

V-273 クラックひずみ法によるRC部材の曲げ剛性に関する解析的研究

武蔵工業大学大学院 学生員 江夏輝行
 武蔵工業大学 正会員 吉川弘道
 武蔵工業大学 正会員 小玉克己

1. はじめに

設計において考慮すべきコンクリート構造物の限界状態には種々あるが、使用限界状態の中軸をなすのがひびわれとたわみ変形である。ひびわれ発生後における鉄筋コンクリート部材の変形問題は一般に引張部コンクリートの変形評価にその本質があると考えられるが、多くの要因を含むためその解析的取扱いは複雑となる。

本研究は曲げモーメントと軸力を受ける鉄筋コンクリート部材を対象とし、その変形挙動、特に曲げモーメント～曲率に関する解析モデルを構築するもので、引張コンクリートにおいて付着を考慮したクラックひずみを導入した。

2. 断面の仮定と記号の定義

本研究に用いる鉄筋コンクリート断面を図1のように仮定し、記号を表1のように定義する。

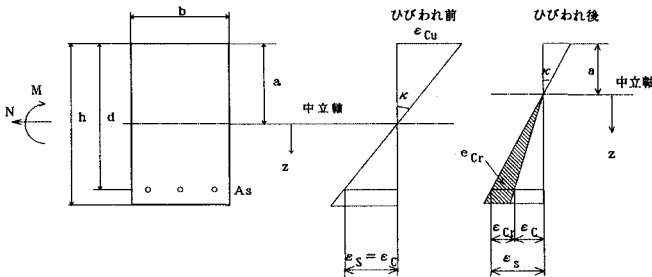


表1 記号の定義

	圧縮コンクリート	引張コンクリート	引張鉄筋
ひずみ	ϵ_c	ϵ_c	ϵ_s
応力	σ_c	σ_c	σ_s
断面積	$a \times b$	$(h-a) \times b$	A_s
位置	$-a \leq z \leq 0$	$0 \leq z \leq h-a$	$z = d - a$

図1 解析断面とひずみ分布

3. 基礎方程式の定式化

図1のような鉄筋コンクリート部材が曲げモーメントMと軸力Nを受ける場合を考える。図1より明らかなようにひびわれ後において、引張側コンクリートの弾性ひずみ ϵ_c と鉄筋の弾性ひずみ ϵ_s は、ひびわれの発生による鉄筋とコンクリートとの相対的すべりにより必ずしも等しくない。すなわち、すべりの生じているある部分の全ひずみを $\epsilon(z)$ とすると、鉄筋のひずみ ϵ_s は $z=d-a$ においてこれと等しく、引張コンクリートのひずみ $\epsilon_c(z)$ はこれより小さい値となる。この差をクラックひずみ $e_{cr}(z)$ とするとこれらのひずみの関係は、次式で表される。

$$\epsilon(z) = \frac{z}{d-a} \epsilon_s, \quad \epsilon(z) = \epsilon_c(z) + e_{cr}(z), \quad e_{cr}(z) = \frac{z}{d-a} \epsilon_{cr} \quad (1)$$

(ϵ_{cr} : 鉄筋位置でのクラックひずみ)

また鉄筋の応力を σ_s 、コンクリートの応力を σ_c とし、鉄筋の弾性係数を E_s 、コンクリートの弾性係数を E_c とすると各々の材料構成方程式は次式で表される。ただし、軸線の曲率を κ とする。

$$\begin{aligned} \sigma_s &= E_s \epsilon_s \\ \sigma_c &= E_c \epsilon_c(z) = E_c \{ \kappa z - e_{cr}(z) \} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、ひびわれが全く生じていない場合（全断面有効時）を状態Ⅰ(State I, $\epsilon_{cr}=0$)、ひびわれが充分発達し、コンクリート引張力の寄与が全くなかった時を状態Ⅱ(State II, $\epsilon_{cr}=\epsilon_s$)と定義する。そうすると、これらはひびわれを生じるRC部材の両極端を表すことができる。

状態Ⅰ、Ⅱにおいて力の釣合条件

$$M = \int_A \sigma z dA \quad N = \int_A \sigma dA \quad (3)$$

から曲げモーメントと軸力を与えた時の伸びひずみと曲率の関係を求めると、次のように表される。

$$\text{状態Ⅰ: } M = E_c I_1 \kappa, N = E_c A_1 \varepsilon \quad \text{状態Ⅱ: } M = E_c I_2 \kappa, N = E_c A_2 \varepsilon \quad (4)$$

