

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 〇山田 崇雄

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、コンクリートのかぶり厚さ、コンクリート周辺の応力状態等様々な要因によって影響を受ける。そのため試験方法の相異により実験結果が異なってくる欠点があり、実際の構造物における付着力の働き方と若干異なった状態となっている。そこで本研究では、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、付着要素を提案する。そして引抜き試験(以後 Pullout)および RILEM 法によるはり型付着試験(以後 Rilem)を行い、それぞれの試験結果を用いて有限要素法解析を試み、比較検討を行った。

2. 要素特性

(1) 軸方向鉄筋はり要素

軸方向鉄筋は、2 次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

	$f_t(\text{N/mm}^2)$	$f_c(\text{N/mm}^2)$	$E_c(\text{N/mm}^2)$	$A_s(\text{cm}^2)$	$u_t(\text{cm})$
D13[127mm]	354	530	2.06×10^4	1.267	4.0
D25[254mm]	348	531	2.06×10^4	5.067	8.0

[] : 付着長, u_t : 周長

(2) 鉄筋とコンクリート間の付着はり要素

付着は 2 次の重なったアイソパラメトリックはり要素で表現した(図 2)。

付着要素の中心線に対し法線方向の相対変位を δ_n 、応力を σ_n 、接線方向の相対変位を δ_t 、付着要素を τ_t とすると式(1)に示す応力-変位関係が得られる。

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

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。

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

3. 解析モデル

図 3、図 4 にそれぞれ Pullout、Rilem の要素分割図を示す。本解析ではどちらの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。Pullout は、付着長を自由端側から公称径の 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。Rilem 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、中央から 10cm の位置に変位増分により荷重を加えた。

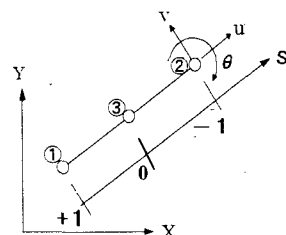


図 1 鉄筋はり要素

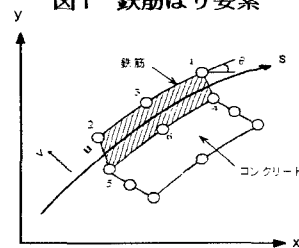


図 2 付着要素

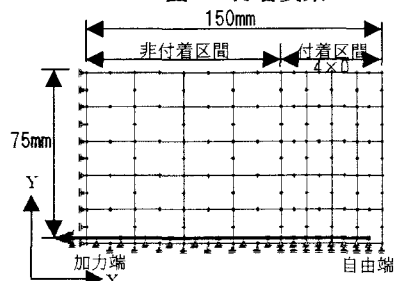


図 3 解析モデル(Pullout)

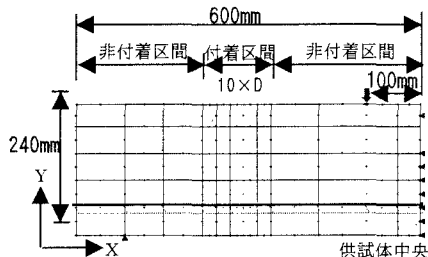


図 4 解析モデル(Rilem)

4. 有限要素法解析結果

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、解析から得られる荷重-変位関係が実験結果と最も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。表2に実験結果を用いて逆解析を行った得られた係数を示す。

表2 解析に用いた係数					
	引抜き試験		はり型付着試験		
	D13	D25	D13	D25-1	D25-2
arb	4.75	4.5	2.9	2.9	2.4
a	3.8	2.5	4.7	2.6	4.5
b	1.2	3.0	0.05	0.2	5
δ_u	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
δ_y	0.15	0.035	0.08	0.13	0.013

$\tau_i = f_t \times arb$ f_t : コンクリート引張強度

図6、図7にそれぞれ試験材 D13、D25 の Pullout および Rilem の逆解析から求められた付着応力-すべり関係を示す。また図8、図9、図10にそれぞれ D25 の Pullout、Rilem において実験結果が顕著に異なる D25-1、D25-2 についての付着応力分布図を示す。

