

V-52 鉄筋コンクリート曲線部材の温度応力

秋田大学 正員 川上 洵
 櫛比・エス 正員 水城 康男
 秋田大学 学生員 ○浅井 隆一

1. まえがき

近年、曲率を有する構造物は、コンクリート構造においても積極的に用いられるようになってきている。このようなコンクリート曲線部材において、日中太陽により表面が加熱された場合や容器の内側が高温となる場合に生じる温度応力は重要であるが、ほとんど研究報告等がなされていなかった。本研究は、熱を受けたRC曲線部材の温度応力を解析し、その構造特性を明かにしたものである。

2. 軸力と曲げを受けるRC曲線部材の弾性応力¹⁾

面内荷重を受けるRC曲線部材の弾性応力解析は、次の3つの仮定に従うものとする。①平面保持の仮定が成り立つ。②コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係は、フックの法則に従うとする。③ひびわれ直前までは全断面有効とする。

この時、図心位置（曲率半径 R ）でのひずみ ε_0 と曲率 $(\omega + \varepsilon_0)/R$ を用い、軸力 N と曲げモーメント M の釣合いをマトリックス表示すると、式(1)となる。

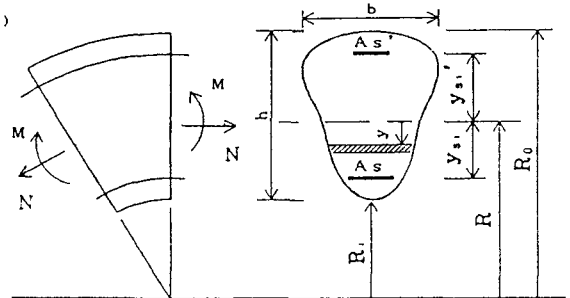


図-1 軸力及び曲げを受けるRC曲線部材

$$E_c \begin{bmatrix} A_i & G_R \\ G & I_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_0 \\ (\omega + \varepsilon_0)/R \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 A_i 、 G 、 G_R 及び I_R は、各々、換算断面積、換算断面1次モーメント、換算断面2次モーメントであり、添字 R は曲率を考慮してあるものを示す。また、コンクリートと鉄筋の弾性係数を、 E_c 、 E_s とし、弾性係数比 $n_s = E_s/E_c$ を用いると次式のように表わせる。

$$G_R = \int \frac{y}{1-y/R} dA + (n_s - 1) \left(\frac{A_s' \cdot y_{s1}'}{1-y_{s1}'/R} + \frac{A_s \cdot y_{s1}}{1-y_{s1}/R} \right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$I_R = \int \frac{y^2}{1-y/R} dA + (n_s - 1) \left(\frac{A_s' \cdot y_{s1}'^2}{1-y_{s1}'/R} + \frac{A_s \cdot y_{s1}^2}{1-y_{s1}/R} \right) \quad \dots \dots \dots (3)$$

3. RC曲線部材の温度応力

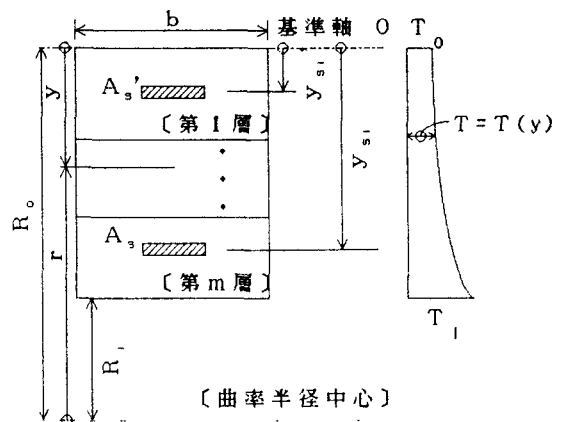
図-2のような m 層からなる矩形断面を考える。温度上昇により自由に膨張が起こるときの任意部分におけるひずみ ε_f は以下になる。

$$\varepsilon_f = \alpha_{ti} T \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $T = T(y)$ であり、任意位置 y での温度、 α_{ti} は i 層目の熱膨張係数である。もし、このひずみを仮に拘束したとき、拘束された部分での応力は以下になる。ここで E_i は i 層の弾性係数である。

$$\sigma_{restrained} = -E_i \varepsilon_f \quad \dots \dots (5)$$

この拘束応力は、基準軸 O に作用する軸力 ΔN と曲げモーメント ΔM によって表され、基準軸 O からの任意位置を y とすると、次式のように表わせる。



〔曲率半径中心〕

図-2 非線形温度分布を受けるRC曲線部材

$$\Delta N = \int \sigma_{\text{restrained}} dA \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\Delta M = \int \sigma_{\text{restrained}} y dA \quad \dots \dots \dots (7)$$

