

電力中央研究所 正会員 金津 努

電力中央研究所 正会員 青柳 征夫

電力中央研究所 正会員 遠藤 達巳

1 まえがき

コンクリート製原子炉格納容器などのように、コンクリートの断面内温度勾配に伴う変形が拘束されることによつて生ずる温度応力を評価するために、筆者らは、鉄筋コンクリート部材の平均剛性に基づく方法を提案している¹⁾。この提案は格納容器の内筒壁一般部のように、曲げ変形のみが主として拘束されるような部材を対象としたものである。本報告は、曲げのみならず軸方向への変形が拘束される鉄筋コンクリート部材の剛性を評価するための実用的な方法を述べたものである。

2 剛性評価の前提

曲げおよび軸方向変形が拘束されるRC部材の剛性を評価するための基本的な前提は次のとおりとする。

- 1 拘束曲げモーメントは平均曲げ剛性に支配される。
- 2 軸方向変形拘束力は平均軸圧縮剛性に支配される。
- 3 平均軸圧縮剛性は平均曲げ剛性を与える平均的な曲げ断面の圧縮領域のコンクリートの剛性とする。
- 4 変形拘束力は全断面およびびびわれ断面の図心に作用する。

また、剛性評価を行なうに際し、次の条件を設けるものとする。

- i) 平均曲げ剛性の評価式としてACI基準式を用いる。
- ii) RC部材は曲げおよび軸方向に、変形が弾性的に拘束されるものとする。
- iii) 外的な荷重として曲げモーメント (M_{ex}) も考慮する。
- iv) RC部材の各断面において平面保持仮定が成立する。

3 剛性評価式の誘導

3.1 温度応力:

前記の基本前提に基づき、変形拘束状態にあるRC部材の剛性を定めることによつて温度応力を評価することができる。ここでは、軸方向拘束力と拘束曲げモーメントを分離して考える。図1には、RC部材がバネ定数 K_1 , K_2 のバネにより軸方向に弾性的に拘束される場合、およびバネ定数 G_1 , G_2 の回転バネにより弾性的に回転変形が拘束される場合を示した。RC部材の上下面に T_2 , T_1 の温度が定常的に与えられる場合、RC部材に生ずる軸方向拘束力および拘束曲げモーメントは、平均軸圧縮剛性を $E_c A_{eff}$ 、平均曲げ剛性を $E_c I_{eff}$ とすると、それぞれ次のように与えられる。

$$N_{\Delta T} = \frac{T_1 + T_2}{2} \alpha_c E_c A_{eff} \cdot \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot l}{(K_1 + K_2) E_c A_{eff} + K_1 \cdot K_2 l} \quad (1)$$

$$M_{\Delta T} = \frac{T_2 - T_1}{h} \alpha_c E_c I_{eff} \cdot \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot l}{(G_1 + G_2) E_c I_{eff} + G_1 \cdot G_2 l} \quad (2)$$

ここで α_c : コンクリートの線膨張係数、 E_c : コンクリートの弾性係数、 l, h : RC部材長さと全高

変形が完全に拘束される場合には、 K_1, K_2, G_1, G_2 は無限大で、

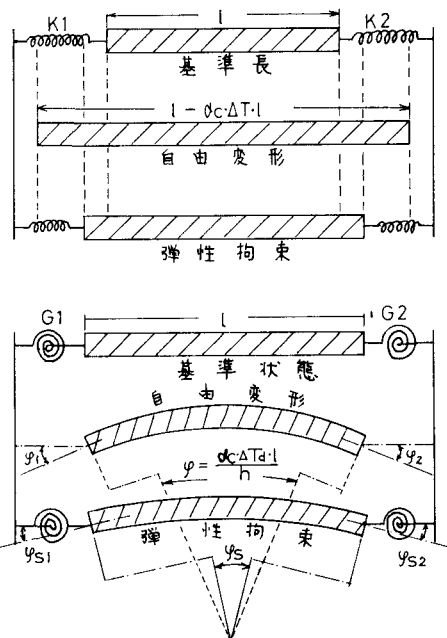


図1 RC部材の拘束状態

式(1)(2)の右辺の A_{eff} 、 I_{eff} より後の項は1となる。 A_{eff} 、 I_{eff} はそれぞれ次のように表わされる。

$$A_{eff} = b \cdot x_{eff} \quad (2 \text{ の } 3 \text{ の前提}) \quad (3)$$

$$I_{eff} = I_{cr} + (I_o - I_{cr}) \left(\frac{M_{cr}}{M_{at} + M_{ex}} \right)^3 \quad (ACI \text{ 基準}) \quad (4)$$

I_{cr} 、 I_o ：ひびわれ断面および全断面二次モーメント

M_{cr} ：RC部材としての曲げひびわれ発生モーメント

また、 I_{eff} は図2の平均的な曲げ断面の諸数値を用いた次のように表わされる。

$$I_{eff} = \frac{1}{12} b x_{eff}^3 + \frac{b \cdot x_{eff} \cdot n A_s}{(b \cdot x_{eff} + n A_s)} \left(d - \frac{1}{2} x_{eff} \right)^2 \quad (5)$$

