

清水建設(株) 研究所 正会員 ○ 生駒哲夫
電力中央研究所 同 青柳征夫

1. まえがき

鉄筋コンクリート(以下RC)造の原子炉格納容器、煙突、サイロ、水槽等は、一般には常温から100℃の範囲内で温度変化を受け、この時の壁内外表面間の温度差により生じる変形拘束曲げモーメント(以下拘束モーメント)は、断面設計を支配する一つの大きな要因となっている。この大きさはその時の断面の有する曲げ剛性に依存する故、壁にひびわれが生じて剛性が低下するとその低減の度合いに応じて拘束モーメントも低減する。そのため、こうした曲げ剛性と拘束モーメントとを実際の状態に即して適切に評価することは、鉄筋コンクリート構造物の設計を合理化する上で重要な問題になっている。RC曲げ部材に関するこれらの値を評価する既往の方法には大別して実験的手法⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾と解析的手法⁽⁴⁾⁽⁵⁾とが見受けられる。

本報告は梁理論を拡張して適用することによって、実験的に定められた曲げモーメント・たわみ関係に立脚し温度勾配を受けたRC梁の曲げ剛性を評価する一方法を提案するものである。

2. 評価式の誘導

梁理論を適用するための仮定を以下のように置く。

- (i) 変形拘束荷重は、常に部材の幅方向中央面内に作用するものとする。
- (ii) 上下面温度差 ΔT_g は、常に部材の高さ方向に生じ、かつそれは部材長にわたり均一であるものとする。
- (iii) 部材のたわみは、部材長に比べて十分小さい($< 1/250$)ものとする。
- (iv) 部材の材料特性は温度によって変化しないものとする。

梁のたわみ曲線を定める微分方程式は次式で与えられる。

$$E_c I_g \frac{d^2 y}{dx^2} = -M \quad (1)$$

ここに $E_c I_g$ は部材の初期弾性剛性である。ここでは具体例として部材に対する変形拘束のない時の温度差 ΔT_g による自由熱変形時を基準に考える(図-1参照)。この自由熱変形による部材の曲率 ϕ は次式で与えられる。

$$\phi_T = \alpha \cdot \Delta T_g / D \quad (2)$$

α , D はそれぞれ部材の線膨張率および部材全高である。

また、この時の部材の任意断面 $x = x$ に付らく拘束モーメント、次式となる(図-1参照)。

$$M = N_1 \cdot y - N_2 \cdot e \quad (3)$$

(1)式と(3)式と適当な境界条件の下で解くと次のようになる。

$$y(x) = \frac{N_2 \cdot e}{N_1} \left[1 - \frac{\cos \left\{ \sqrt{\frac{N_1}{E_c I_g}} \left(x - \frac{l}{2} \right) \right\}}{\cos \left\{ \sqrt{\frac{N_1}{E_c I_g}} \frac{l}{2} \right\}} \right] \quad (4)$$

上式は、部材の任意断面についてその全断面が有効であるとした時の、拘束荷重 N_1 , N_2 の作用下での部材の長手方向にわみ分布を与えるものである。次に部材の実測にわみ分布が次式のように表示できるものとする。

$$w = w(x) \quad (5)$$

この $w(x)$ は一般には部材内温度勾配の効果および生じているならばひびわれの効果も含んでいる。従っ

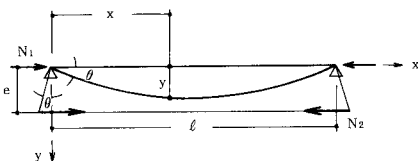


図-1 試験体の加力模式図

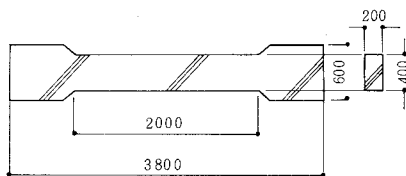


図-2 試験体形状寸法

て通常は、この $w(x)$ は全断面有効として求めた(4)式の w が $y(x)$ に等しくはならない。しかしながら仮に(4)式の中で表示されている曲げ剛性 EI_g が、温度勾配とひびわれの影響によって変化してある剛性 EI になった時、(4)式の w が(5)式で示される実験値 $y(x)$ に最も近づいたとすれば、その時の EI をもって温度勾配下およびひびわれ発生下における部材の平均曲げ剛性とみなすことができる。このように考えることによって、当部材の剛性は評価される。

