

付着領域におけるコンクリート引張構成則のモデル化に関する研究

東京大学土木工学科 学生会員 田中 泰司
東京大学土木工学科 正会員 安 雪暉

1 はじめに

FEM 解析等によって複合材料である鉄筋コンクリート構造物の挙動を予測するためには、異種材料間の相互作用を考慮した、コンクリートと鉄筋の各材料の単体モデルから導き出される構成則が必要となる。また、RC 構造問題に不可欠な付着領域におけるコンクリート引張構成則は、曲げ・せん断に関わらず系全体の挙動を左右する重要な位置を占めている。本稿では鉄筋比が限界鉄筋比以下である部材に焦点を当て、低鉄筋比部材における付着モデルとその領域設定方法について述べる。

2 解析概要・モデル化の手法

AN は岡村・前川式を用い、無筋部材のコンクリート引張軟化係数を破壊エネルギーの釣り合いから式(1)で提案した。付着領域における引張軟化係数には一律に 0.4 を与えている【1】。

RC 構造問題では割合大きな要素を用いた場合、付着領域(RC ゾーン)と無筋領域(PL ゾーン)に、それぞれ別の構成則を適用しなければならない。しかし、ひび割れ密度以下に要素寸法を規定し、3 次元解析を行うと付着領域内でも破壊力学の知見を直接適用でき、付着領域について考慮することなく無筋構造と同じ引張モデルが使用できる。一般にひび割れ密度は鉄筋の節により支配されている。そこで要素サイズを節間以下となるようにメッシュを作成し、仮想的に一軸引張試験による解析(fine mesh 手法)を行うとひび割れ位置の予測が精緻に行える(図1)【2】。そこでこの方法でパラメータ解析を行うことで、RC 要素レベルの付着モデルを得た。そして、この精緻な解析に基づいて同定した付着モデルと部材レベルでの実験値との比較を行い、モデルの整合性を確認した。

$$G_f / L = f_t (\varepsilon_{tu} / \varepsilon_t)^C$$

G_f : 破壊エネルギー

L : 要素長

f_t : 引張強度

ε_{tu} : ひび割れ発生ひずみ

ε_t : 平均ひずみ

C : 引張軟化係数

式(1)

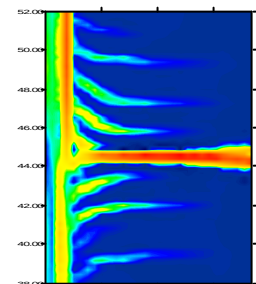


図1 ひび割れ予想図

3 解析結果

図2 は鉄筋比の異なる9つの部材を fine mesh 手法により解析を実行した結果をプロットしたもの(0.95%~6.5%)に、提案する付着モデルと既存のモデルを付したものである。この範囲では解析結果は「コンクリート内平均応力-ひずみ関係は鉄筋比に依存しない」という従来の経験則に一致する(RC 構成則の一意性【3】)。ただし、RC 領域の構成則を引張軟化係数の値を変えることで定義する既存のモデル(式(1))では、解析によって得られる付着領域での応力-ひずみ関係をうまくモデル化できていない。それは付着効果がひ

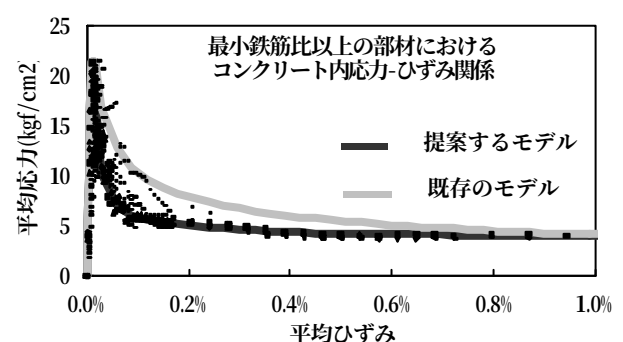


図2 厳密解法による一軸引張試験の解析結果

び割れ発生による応力開放と鉄筋による伝達機構に起因しており、ひび割れ発生以降に発揮される付着効果はひずみの増大とともに徐々に発揮されるからである。そのため、付着領域であっても、ひび割れ直後の応力開放過程は、無筋コンクリートとほぼ同様な経路をたどる。検討の結果、RC 構成則が適用可能であるよ

キーワード：FEM、付着効果、ゾーニング

連絡先：〒106-8558 東京都目黒区駒場 4-6-1 TEL 03-5452-6098 FAX 03-5452-6395

うな鉄筋比の大きい部材の引張構成則を式(2)のように定式化した。なお、ひずみが十分に大きいところでは既存のモデルも fine mesh による応力-ひずみ関係をよく表現している。

RC 構成則の一意性が保証されない低鉄筋比部材では鉄筋比を変数に持つモデルが必要となる。パラメータ解析によれば付着効果は限界鉄筋比を境にして性状を大きく変え、鉄筋降伏時の引張軟化係数は鉄筋比の根に対し線形で変化する(図3)。そこで境界条件をふまえて鉄筋降伏時の引張軟化係数を式(3)で表現した。