ただし、断面二次モーメント

$$I_1 = \frac{b}{3} \left\{ (h-a)^3 + a^3 \right\} + n A_s (d-a)^2, I_2 = \frac{b}{3} a^3 + n A_s (d-a)^2 \quad (5)$$

断面積

$$A_1 = b h + n A_s, \quad A_2 = b a + n A_s \quad (6)$$

そして、同様に(3)式より状態Ⅰから状態Ⅱへの遷移領域における曲げモーメント、軸力と伸びひずみ、曲率、クラックひずみの関係をマトリックス表示すると、次式のように表すことができる。

$$\begin{Bmatrix} M \\ N \end{Bmatrix} = E_c \begin{bmatrix} I_1 & G_1 \\ G_1 & A_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa \\ \varepsilon \end{Bmatrix} - E_c \varepsilon_{cr} \begin{Bmatrix} s \\ t \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{ただし、} \quad s = b (h-a)^3 / 3 (d-a), \quad t = b (h-a) \quad (8)$$

上式はクラックひずみ ε_{cr} によって引張コンクリートの引張硬化作用が考慮されており、状態Ⅰから状態Ⅱへ遷移されることが表されている。ここでクラックひずみを次式のように定義する[1]。

$$\varepsilon_{cr} = \lambda_c \sigma_s^* / E_s \quad (9)$$

ただし、 σ_s^* はひびわれ発生位置での鉄筋応力を意味し、次式で与えられる。

$$\sigma_s^* = \frac{n M}{I_2 / (d-a)} + \frac{n N}{A_2} \quad (10)$$

また引張硬化係数 λ_c は $\lambda_c = \tanh(\mu_c) / \mu_c$, $\mu_c = 0.75 \cosh^{-1} \{M / (M - M_{cr})\}$ とする。(11)

(11)式により λ_c は、曲げモーメント M の増大に従い、 $\lambda_c = 0 \rightarrow 1$ に変化するので、状態Ⅰの時 $\varepsilon_{cr} = 0$ から状態Ⅱの時 $\varepsilon_{cr} = \varepsilon_s$ へと変化していく様子を解析的に再現することができる。

4. 実験結果との比較

上述したモデルの妥当性を検証するために、RC部材が曲げのみを受ける場合の実験結果[2]との比較を行った。対象とした供試体は、 $b=15\text{cm}$ および $h=30\text{cm}$ の矩形であり、引張鉄筋D16を $d=27\text{cm}$ の位置に2本配置したものを用いた。なお解析はQuick BASICによってプログラミングを行ない、荷重制御によって数値計算を実施した。実験結果とそれに対応する計算結果は、図2のとおりであり、両者は十分一致しているといえる。

今回の解析では、コンクリートの弾性係数を一定として扱っているが、実際には高圧縮域におけるコンクリートの弾性係数が小さくなるので、計算結果はさらに実験値へ近づくと思われる。

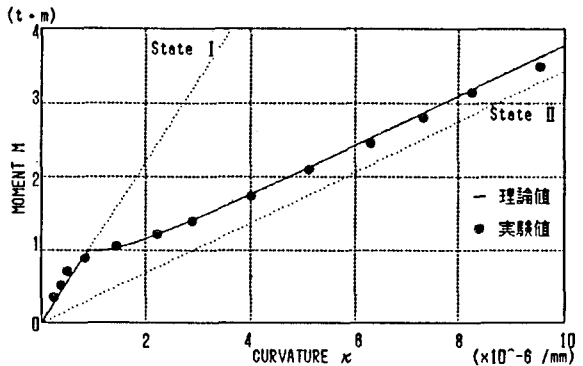


図2 曲げモーメント～曲率関係（実験値との比較）

<参考文献>

- [1] 吉川弘道、田辺忠顕：鉄筋コンクリート部材の引張剛性に関する解析的研究、土木学会論文集、第366号/V-4、1986年2月、PP.93～102
- [2] K. SAKAI, Y. KAKUTA: MOMENT-CURVATURE RELATIONSHIPS OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS SUBJECTED TO COMBINED BENDING AND AXIAL FORCE, ACI JOURNAL, MAY-JUNE, 1980, PP.189～194