

V-385

付着理論に基づいたRCはりの長期たわみ解析法について

宇都宮大学 学生員 ○筒井英之
宇都宮大学 正会員 佐藤良一

宇都宮大学 学生員 阿部 司
愛媛大学 正会員 氏家 勲

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)部材の長期変形はクリープ、乾燥収縮が複合するためその厳密な予測は難しいとされている。著者らは、先に、付着理論に基づいて、RC部材の長期変形解析¹⁾を行ったが、それは純曲げを受ける部材要素に対してであり、直接的にたわみを解析できるものではなかった。

そこで、本研究は長期にわたり曲げとせん断を受けるRCはりの付着応力—すべり関係式を誘導し、これを数値解析することによって、長期変形・ひび割れの予測を行った。

2. 解析方法

2.1 仮定

解析部材は図-1に示すように中央部に集中荷重Pを受けるRC部材の曲げとせん断が作用している区間とする。曲げとせん断を受けるRC部材の変形・ひび割れ幅の時間的推移の解析に際し、以下の仮定を設ける。

1. 圧縮応力域でのコンクリートひずみと鉄筋ひずみとの間には平面保持の仮定が成立する。
2. 引張応力域でのコンクリートひずみは応力に関する中立軸からの距離に比例する。
3. 乾燥収縮によるひずみは全断面で一様である。

以上の仮定から、RC部材の任意断面のひずみと応力の分布を表すと、図-2のようになる（ ϵ_{cs} は乾燥収縮ひずみ）。

2.2 基礎方程式

任意断面xにおける断面の軸方向力、曲げモーメントの釣合条件から

$$C_c + C_s + T_c + T_s = N \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$M_{Cc} + M_{Cs} + M_{Tc} = M \quad \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 C_c, C_s, T_c, T_s はコンクリートおよび鉄筋に作用する圧縮力および引張力、 M_{Cc}, M_{Cs}, M_{Tc} は C_c, C_s, T_c の引張鉄筋まわりの曲げモーメントである。式(1)(2)は $\epsilon_{Ts}, \epsilon_{Tc}, y$ の3つの未知変数を持つため、 $\epsilon_{Ts}, \epsilon_{Tc}$ はyの関数として表せる。任意断面での鉄筋とコンクリートの間のすべり量を δ_x とすれば、 δ_x とyの関係は次のように表される。

$$\frac{d\delta_x}{dx} = \epsilon_{Ts} - \epsilon_{Tc} = f(y) \quad \dots \dots \dots (3)$$

また、断面x+dxにおいても前述の釣合条件が満たされ、微小増分dxにおいて次の関係が成立する。

$$dC_c + dC_s + dT_c + dT_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$dM_{Cc} + dM_{Cs} + dM_{Tc} = dM = Vdx \quad (V: \text{せん断力}) \quad \dots \dots \dots (5)$$

さらに、すべり量と引張鉄筋位置での鉄筋およびコンクリートのひずみ、鉄筋ひずみと付着応力の関係を用いれば基礎方程式として次式が導かれる。

$$\frac{d^2\delta}{dx^2} = \frac{U_s}{A_s E_s} \{1 - G(y)\} \tau_x + H(y)V \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 U_s, A_s, E_s は鉄筋の周長、断面積、弾性係数であり、 $d\delta_x$ は微小

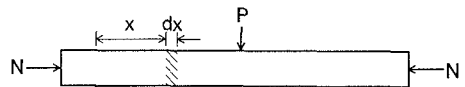


図-1 解析部材

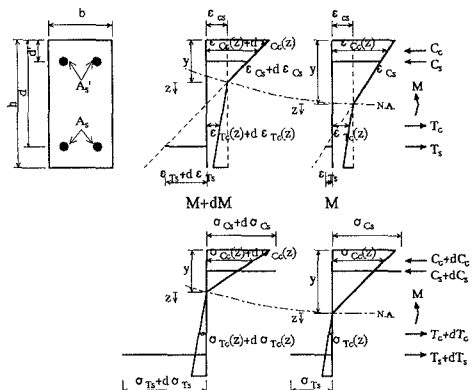


図-2 微小区間dxにおけるひずみと応力の表示

表-1 断面諸元および材料物性

幅 b(cm)	20
高さ h(cm)	25
引張鉄筋位置 d(cm)	21
圧縮鉄筋位置 d'(cm)	0
引張鉄筋断面積 $A_s(\text{cm}^2)$	5.49
圧縮鉄筋断面積 $A_s'(\text{cm}^2)$	0
鉄筋の弾性係数 $E_s(\text{kgf/cm}^2)$	2.04×10^5
コンクリートの弾性係数 $E_c(\text{kgf/cm}^2)$	3.0×10^5
コンクリートの引張強度 $f'_{ct}(\text{kgf/cm}^2)$	33.9
クリープ係数 ϕ^*	2.8
乾燥収縮ひずみ $\epsilon_{cs}^*(\times 10^{-6})$	-515
付着強度 $\tau_{max}(\text{kgf/cm}^2)$	140
最大すべり量 $\delta_{max}(\text{mm})$	0.24

