

コンクリート曲線部材の時間依存性応力解析

秋田大学大学院 学生員 ○横濱 芳 秋田大学 イット ウィサル
 ランデス株式会社 正会員 松岡 智 秋田大学大学院 フェロー 川上 洵

1. はじめに

曲げを受ける鉄筋コンクリート曲線部材の応力解析は、従来、曲率の影響を無視して直線部材として解析されてきた。しかし、直線部材とみなせるのは、曲率が小さい場合に限定されているという欠点がある。構造物の設計には、構造特性をふまえた正確な応力状態を把握することが求められる。これまで、断面の部材厚さと曲率半径の長さとの比が 0.20 より大きいときに、曲率を考慮した解析が必要であるとされていた¹⁾。

一方、曲率の影響を考慮した部材の乾燥収縮およびクリープによる時間依存性応力の解析の研究実績は少なく、技術資料の蓄積が必要である。そこで、本研究では、全断面有効のコンクリート曲線部材を対象とし、その乾燥収縮およびクリープによる時間依存性応力の解析方法を示し、計算例により構造特性を考察した。

2. 基礎式

図-1 のように、曲線部材要素 ABCD に曲げモーメント M と軸力 N が作用した場合を考える。曲線部材要素 ABCD が平面を保持したまま A'B'C'D' へと変形すると仮定する。基準点 O における要素長を 1 とすると、基準点 O から任意の位置 y における要素長は (r-y)/r となる。

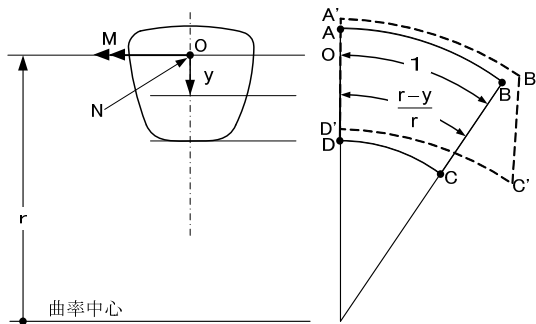


図-1 曲線部材要素

$$\varepsilon = \frac{r}{r-y} (\varepsilon_0 + \phi y) \quad (1)$$

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

$$N = \int \sigma dA \quad (3)$$

$$M = \int \sigma y dA \quad (4)$$

$$\begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} = E_c \begin{bmatrix} A_r & B_r \\ B_r & I_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_0 \\ \phi \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$A_r = r \int \frac{dA}{r-y}, \quad B_r = r \int \frac{y}{r-y} dA, \quad I_r = r \int \frac{y^2}{r-y} dA \quad (6)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_0 \\ \phi \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_c (A_r I_r - B_r^2)} \begin{bmatrix} I_r & -B_r \\ -B_r & A_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} \quad (7)$$

ここで、

ε : 基準点 O から任意の位置のひずみ, E : 弾性係数,

σ : 応力, N : 軸力, M : モーメント,

A_r, B_r, I_r : 断面諸量

ε_0 : 基準点 O の位置のひずみ, ϕ : 曲率

Step 1: 瞬間ひずみのパラメータ $\varepsilon_0(t_0)$, $\phi(t_0)$ と瞬間応力 $\sigma(t_0)$ を計算する。

Step 2: 拘束が無い場合の、クリープと乾燥収縮による ε_0 と ϕ の仮定のひずみ変化を計算する。

$$\Delta \varepsilon_{O \text{ free}} = \varepsilon_{cs} + \phi \Delta \varepsilon_0(t_0); \quad \Delta \phi_{\text{free}} = -\frac{\varepsilon_{cs}}{r} + \phi \Delta \phi(t_0) \quad (8)$$

