

鉄筋コンクリートはりの付着性状およびひびわれに関する研究

名古屋工業大学 正 員 吉田弥智

学生員 木村克彦

〃 〃 平井英章

1. はじめに

既報¹⁾によれば、両引試験体とはり試験体より得られた付着特性、すなわち、付着応力-すべり量関係(以下、 τ - s 関係と略記)は異なる。そのため、本研究では、両引試験およびはり試験より得られた付着特性を用いてはりをFEM解析²⁾し、鉄筋のひずみ分布、荷重-タワミ関係およびひびわれについて解析結果と既報¹⁾の実験結果の比較検討を行ない、両引試験より得られた付着特性をはりの解析に用いることの適否について論じ、なお、実験にはモルタルを使用した以下コンクリートと記す。

2. 解析方法の概要

コンクリートにひびわれが発生し、試験体の内部構造が変化してゆく現象をFEM解析上どのように取扱うかという方法には、大別して重複節点法と引張応力解除法の2つがある。本研究では、ひびわれ位置が予想できないこと等により後者のコンクリート要素の引張応力がコンクリートの引張強度を越えた場合、その要素の引張応力に等価な節点力を逆方向に加えて要素の引張応力を解除する方法を用いて解析した。また、解析は、材料の非線形力学特性を考慮に入れて平面応力問題として荷重漸増法によって行ない、部材の対称性によってはりの半分のみ計算した。部材のモデル化に際しては、図-1に示すように鉄筋は単位幅当りのモデルに含まれる鉄筋比が実際の試験体に等しくなるような長方形断面の要素に置換した。そして、スターラップはその両端をコンクリート要素の2節点に剛結し、軸力のみを負担する線要素とした。図-2に示すようにはり試験体を要素分割した。なお、鉄筋要素とコンクリート要素は、ボンドリンク要素で結合し、後述するような付着特性を付与した。スターラップとコンクリートとの付着は考慮しなかった。

3. 応力-ひずみ関係

コンクリートの応力-ひずみ関係には、解析の対象が単純支持はりであることを考慮すると、一軸圧縮時の応力-ひずみ関係で十分近似できると考え、また、コンクリート、モルタルおよびセメントペーストのすべての場合を一つの式で表示できるPopovics³⁾によって提案された式(1)を用いた。なお、最大応力時のモルタルのひずみ ε_0 は式(2)によって求めた。式(1)および式(2)は次の通りである。

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \cdot \frac{n}{n-1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^n} \quad (1)$$

$$\varepsilon_0 = 0.002 + \frac{\sigma_c}{6} \times 10^{-5} \quad (2)$$

ここに、

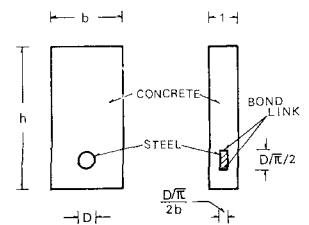
 σ : 応力 ε : ひずみ ε_0 : 最大応力時のひずみ

図-1 断面のモデル化

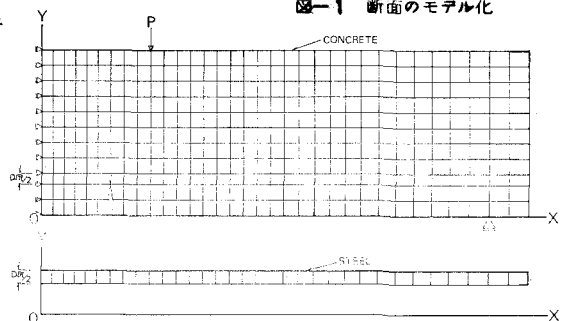


図-2 要素分割

σ_c : 圧縮強度

n : 実験定数

$$= 0.57 \times 10^{-2} \sigma_c + 1 \quad (\text{コンクリート}) \quad = 12.0 \quad (\text{セメントペースト})$$

$$= 0.21 \times 10^{-2} \sigma_c + 1.5 \quad (\text{モルタル})$$

引張時のコンクリートの剛性は、圧縮時の初期接線係数に等しいと仮定してその値を用いた。また、鉄筋要素の応力-ひずみ関係は bi-linear とし、降伏後のヤング係数には弾性時の 1% の値を用いた。

4. τ - S 関係

ボンドリンク要素の鉄筋軸方向の付着特性には、実験より得られた式(3)に示すような非線形の τ - S 関係を用い¹⁾、鉄筋軸に垂直方向の付着特性は、鉄筋およびコンクリート要素は剥離しないと仮定して大きなバネ定数を付与した。

$$\log \tau_x = a \sqrt{\log S_x + b} \quad (3)$$

ここに、 τ_x : 任意点 x での付着応力 S_x : 任意点 x でのコンクリートと鉄筋のすべり量

a, b : 実験定数

なお、式(4)は $\log S_x + b \leq 0$ では $d\tau/dS_x$ が決められないので $\log S_x + b > 0$ を満足するように最小すべり量は実験値を考慮して $1 \times 10^{-4} \text{ cm}$ 前後の値とした。また、スタラップがある場合の鉄筋とコンクリートの τ - S 関係については現在検討中である。

5. コンクリート要素の引張破壊

先述したように、コンクリート要素の最大主応力がコンクリートの引張強度を越えたとき、その要素は引張破壊したとし、式(4)によって等価節点力を求め要素の応力を解除し、式(5)により残留応力を計算した⁴⁾。

$$\{F\} = \{F_e\} + \{F_r\} = t \cdot A \cdot [N]^T \left\{ \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_1} [I] + \left(1 - \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_1}\right) [T]^T [T_1] \right\} \{\sigma\} \quad (4)$$

$$\{\sigma_r\} = \left(1 - \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_1}\right) \{[I] - [T]^T [T_1]\} \{\sigma\} \quad (5)$$

ここに、

$\{F_e\}$: 余剰応力の解放力 $\{F_r\}$: ひびわれ発生による解放力

$\sigma_{ex} = \sigma_1 - \sigma_{iz}$: 余剰応力 $\{\sigma\}$: ひびわれ発生直前の応力

$[I]$: 3×3 の単位行列 $[T], [T_1]$: 座標変換マトリックス

$[N]$: ひずみ-節点変位マトリックス

t : 要素の厚さ A : 要素の面積 σ_1 : 最大主応力

6. 材料の力学的性質

本解析には、次の材料定数を用いた。

1) 鉄筋 降伏点: 2640 kg/cm^2 ヤング係数: $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ポアソン比: 0.30

2) モルタル 圧縮強度: 25 kg/cm^2 引張強度: 20.7 kg/cm^2 ポアソン比: 0.22

7. 解析結果と実験結果の比較

結果は当日発表

参考文献: 1) 吉田, 木村, 江尻; 土木学会 49 年度中部支部研究発表講演概要集投稿中 2) A.H. Nilson; "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete" Ph.D. Thesis of California Univ. 1967. - pp192 3) S. Popovics; Cement and Concrete Research Vol.3, 1973, pp583~599 4) 井元, 武田; 大林組技術研究所報 No.7 1973 pp56~60