

立命館大学理工学部

正会員 児島 孝之

正会員 高木 宣章

立命館大学大学院理工学研究科

学生員 日比野憲太

学生員○山田 崇雄

立命館大学理工学部

学生員 前田 拓郎

## 1.はじめに

本研究では、異形鉄筋の付着性状を把握するため、鉄筋とその周辺のコンクリートとの応力伝達機構に着目し、寸法 15×15×15 cmの供試体を用いた引抜き試験を行い、その試験結果をもとに有限要素法解析を試みた。コンクリートと鉄筋間の相対変位を考慮するため、アイソパラメトリック付着要素を用いている[1]。

## 2.要素特性

## (1) 鉄筋要素

鉄筋は軸方向のみに力が作用し、変形が生じるものと仮定し、二次のアイソパラメトリック線要素で表現した(図1)。表1に鉄筋の材料特性を示す。

表1 異形鉄筋の材料特性

|           | $f_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $f_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $E_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $A_s/2$ (cm <sup>2</sup> ) | $u_s/2$ (cm) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------|
| D13[5.1]  | 3615                         | 5406                         | $2.1 \times 10^5$            | 0.634                      | 2.0          |
| D25[10.2] | 3550                         | 5419                         | $2.1 \times 10^5$            | 2.534                      | 4.0          |

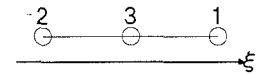


図1 鉄筋要素モデル

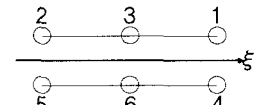


図2 付着要素モデル

## (2) 付着要素

[ ] : 付着長を示す

付着は、二次の重なったアイソパラメトリック線要素で表現した(図2)。付着要素の中心線に対し、法線方向の相対変位を  $\delta_n$ 、応力を  $\sigma_n$ 、接線方向の相対変位を  $\delta_t$ 、付着応力を  $\tau_t$ 、とすると式(1)の関係が得られる。

$$\sigma_e = \begin{bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{tn} & B_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = B_e \delta_e \quad (1)$$

また、付着要素の要素剛性マトリックス  $K_e$  は式(2)で表される。

$$K_e = \int_s B^T B_e B u_s ds = \int_{-1}^1 B^T B_e B \sqrt{\left(\frac{dx}{d\xi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\xi}\right)^2} u_s d\xi \quad (2)$$

本解析では鉄筋の軸方向に対する鉛直方向の剛性はないものとし、 $[B_e]$ マトリックスの係数を  $B_{nn} = B_{nt} = 0$ 、 $B_{nn} = B_{tt} = 1.0 \times 10^3$  kgf/cm<sup>3</sup> とし、これを定数として扱った。

## 3.解析モデル

図3に示すように供試体の対称性を考慮してその1/2について縦5分割、横10分割で要素分割を行い、付着長を自由端側から公称径の4倍とした。加力端側のコンクリートの軸方向、鉄筋の鉛直方向に拘束条件を与えた。図4は実験によって得られた荷重-すべり関係を示している。解析ではコンクリートの付着応力-すべり関係を図5で表されるものとし、図中の式の定数を種々変化させる場合について非線形解析を行った。解析結果としての荷重-すべり関係(図7)が図5の実験結果と最も良く一致する場合を見つけだし、その場合の付着応力-すべり関係を解析結果とするいわゆる逆解析である。

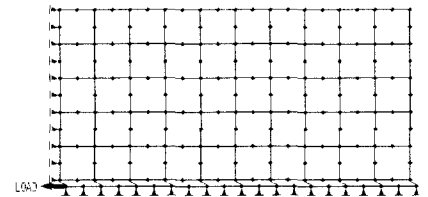


図3 解析モデル

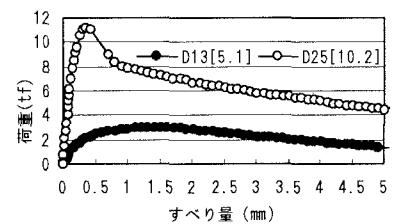


図4 荷重-すべり関係(実験結果)

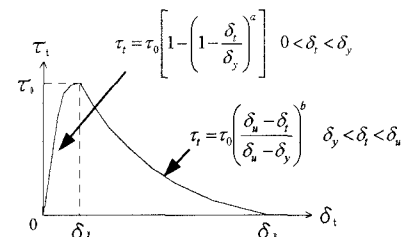


図5 付着応力-すべり関係

#### 4.有限要素解析結果

(1)表2に実験結果からの逆解析で得られた係数aおよびbの値を示す。

表2 解析に用いた係数

|           | a   | b    |
|-----------|-----|------|
| D13[5.1]  | 3.8 | 1.25 |
| D25[10.2] | 3.0 | 4.0  |