ここで、

ε_{cs} : 乾燥収縮ひずみ, ϕ : クリープ係数

Step 3: 自由ひずみを拘束した場合の、拘束応力を計算する。

$$\sigma_{\text{restrained}} = -\bar{E}_c \Delta \varepsilon_{\text{free}} \quad (9)$$

$$\Delta \varepsilon_{\text{free}} = \frac{r}{r-y} (\Delta \varepsilon_{O \text{ free}} + \Delta \phi_{\text{free}} y) \quad (10)$$

$$\bar{E}_c = \frac{E_c(t_0)}{1 + \chi \phi} \quad (11)$$

ここで、

$\sigma_{\text{restrained}}$: 拘束応力, $\Delta \varepsilon_{\text{free}}$: 自由ひずみ

$\bar{E}$: 材齢修正弾性係数

Step 4: 式(6)を使ってコンクリート断面の断面諸量 A_{cr} , B_{cr} , I_{cr} を計算する。拘束応力による拘束力を式(5)より決定する。拘束力を点 O において、軸力と曲げモーメントを作用させることにより解除すると、軸ひずみと曲率は、式(7)により得られ、そして、応力は式(2) から求められる。クリープおよび乾燥収縮により実際に生じる応力は $\sigma_{\text{restrained}}$ と $\Delta \sigma$ の和となる²⁾。

キーワード 曲線部材 時間依存性応力 クリープ 乾燥収縮

連絡先 〒 101-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 TEL 018-889-2356 E-mail m9010189@wm.akita-u.ac.jp

3. 時間依存性応力の解析例

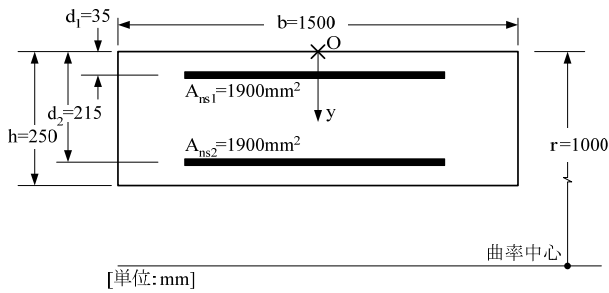


図-2 断面寸法

構造特性を明らかにするRC曲線部材の断面を図-2に示す。部材の曲率 $h/r = 0.25$ である。材齢 t_0 で、曲げモーメント $M = 30 \text{ kN} \cdot \text{m}$ が作用する。ここで、材齢 t_0 におけるコンクリートの弾性係数 $E_c(t_0) = 3.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、鉄筋の弾性係数 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、乾燥収縮ひずみ $\epsilon_{cs}(t, t_0) = -300 \times 10^{-6}$ 、クリープ係数 $\phi(t, t_0) = 2.0$ 、材齢係数 $\chi = 0.8$ とする。また、応力は引張を正とした。

表-1 解析結果

	記号	単位	
Step1	A_r	mm^2	4.564×10^5
	B_r	mm^3	5.986×10^7
	I_r	mm^4	1.030×10^{10}
	$\epsilon_0(t_0)$	-	-54×10^{-6}
	$\phi(t_0)$	mm^{-1}	0.408×10^{-6}
	$\sigma(t_0)_{y=0}$	N/mm^2	-1.620
	$\sigma(t_0)_{y=250}$	N/mm^2	1.920
Step2	$\sigma(t_0)_{ns1}$	N/mm^2	-8.232
	$\sigma(t_0)_{ns2}$	N/mm^2	8.591
	$\epsilon_{cs}(t, t_0)$	-	-300×10^{-6}
	$\chi(t, t_0)$	-	0.8
	$\phi(t, t_0)$	-	2.0
Step3	$\Delta \epsilon_{0\text{free}}$	-	-408×10^{-6}
	$\Delta \phi_{\text{free}}$	mm^{-1}	1.116×10^{-6}
	$\bar{E}_c(t, t_0)$	N/mm^2	11.583×10^3
	$\bar{n}$	-	17.33
	$(\sigma_{\text{restrained}})_{y=0}$	N/mm^2	4.708
Step4	$(\sigma_{\text{restrained}})_{y=250}$	N/mm^2	1.985
	$\bar{A}_r$	mm^2	5.032×10^5
	$\bar{B}_r$	mm^3	6.615×10^7
	$\bar{I}_r$	mm^4	1.151×10^{10}
	$\Delta \epsilon_0(t, t_0)$	-	-340×10^{-6}
	$\Delta \phi(t, t_0)$	mm^{-1}	0.895×10^{-6}
	$(\Delta \sigma)_{y=0}$	N/mm^2	-3.923
	$(\Delta \sigma)_{y=250}$	N/mm^2	-1.788
	$\Delta \sigma_{ns1}$	N/mm^2	-63.974
	$\Delta \sigma_{ns2}$	N/mm^2	-37.599
	$[\sigma(t)]_{y=0}$	N/mm^2	-0.835
	$[\sigma(t)]_{y=250}$	N/mm^2	2.117
	$\sigma(t)_{ns1}$	N/mm^2	-72.206
	$\sigma(t)_{ns2}$	N/mm^2	-29.008

