下する。そのため鉄筋応力度が低下すると考えられる。

そこで側壁内外面の温度差が小さな範囲で、セグメントを使用することによりコンクリート応力度をあまり増加させずに鉄筋応力度を下げる事が可能となる。すなわちLNGタンクのような低温になって鉄筋の脆性破壊が問題となる構造物では温度差を低く押えることでセグメントを有効に活用できると考えられる。

そこで側壁内外面の温度差が小さな範囲で、セグメントを使用することによりコンクリート応力度をあまり増加させずに鉄筋応力度を下げる事が可能となる。すなわちLNGタンクのような低温になって鉄筋の脆性破壊が問題となる構造物では温度差を低く押えることでセグメントを有効に活用できると考えられる。

参考文献

阪野貴治他 “RC製およびRCセグメントで補強されたコンクリート製円筒壁に発生する熱応力の一算定法” コンクリート工学 vol 16 No2 1978年2月

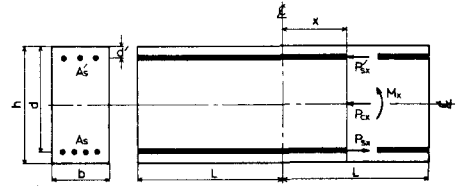


図2 モデル梁

表1 鉄筋・コンクリートの主な物性値

E_s kg/cm ²	E_c kg/cm ²	γ kg/cm	L cm	α
2.1×10^6	2.7×10^5	9.5×10^5	210.0	1.0×10^{-5}

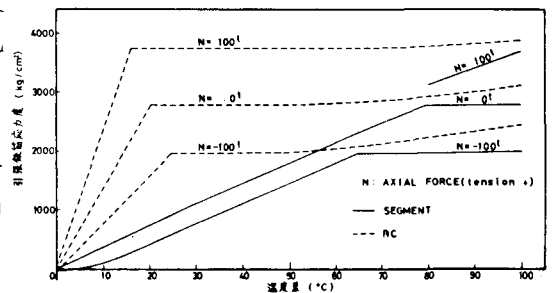


図3 側壁内外面の温度差による最大鉄筋応力度

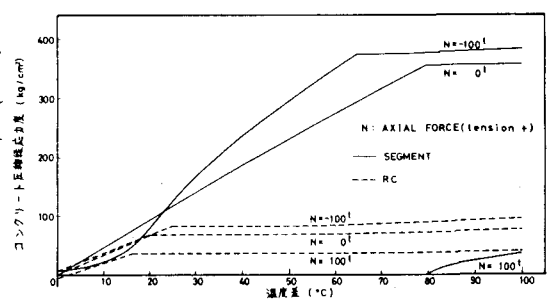


図4 側壁内外面の温度差による最大コンクリート応力度

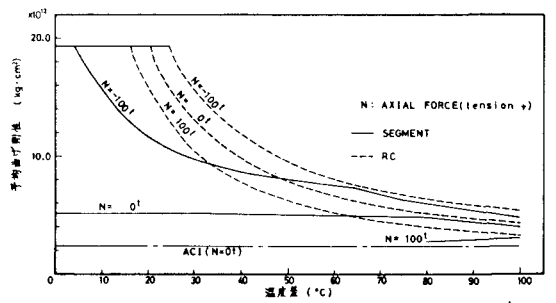


図5 側壁内外面の温度差による平均曲げ剛性の变化