*: 載荷後200日

区間 dx における鉄筋とコンクリートのすべり量の変化、 τ_x は付着応力、 $G(y)$, $H(y)$ は y の関数である。また、付着応力-すべり($\tau_x - \delta_x$)の関係として六車、森田らの提案式²⁾を用い、付着クリープ特性は高橋らの実験³⁾に基づいた。

δ_x と y が未知変数であるので、式(3)(6)を連立し、次の境界条件の下で数値解析を行うことができる。

2.3 境界条件

境界条件は鉄筋とコンクリートのすべりがない断面($x=0$)およびひび割れ断面($x=x_0$)において次のように定められる(図-3参照)。

$$x=0 \text{ の時: } \delta_x=0 \text{ かつ } \frac{d\delta_x}{dx} = 0 \quad (\text{領域 I})$$

$$x=x_0, x_1, x_2 \text{ の時: } \frac{d\delta_x}{dx} = \varepsilon_{Ts} - \varepsilon_{Tc} \quad (\text{領域 II})$$

3. 数値解析例

図-2に解析部材の断面図、表-1に断面諸元および材料物性を示す。なお、クリープ係数および乾燥収縮ひずみは実測値⁴⁾を用いた。解析結果として、ひび割れは載荷点直下および載荷点から19.4(cm)の位置に発生し、載荷荷重は最大鉄筋応力が2282(kgf/cm²)となるように設定した。図-4に載荷直後と載荷後200日の引張鉄筋位置での鉄筋およびコンクリートひずみの分布を示す。コンクリートと鉄筋のすべりははじめの位置を比べると、載荷直後に比べてクリープのみ考慮の場合の方が載荷点に近くなっている。これは、クリープによってコンクリートが鉄筋に追随しようとするためと考えられる。図-5にひび割れ幅の経時変化を示す。ひび割れ幅の増加には乾燥収縮が大きく影響し、クリープはひび割れ幅を減少させる傾向があることが分かる。図-6にたわみ量の経時変化を示す。たわみ量はクリープだけでなく、乾燥収縮によっても増加している。これは、今回の解析では圧縮鉄筋がなく、また引張鉄筋が変形の進行を助長するためと考えられる⁵⁾。

4. まとめ

本研究は、曲げせん断を受けるRC部材のクリープ、乾燥収縮を考慮し、長期たわみとひび割れ幅を予測するための付着応力-すべり関係式を誘導した。これを数値解析した結果はRCはりの長たわみを定性的には説明しているものと思われる。今後、実験結果との比較により本解析理論の妥当性や問題点を検討する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 佐藤良一他：持続荷重を受けるRC曲げ部材の変形・ひびわれ、コンクリート工学年次論文集、1987
- 2) 六車 熙他：鋼とコンクリートの付着に関する研究、日本建築学会論文集、1967
- 3) 高橋久男他：鉄筋とコンクリートの付着クリープ性状に関する研究、1979
- 4) 北条泰秀他：鉄筋コンクリートの長期曲げひび割れ幅に及ぼす乾燥収縮の影響について、第49回土木学会年次学術講演概要集V、1994
- 5) 山本浩嗣：コンクリート部材の長期曲げ剛性の提案、第50回土木

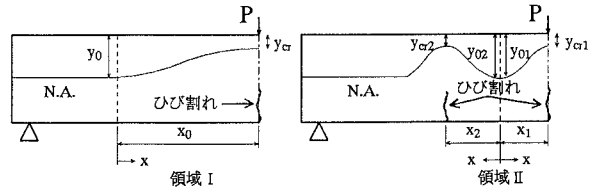


図-3 境界条件

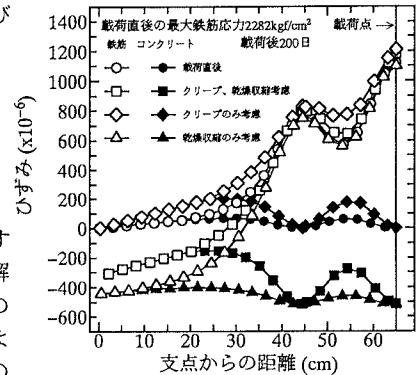


図-4 引張鉄筋位置のひずみ分布

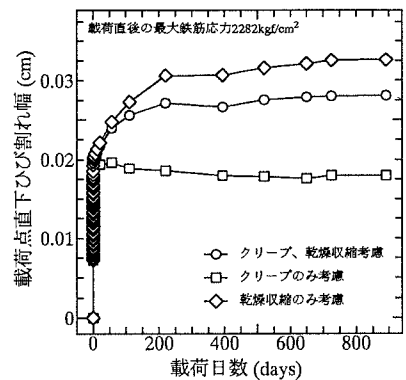


図-5 ひび割れ幅の経時変化

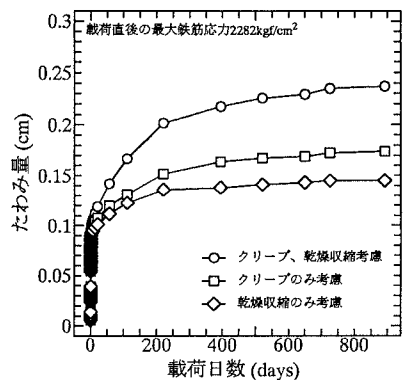


図-6 たわみ量の経時変化