また図6(a)、図6(b)にそれぞれD13、D25における付着応力-すべり関係を示す。D13では、すべり量が増加するにつれて徐々に付着応力が増加し最大付着応力に達した。その後ゆっくりと抜け出し、すべり量が増加するにつれて付着応力は徐々に減少している。これに対しD25では、すべり量が非常に小さい段階で最大付着応力に達した。その後一気に抜け出し、急激に付着応力が減少した後すべり量が増加するにつれて徐々に付着応力が減少している。

(2)図7(a)、図7(b)にそれぞれD13、D25の荷重-すべり関係を示す。D13では荷重を加えるにつれ徐々にすべり量が増加し、その後最大荷重に達している。最大荷重に達した後は非常にゆっくりと抜け出す様子が確認できる。これに対しD25では、始めは荷重を加えていってもすべり量は非常に小さい。また最大荷重に達した後、急激に荷重が抜け徐々に荷重が減少しながらすべり量が増加するという実験の傾向を再現することができたと考えられる。

(3)図8(a)、図8(b)にそれぞれD13、D25の付着応力の分布図を示す。D13では初期の段階において応力分布は、微妙に加力端側の方が自由端側よりも大きくなっており、最大付着応力に達すると応力分布が平行になった。そして、最大付着応力に達した後、加力端側よりも自由端側での付着応力の方が大きくなって減少している。D25では初期の段階で加力端側の付着応力が増加していき、それから自由端側の付着応力が増加していく傾向がはっきりと見られた。そして、D13と同様に最大付着応力に達すると応力分布が平行になり、鉄筋が抜け出していくと加力端側の付着応力は自由端側の付着応力よりも小さくなった。D25はD13と比べて付着長が長いために、加力端側から自由端側への付着応力の伝達される様子をはっきりと示している。

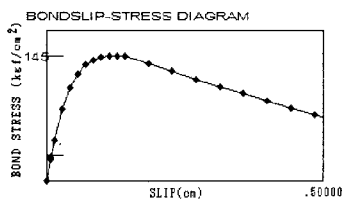


図6(a)付着応力-すべり関係[D13]

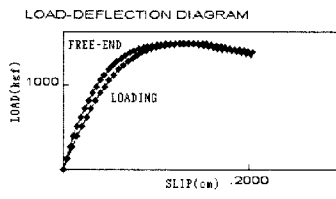


図7(a)荷重-すべり関係[D13]

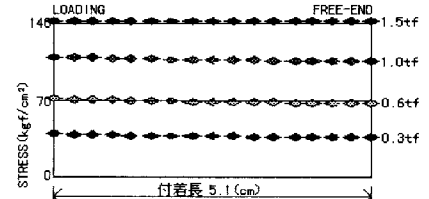


図8(a)付着応力分布[D13]

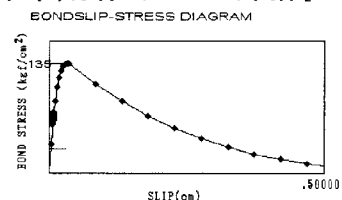


図6(b)付着応力-すべり関係[D25]

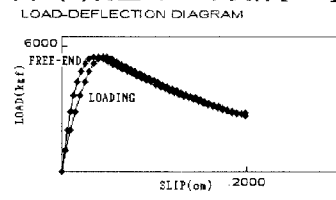


図7(b)荷重-すべり関係[D25]

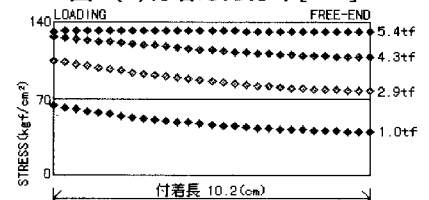


図8(b)付着応力分布[D25]

#### 5.結論

(1)付着応力-すべり曲線を逆解析により決定することによって、実験結果を十分に近似できる荷重-すべり関係を得ることができた。

(2)コンクリートと鉄筋との相対性を考慮するため、アイソパラメトリック付着要素を用いることによって、すべりによる付着応力への影響、鉄筋要素からコンクリート要素への付着要素による応力伝達の様子を表すことができたと考えられる。

(3)本研究では、2DFEMにより付着要素の検討を行ったが、鉄筋を直角方向の影響等を検討するために3DFEMにより検討する必要がある。

【参考文献】[1]児島, 高木, 松尾, 山田, 「コンクリートと連続繊維棒材との付着特性に関する有限要素解析」, 土木学会関西支部年次学術講演概要, V-2-1~2, 1998.5.