

異形鉄筋の両引きによるRC部材の引張硬化挙動の解析

九州大学 学生員 高畑 悟

九州大学 正会員 彦坂 熙

九州大学 正会員 劉 玉擎

九州大学 学生員 下原 裕司

1. 序論

RC構造の複雑な変形機構を明確にして、解析精度を向上させるためには、引張を受けるRC部材のひび割れ挙動、鉄筋とコンクリート間の付着すべり、およびこれらに基づく引張硬化現象の定量的評価を合理的に行う必要がある。本研究では、ボロノイ分割を用いた剛体-バネ系モデルを用いることにより、ふしとコンクリートのかみ合いおよび鉄筋周辺のコンクリートの変形による抵抗を物理的に考慮し、鉄筋の降伏に至るRC部材の引張硬化挙動を考察する。

2. 解析手法

本研究では、コンクリート四角柱の中央部に異形鉄筋が1本配置された供試体の両引き試験を解析対象とし、対称性を考慮して全体供試体の1/8の領域をモデル化する。2次元解析において供試体の3次元効果を考慮するために、図-1のように鉄筋上部のかぶりコンクリートを奥行き(x軸方向)の厚さを持つ単層要素(要素1)とし、鉄筋位置では、角柱体とする鉄筋(要素2)およびその背後にあって鉄筋要素と同一の平面形状を持つコンクリート(要素3)からなる2層要素を設ける。各要素を剛体とし、要素の重心点に2次元剛体変位の3自由度を与える。要素境界面に分布する垂直バネとせん断バネからなるバネ系を配し、このバネ系に蓄えられるひずみエネルギーを計算する。ただし、前面の鉄筋と背後のコンクリートの2層要素間にはバネを配置せず、この2層要素間(要素2、3)の力のかぶりコンクリート要素(要素1)を介して伝達させる。

本研究では、コンクリートの破損発生条件(図-2)を次式で与える。

$$\left. \begin{aligned} \tau_c &= \tau_o - \sigma_c \tan \alpha & (\sigma_c \leq 0) \\ \tau_c &= \tau_o (1 - \sigma_c / f_t) & (0 < \sigma_c \leq f_t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、コンクリートのせん断強度 τ_o をその圧縮強度の14%とし、内部摩擦角 α は 54° とする¹⁾。ひび割れの発生は、垂直応力 σ_c が引張強度 f_t を超えたときに生じることとする。ひび割れ発生後のコンクリートは応力を直ちに0とせず、引張軟化を考慮した破壊力学的手法を導入し、ひび割れ幅 $w(\sigma_c)$ を次式で求める。

$$w(\sigma_c) = \delta_{nc} - \frac{\sigma_c}{E_c} (h_1 + h_2) \quad (2)$$

ここに、 σ_c 、 δ_{nc} は隣接する2要素境界面上の中点における垂直方向の応力および相対変位であり、 h_1 、 h_2 は隣接する2要素の重心から要素境界面上に下した垂線の長さを表す。鉄筋とコンクリート要素の接合面のすべり破壊条件は、次式を用いる。

$$\tau_i = \sigma_i \tan \alpha \quad (3)$$

ここに、 α は摩擦角で、 $\tan \alpha = 0.45$ とする。 σ_i 、 τ_i は鉄筋とコンクリート要素の接合面の垂直およびせん断応力である。鉄筋については、降伏強度に達したバネの硬化剛度を $0.01 E_s$ とする。