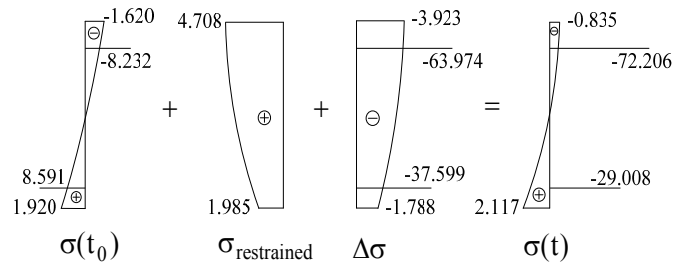


図-3 応力分布 (N/mm^2)

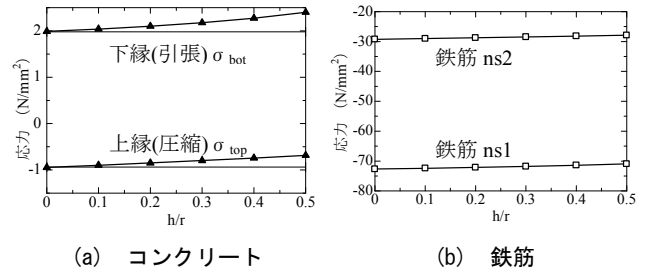


図-4 h/r による応力の変化

表-1に解析結果、図-3に材齢 t_0 および材齢 t のときの応力分布を示した。

図-4に曲率 h/r を変化させたときの材齢 t におけるコンクリート上縁の応力 σ_{top} 、下縁の応力 σ_{bot} および鉄筋の応力の変化を示した。 h/r が大きくなるときは曲率が大きくなり、 $h/r=0$ のときは直線部材となる。 h/r の増加にしたがって、 σ_{bot} (引張応力) は増加、 σ_{top} (圧縮応力) は減少する。これは、 h/r が大きくなるにつれ、ひずみ分布に曲率の影響が顕著に表れてくるためである。

部材が曲率を持つ場合は、直線部材に比べ、クリープ、乾燥収縮によりコンクリートに生じる引張応力は増加する。すなわち、曲線部材を直線部材として設計することは危険側の設計となる。

4. まとめ

- (1) あらゆる曲率 (h/r) を有する RC 部材に対して、時間依存性応力解析が可能である。
- (2) 本理論における計算式は、曲率半径 r を無限大に取ることによって、直線部材における、応力算定式と一致を見ている。
- (3) 本理論により温度応力の解析も可能である。

参考文献

- 1) 浅井 隆一ほか：RC 曲線部材の温度応力解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，1993，p383~388
- 2) A.Ghali, A.M.Neville, 川上 洵：構造解析の基礎と応用—線形・非線形解析および有限要素法—，技報堂出版，2001