3.2 ひびわれ断面の応力とひずみ

図2には、ひびわれ断面と平均曲げ断面の応力・ひずみ分布を示した。ひびわれ断面における軸方向力のつり合い、モーメントのつり合い、およびひずみの適合条件は、それぞれ

$$N_{at} = \frac{1}{2} E_c \epsilon_{c,c} \cdot b x_c - A_s E_s \epsilon_{s,c} \quad (6)$$

$$M_{ex} + M_{at} = \frac{1}{2} E_c \epsilon_{c,c} b x_c \left(d - \frac{1}{3} x_c \right) - N_{at} \left(d - x_{cg} \right) \quad (7)$$

$$\epsilon_{c,c} \cdot (d - x_c) = \epsilon_{s,c} \cdot x \quad (8)$$

また、 x_{cg} (図心軸位置)は

$$x_{cg} = \frac{\frac{1}{2} b x_c^2 + n A_s d}{b x_c + n A_s} \quad (9)$$

式(6)(8)(9)を式(7)へ代入して、 x_c について整理すると

$$x_c^4 + (4npd - 6 \frac{M_{at} + M_{ex}}{N_{at}}) x_c^3 - 6npd(2d + 3 \frac{M_{at} + M_{ex}}{N_{at}}) x_c^2 + 12npd^2 \left(\frac{M_{at} + M_{ex}}{N_{at}} + d - np \frac{M_{at} + M_{ex}}{N_{at}} \right) x_c + 12n^2 p^2 d^3 \frac{M_{at} + M_{ex}}{N_{at}} = 0 \quad (10)$$

式(10)は M_{at} と N_{at} が与えられれば解ける。式(1)(2)は A_{eff} 、 I_{eff} がわかれば求められる。 I_{eff} は式(4)で示されるようにひびわれ断面の諸数値から求められる。従って、式(1)(2)(4)(5)(10)を用いて収束計算をすれば、 M_{at} 、 N_{at} 、 x_c 、 x_{eff} が求められる。

4 計算例

3で示した方法により計算した例を図3、4に示した。この計算では、RC部材は完全に変形が拘束されるものとした。図中黒丸印は曲げ変形のみを拘束したRC部材の実験結果、黒三角印および白丸印は、それぞれ曲げ変形のみと拘束した場合および曲げと軸方向の変形を拘束した場合の筆者らの提案した方法による計算結果である。実験したRC部材は $\sigma_{cu} = 55.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c = 37500 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{tu} = 38.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $A_s = 3.972 \text{ cm}^2$ 、 $p = 0.567\%$ 、 $T_1 = -10^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 20^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ である。

参考文献 1 金津、青柳、佐藤、温度勾配を受ける鉄筋コンクリート部材の鉄筋応力度とひびわれ幅評価、コンクリート工学年次講演論文集、1981年6月

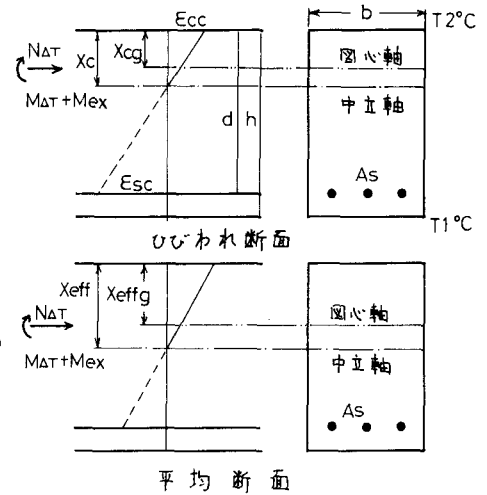


図2 断面の応力とひずみ分布

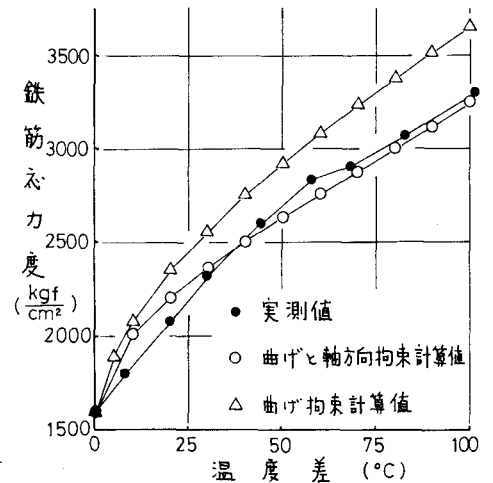


図3 温度差と鉄筋応力度の関係

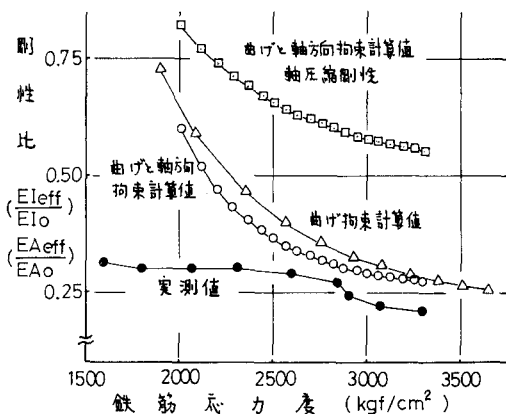


図4 鉄筋応力度と剛性比の関係