Pullout の付着応力分布は、初期段階では、加力端側の方が自由端側よりも大きくなっている。そして徐々に加力端側と自由端側との差がなくなり最大付着応力に達すると応力分布はほぼ平行となった。その後加力端側よりも自由端側の付着応力が大きくなって全体的に減少していき、徐々に軟化していく様子が確認できる。一方、Rilem では、D25-1 は Pullout と同様な傾向を示した。しかし、Pullout ではコンクリート中に圧縮応力が働くのに対し、Rilem ではコンクリート中に引張応力が働いている。付着強度は圧縮力よりも引張力に大きく依存するため、付着応力-すべり関係に相異が生じたと考える。また、D25-2 では付着応力-すべり関係が、最大付着応力に達した後、急激に低下していくため中央側に付着軟化部分が確認でき、部材中の最大付着応力位置が徐々に端部側に移行する様子が確認できる。

付着応力-すべり関係を両試験で比較すると、D13 での付着応力の初期勾配は、ほぼ同様な傾向を示した。最大付着応力に達した後、Pullout では付着の軟化が起り、試験材が抜け出しながら付着応力が減少する。一方、Rilem では付着の大きな劣化は認められず、良好な付着性状を示した。また、最大付着応力の値にも大きな差ができています。コンクリート内部に圧縮力を受けている Pullout と、引張力を受ける曲げ剛性を考慮した Rilem の差がここで顕著に現れた。D25 の Pullout では、最大付着応力に達した後、急激に付着が軟化している。これに対し Rilem の D25-1 では、徐々に付着応力が減少している。また D25-2 では、最大付着応力以降軟化しているが、初期段階の傾向、最大付着応力の相異から付着性状が異なることが確認できる。

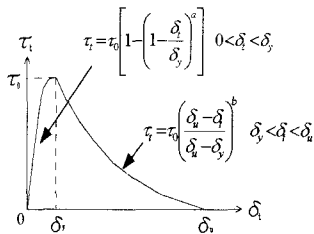


図5 付着応力-すべり関係

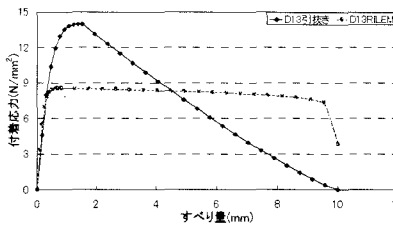


図6 付着応力-すべり関係[D13]

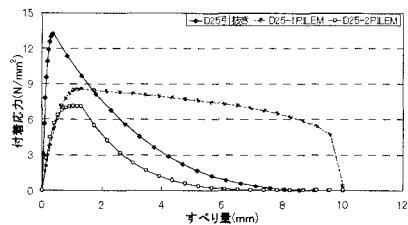


図7 付着応力-すべり関係[D25]

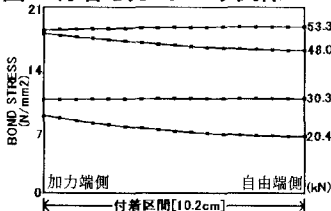


図8 付着応力分布(Pullout D25)

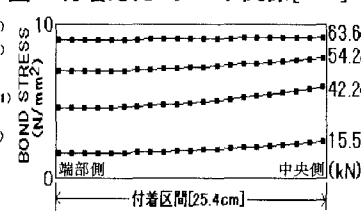


図9 付着応力分布(Rilem D25-1)

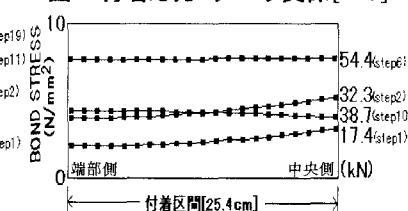


図10 付着応力分布(Rilem D25-2)

5. 結論

- (1)本解析から引抜き試験と RILEM 法はり型付着試験それぞれの付着特性を表現できたと考える。
- (2)両試験の比較により、RC 構造物の構造全体の挙動に重要な役割を果たしている付着作用を用い、今後の様々な構造解析への発展が可能であると考えられる。
- (3)本研究からコンクリートの応力状態の相異により、見かけの付着応力-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適切に表現できる要素特性の開発が必要であると考えられる。