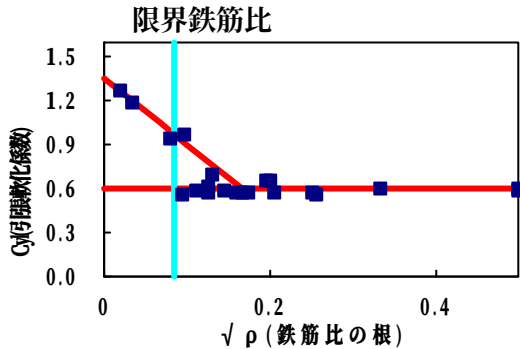


図3 鉄筋比と引張軟化特性関係

$$\sigma_c(\varepsilon_t) = f_t(\varepsilon_{tu}/\varepsilon_t)^{C(\varepsilon_t)}$$

$$C(\varepsilon_t) = C_{yl}((\varepsilon_s - \varepsilon_{tu})/(\varepsilon_t - \varepsilon_{tu}))^{C_c}$$

C_c : 定数 = 0.3 ($\varepsilon_t < \varepsilon_s$)
 = 0.2 ($\varepsilon_t > \varepsilon_s$)
 C_{yl} : 鉄筋降伏時引張軟化係数
 = 0.6
 σ_c : 引張応力
 f_t : 引張強度
 ε_{tu} : ひび割れ発生ひずみ
 ε_t : 引張ひずみ
 ε_s : 鉄筋降伏ひずみ

式(2)

$$C_{yl} = (3.6 - 6 C_{pl}) D/L + C_{pl} \quad (\rho < \rho_{cr})$$

$$= 0.6 \quad (\rho > \rho_{cr})$$

C_{yl} : 鉄筋降伏時引張軟化係数
 C_{pl} : 無筋コンクリートの引張軟化係数
 D : 鉄筋径
 L : 供試体径
 ρ : 鉄筋比
 ρ_{cr} : 限界鉄筋比

式(3)

4 実験との比較

提案する引張モデルは解析のみによって得られたものであるため、実験との比較によって検証を行うことが不可欠である。一軸引張試験を対象に実験値とモデルの比較を行った。提案するモデルは実験値とよく一致する(図4)。

また、提案するモデルは低鉄筋比のはり部材においても解析精度の向上に貢献する(図5)。

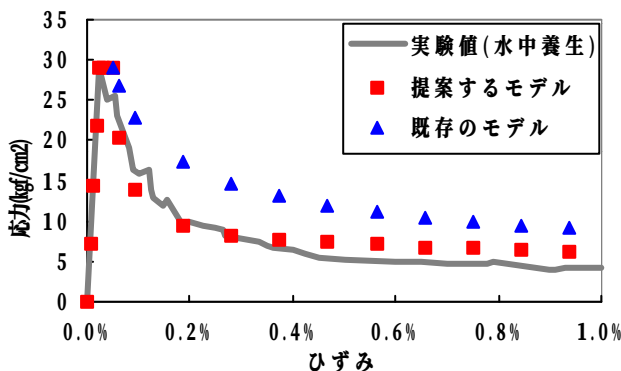


図4 一軸引張試験におけるモデルの比較

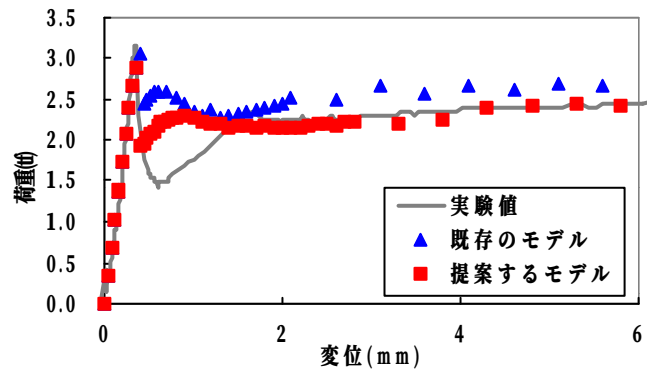


図5 はりの曲げ試験におけるモデル

5 まとめ

精緻な解析から得られた結果を用いて、再度空間平均化を行うことで、RC 挙動予測の精度を向上できるコンクリートの引張構成則を提案した。本研究で用いた手法は実験技術上の問題を抱える事柄に対して有効である。

参考文献 【1】Xuehui AN, Koichi MAEKAWA, and Hajime OKAMURA : NUMERICAL SIMULATION OF SIZE EFFECT IN SHEAR STRENGTH OF RC BEAMS (J. Materials Conc. Struct., Pavements, JSCE, No.564/V-35, 297-316, 1997 May) 【2】前川宏一・安雪暉・土屋智史 : コンクリート構造物の破壊解析への応用(コンクリート工学, vol.37, No.9, 1999.9, p54~p59) 【3】前川宏一・長谷川俊昭 : コンクリート構成則の研究動向と課題(コンクリート工学, vol.32, No5, 1994.5, p13~p21)