実際の剛性の算定は次のようにして行なう。即ち(5)式の EI_g と任意の値 EI と置換し、その時の $y(x)$ と $y^*(x)$ とすると、次式を満足する EI が求めるべき部材の剛性となる。

$$\frac{\partial S}{\partial (EI)} = \frac{\partial}{\partial (EI)} \left[\int_0^l \{y^*(x) - w(x)\}^2 dx \right] = 0 \quad (6)$$

なお、こうして求めた EI を用いることによって、その時の部材の熱応力 M_T は次式で評価される。

$$M_T = EI \cdot \phi_T \quad (7)$$

3. 検討結果

以下では先に当社にて実施したRC曲げ部材の加熱剛性評価実験の結果^[6]に基づき、上記の考え方とSCC法^[5]の妥当性を他の評価法^{[1][4]}と比較しながら検討する。

ここで対象とする拘束荷重の大きさは、計算上、圧縮縁コンクリートまたは引張鉄筋が許容応力度近傍に達する時の値であり、またその作用期間はクリープの影響の少ない比較的短期間である。実験に用いた試験体の形状寸法と諸元は図-2と表-1のとおりである。計算結果は図-3~5に示す。これらのグラフからも明らかのように、本報告にて提案する梁理論に基づいたRC曲げ部材の剛性と熱応力に関する実験的評価法は、BransonおよびGurfinkel法による剛性評価値よりも幾分高めに算定しながらも、その値は解析的手法によるSCC法のそれに近い値として評価されていることがわかる。

<参考文献>

- [1] Branson "Instantaneous and Time-Dependent Deflections on Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams", Report No. 7, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, Montgomery, Aug. 1963, P. 24
- [2] 青柳大治 "温度勾配による鉄筋コンクリート中空円筒のひびわれ性状", セメント技術年報 XXX 昭51
- [3] 入野鈴木他 "鉄筋コンクリート部材の熱応力に関する基礎実験", 建築学会大会学術講演要旨集 昭和55年9月
- [4] Gurfinkel, "Thermal Effects in wall of Nuclear Containments elastic and inelastic behavior SMIRT 1973
- [5] 入野 "熱応力に対する鉄筋コンクリートの設計", 建築学会大会要旨集 昭和52年10月
- [6] 生野, 入野他, "熱荷重を受ける鉄筋コンクリート曲げ部材実験の解析的検討", 建築学会大会要旨集 昭和56年9月

表-1 実験に用いた試験体の諸元

試験体 No.	使用鉄筋 (本数/mm)	鉄筋比 (%)	常温時のコンクリート強度		
			圧縮強度 (Kg/cm ²)	引張強度 (Kg/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^5$ Kg/cm ²)
T04	4-D19	0.71	305	28	2.66
T05	4-D22	0.97	275	24	2.49
T06	4-D19	0.71	282	24	2.42
T07	4-D19	0.71	296	24	2.60
T08	4-D19	0.71	300	24	2.52
T09	4-D16	0.50	294	29	2.50
T10	4-D22	0.97	296	24	2.53
T11	4-D16	0.50	267	23	2.32
T12	4-D16	0.50	258	24	2.48

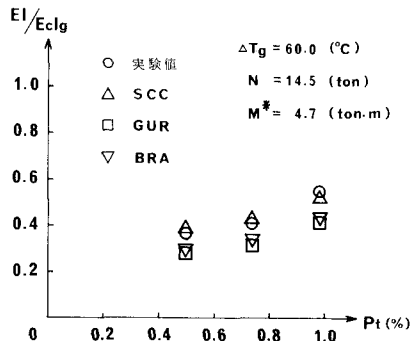


図-3 鉄筋比と剛性残存率

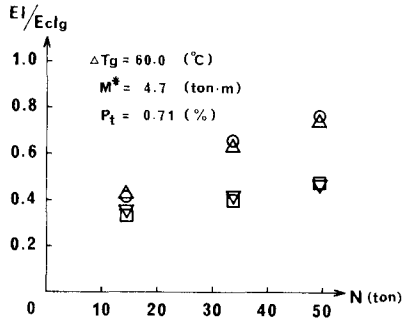


図-4 軸力と剛性残存率

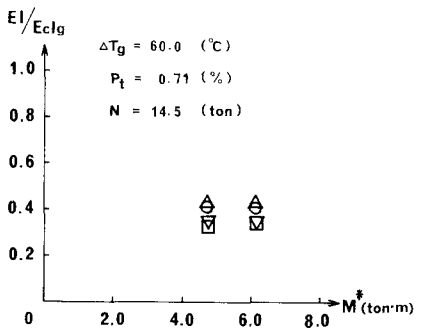


図-5 外力曲げモーメントと剛性残存率