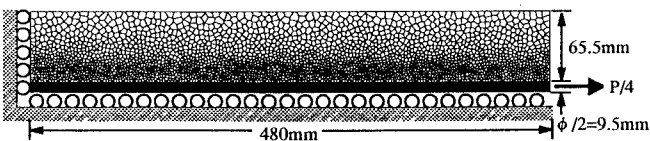


図-3 解析モデル

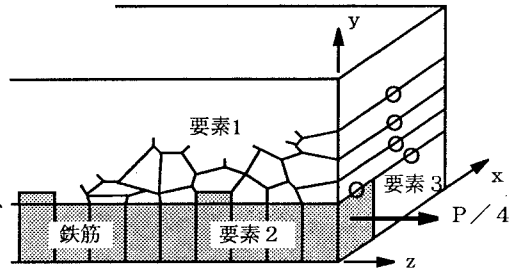


図-1 2層要素メッシュ

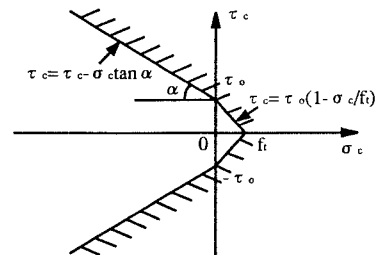


図-2 コンクリートの破損発生条件

3. 解析モデル

本研究では、部材長さが 960mm、断面が 150×200mm である四角柱供試体を解析対象とし、全体供試体の 1/8 の解析モデルを図-3に示す。異形鉄筋のふしはそれぞれ鉄筋と別の要素で表現する。鉄筋径を ϕ 19mm とし、ふしの形状は長さ 2.5mm、高さ 1.7mm、ふし間隔 10mm とする。鉄筋およびふしは四角形要素に分割し、それらの背後のコンクリート要素 3 の形状および寸法は鉄筋およびふし要素と同じ設定にする。鉄筋上部のかぶりコンクリートについてはボロノイ分割によりランダムな多角形要素を発生させる。また、鉄筋とコンクリート間の付着面積に関しては、実際の円柱の鉄筋付着面積を用いることとし、鉄筋の円形断面を四角形断面に等置することにより、鉄筋要素の奥行きを $\pi \phi / 8$ (ϕ : 鉄筋径) とする。材料特性は表-1のように設定する。

表-1 材料特性

材料特性	コンクリート	鉄筋
ヤング率 E (GPa)	20	200
ポアソン比 ν	0.18	0.3
引張強度 (MPa)	2.5 (ft)	610 (fy)
破壊エネルギー G_F (Nm/m ²)	50	

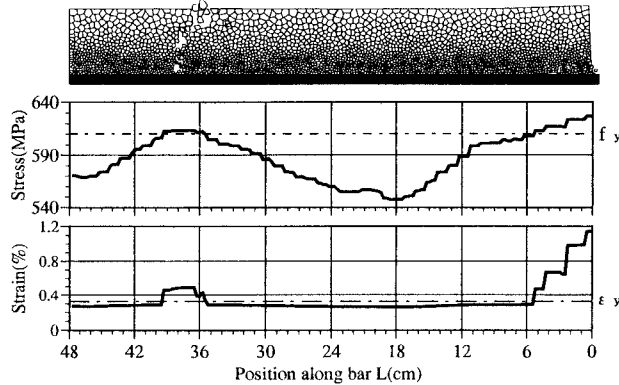


図-4 鉄筋の応力とひずみ分布およびコンクリートの破壊状態 ($\epsilon_s = 0.35\%$)

4. 解析結果及び考察

図-4に、降伏後 ($\epsilon_s = 0.35\%$) における鉄筋の応力とひずみ分布、およびコンクリートの破壊状態を示す。載荷端およびひび割れの位置における鉄筋が降伏している。

図-5に引張荷重、鉄筋の平均応力およびコンクリートの平均応力と平均ひずみの関係を示す。図-5上段は、鉄筋とコンクリートの付着作用のために、ひび割れ発生後もひび割れ間のコンクリートが引張力を負担する Tension Stiffening 効果によって、鉄筋コンクリートの引張剛性は鉄筋単体のそれよりも高いことを表わしている。図-5中段より、鉄筋の平均応力-平均ひずみ曲線の降伏点は、鉄筋単体の降伏点より低いことがわかる。これは、ひび割れ位置で鉄筋が降伏応力に達したとき、ひび割れ間の鉄筋はまだ降伏していないためである²⁾。図-5下段のコンクリートの平均応力-平均ひずみ関係は、鉄筋降伏後においてもコンクリートが引張力を負担していることを示している。

参考文献

- (1) 三島 徹也他：土木学会論文集，No.442/V-16, pp.171-179, 1992.2.
- (2) 玉井 真一他：土木学会論文集，第 378 号/V-6, pp.239-247, 1987.2.

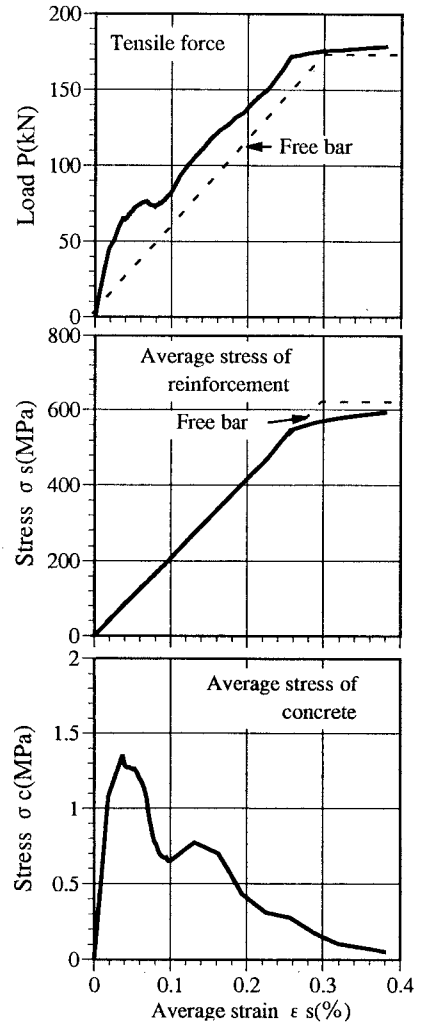


図-5 引張荷重、鉄筋の平均応力、コンクリートの平均応力と平均ひずみとの関係