

大津市 正会員 山田崇雄 立命館大学大学院 学生員 日比野憲太
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

1.はじめに

鉄筋とコンクリート間の付着特性は、鉄筋の形状と径、コンクリートのかぶり厚さ、周辺コンクリートの応力状態などの影響を受ける。そのため、試験方法の相異により実験結果が大きく異なる。そこで本研究では、引抜き試験(Pull-out 法)および Rilem 法によるはり型付着試験(Rilem 法)を行い、各々の試験結果を用いて有限要素法による逆解析を試み、鉄筋とコンクリート間の応力伝達機構を表現する付着要素を提案する。

2.要素特性

(1)軸方向鉄筋はり要素

軸方向鉄筋は、軸力と曲げの相関関係を考慮した 2 次のアイソパラメトリックはり要素を用いて表現した(図 1)。表 1 に試験材の材料特性を示す。

表 1 試験材の材料特性

u_s : 周長

	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	A_s (mm ²)	u_s (mm)
D13	354	530	2.06×10^5	126.7	40
D25	348	531	2.06×10^5	506.7	80

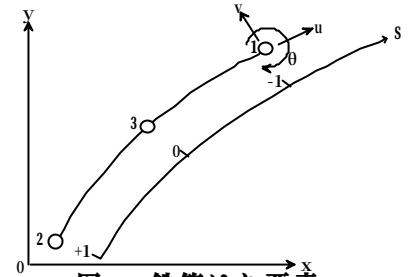


図 1 鉄筋はり要素

(2)鉄筋とコンクリート間の付着要素

付着は 2 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)。中心軸に対し法線方向の相対変位を δ_n 、支圧応力を σ_n 、接線方向の相対変位を δ_t 、付着応力を τ_t とすると式 (1) に示す応力-変位関係が成立する。

$$\begin{bmatrix} s_n \\ t_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{tn} & B_{tt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_n \\ d_t \end{bmatrix} = B_B d_e \quad (1)$$

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。

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

3.解析概要

図 3、4 にそれぞれ Pull-out 法、Rilem 法の要素分割図を示す。本解析では、両試験法とも供試体の対称性を考慮してハーフモデルを用いた。Pull-out 法は、付着区間を自由端側から試験材公称径の 4 倍とし、境界条件として加力端側のコンクリートの X 方向、鉄筋の Y 方向を固定した。さらに、鉄筋加力端側に変位を加えた。Rilem 法は、付着長を試験材公称径の 10 倍とし、付着区間はハーフモデルの中央部分に配置した。境界条件として、支点を Y 方向に、中央部分を X 方向に、軸方向鉄筋は中央部分において X 方向と回転角を固定した。また、供試体中央から 100mm の位置に変位を加えた。

4.解析結果

本解析では付着応力-すべり関係式を図 5 に示すように仮定した。図中の式の係数 (a, b, δ_u, δ_y) を試行錯誤的に変化させ、解析結果から得られる荷重-すべり関係が実験結果と最も一致するケースを見だし、その時の付着応力-すべり関係を解析結果とする逆解析を行った。表 2 に逆解析結果を示す。

キーワード：離散型付着モデル、付着応力-すべり関係、有限要素法

〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 (立命館大学理工学部土木工学科) TEL/FAX 077-561-2085

図 2 付着要素

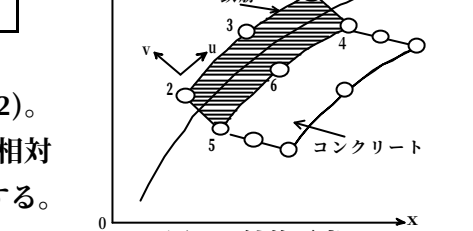


図 2 付着要素

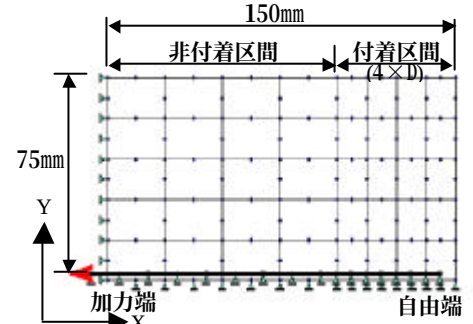


図 3 要素分割図 (Pull out 法)

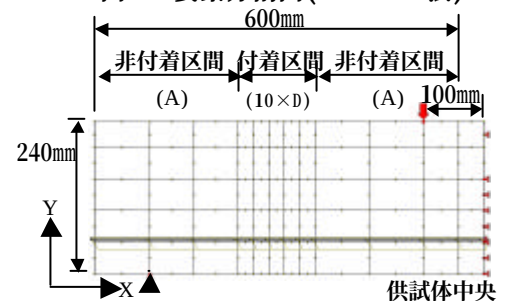


図 4 要素分割図 (Rilem 法)

図 7 に D13 に関する Pull-out 法および Rilem 法の逆解析による付着応力-すべり関係を示す。また図 8、9 に D13 に関する付着応力分布を示す。付着応力-すべり関係に関しては、Rilem 法では鉄筋の降伏が先行するため一概に比較は行えないが、実験方法によるコンクリートの応力状態の差が、逆解析により得られる付着応力-すべり関係の最大付着応力 (τ_0) および τ_0 以降の付着応力の軟化形状に影響を与えることが確認できた。具体的には、Pull-out 法では、 τ_0 の値を大きく見積もり、 τ_0 以降の付着応力が急激に軟化していく傾向が確認できる。一方、Rilem 法では、 τ_0 の値を小さく見積もるものの、 τ_0 以降の付着応力が緩やかに軟化していく傾向が確認できた。以上より、試験法の違いすなわちコンクリートの応力状態の相異により、付着応力-すべり関係が異なることが確認できた。よって、このような応力状態の相異をパラメーターとしてコンクリートの応力状態を解析結果に反映できる、より一般化された付着特性の開発が必要であると考えられる。さらに部材中の付着応力分布に関しては、Pull-out 法に比べて Rilem 法の方が付着長が長かったため、載荷直後は加力側の付着応力が大きくなり、荷重が大きくなるにつれて端部側の付着応力が大きくなる様子が顕著に確認できた。

図 6 荷重－すべり関係(D13)

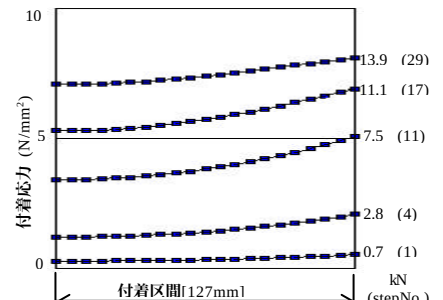


図 9 付着応力分布(RilemD13)

- (1) 試験結果の逆解析を行うことにより、本研究で提案した付着要素を用いて鉄筋とコンクリート間の付着性状を表現できることが確認できた。
- (2) 本研究からコンクリートの応力状態の相異により、付着応力-すべり関係が異なることが確認できた。今後、このような応力状態の相異をパラメーターとして周辺コンクリートの応力状態を解析結果に反映できる、より一般化された要素特性の開発が必要であると考えられる。

1) 児島・高木・日比野・山田：有限要素法によるコンクリートと鉄筋の間の付着特性のモデル化,土木学会関西支部年次学術講演概要,V-3-1,1999.5