いま、基準軸Oに、拘束応力と大きさが同じで、向きが逆な軸力（ $-\Delta N$ ）と曲げモーメント（ $-\Delta M$ ）を適用することにより先の拘束が解除される。その時、基準軸Oにおける、ひずみ $\Delta \varepsilon_o$ と曲率 $(\Delta \omega + \Delta \varepsilon_o)/R$ は、式(1)をマトリックス演算する事により、式(8)が得られる。

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_o \\ (\Delta \omega + \Delta \varepsilon_o)/R \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_{ref} (\bar{A} \bar{I}_R - \bar{G} \bar{G}_R)} \begin{bmatrix} \bar{I}_R & -\bar{G}_R \\ -\bar{G} & \bar{A} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\Delta N \\ -\Delta M \end{Bmatrix} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 E_{ref} は基準とする層の弾性係数、また、 $\bar{A}$ 、 $\bar{G}$ 、 $\bar{G}_R$ 、 $\bar{I}_R$ は、基準となる弾性係数 E_{ref} に対しての、換算断面積、換算断面1次モーメント及び2次モーメントで、添字Rは曲率を考慮したものである。よって、基準軸Oからの任意位置yでのひずみ $\Delta \varepsilon$ は、

$$\Delta \varepsilon = \Delta \varepsilon_o + \frac{(\Delta \omega + \Delta \varepsilon_o)}{R} \cdot \frac{y}{1 - y/R} \quad \dots \dots \dots (9)$$

従って、温度による実際の応力 σ_{temp} は $\sigma_{restrained}$ と $\Delta \sigma$ を合計する事により得られ、任意位置yでの応力は、式(10)となる。

$$\sigma_{temp} = E_{ref} \left[-\varepsilon_f + \Delta \varepsilon_o + \frac{(\Delta \omega + \Delta \varepsilon_o)}{R} \cdot \frac{y}{1 - y/R} \right] \quad \dots \dots \dots (10)$$

ここで、式(10)及び式(2)、式(3)において、曲率半径Rを無限大にとると、直線理論式と一致する¹⁾。

4. 乾燥収縮による応力

コンクリートの乾燥収縮による、2次応力も同様に考えられる事ができる。材齢 t_o 時から材齢 t までに生じる乾燥収縮によるひずみを、人工的に拘束した時のコンクリートの応力は、

$$\sigma_{\text{restrained}} = -\bar{E}_{ci} \varepsilon_{cs} \quad \dots \dots \dots (11)$$

ここで、 $\bar{E}_{ci}$ は材齢 t 時の i 層におけるコンクリートの弾性係数で、 t 時でのクリープ係数 ϕ 、材齢係数 χ により、 $\bar{E}_{ci} = E_{ci} / (1 + \chi \phi)$ で与えられる。 ε_{cs} は材齢 t_o 時から t 時までのコンクリートの乾燥収縮ひずみである。この拘束を、基準軸Oに作用する軸力 ΔN と曲げモーメント ΔM で表わすと、

$$\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_{\text{shrinkage}} = - \sum_{i=1}^m \left\{ \bar{E}_{ci} \varepsilon_{cs} \begin{Bmatrix} A_c \\ G_c \end{Bmatrix} \right\}_i \quad \dots \dots \dots (12)$$

となり、この軸力と曲げモーメントを、同じ大きさで逆向きの力とし作用させる事により先の拘束は解除され、式(8)より基準軸におけるひずみと曲率が求められる。従って、材齢 t 時において基準とする層の弾性係数を $\bar{E}_{ref}$ とすると、乾燥収縮による応力 σ_{shr} は次式で表わせる。

$$\sigma_{shr} = \bar{E}_{ref} \left[-\varepsilon_{cs} + \Delta \varepsilon_o + \frac{(\Delta \omega + \Delta \varepsilon_o)}{R} \cdot \frac{y}{1 - y/R} \right] \quad \dots \dots \dots (13)$$

5. むすび

- (1) 上記の、RC曲線部材に関する応力解析結果は、さらにPC曲線部材へ理論の拡張も可能である。
- (2) 本理論に基づき数値計算を行い構造特性を明かにした。その結果は、当日発表する。

<参考文献>

- 1) 川上洵，徳田弘，加賀谷誠，矢作秀之：面内荷重を受けるPC曲線部材のひびわれ強度及び破壊強度，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1275～1286.1992.3