

直角方向の補強筋および拘束圧がコンクリート中の異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響

東京工業大学大学院 学生会員 ○森 誠  
 東京工業大学大学院 正会員 松本 浩嗣  
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

RC 部材において、定着部における鉄筋の付着が十分でない状態で引張力が作用すると、定着破壊が生じ、部材の耐荷力が大幅に減少する。そのため、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] では、十分に定着を確保するために直角方向の補強筋を配置することを推奨している<sup>1)</sup>。また、支点部には荷重の際、鉛直方向の支点反力が拘束圧として作用する。そのため、支点付近の引張鉄筋の付着性状は支点付近以外のものとは異なると考えられる。そこで本研究では、実建造物の定着部を模擬した試験体に直角方向の補強筋および拘束圧を導入したコンクリート中の異形鉄筋のはり型付着試験を実施することで、その付着性状を検討した。

2. 実験概要

RC はりの定着部を模擬するため、図1に示すはり型付着試験装置を作製した。荷重点と支点の間に働く曲げモーメントにより、試験区間の鉄筋に引抜き力が作用する。試験区間の詳細を図2に示す。試験区間供試体の断面は150mm×300mmである。また、試験装置の特性上、引抜き力の作用点の鉄筋に局所的な曲げが発生する可能性があるため、荷重端から50mmのアンボンド区間を設けた。定着長は350mmである。供試体を用いたコンクリートの設計基準強度は30MPaとした。軸方向鉄筋には、D16の異形鉄筋を使用した。本実験の実験ケースを表1に示す。実験パラメータは、直角方向の補強筋の径、間隔と、拘束圧である。拘束圧は図3に示すようにPC鋼棒により鉛直方向に導入した。

荷重試験における計測項目は、軸方向鉄筋のひずみおよび自由端すべりである。鉄筋のひずみゲージは、図2に示すように50mm間隔で貼付し、試験区間より中央部側に100mm離れた位置にも貼付した。自由端すべりは変位計により計測した。

3. 実験結果

3.1 荷重試験結果

荷重試験結果を表1に示す。全ての実験ケースにおいて、アンボンド区間において軸方向鉄筋が降伏することにより荷重試験を終了した。最大引抜き力は、鉄筋の降伏強度に断面積を乗じることで算出した。

3.2 すべりおよび付着応力

すべりは、図2に示すように、xを引抜き力の作用点からの距離として、着目する鉄筋位置から自由端(x=350mm)までひずみ分布を積分することにより算出した。ここで、ひずみ分布は3次関数により近似した。自由端のすべり量は無視できるほど小さいことを確認しているため、すべりSは式(1)で求められる。

$$S = \int_x^{350} \varepsilon(x) dx \tag{1}$$

ここで、 $\varepsilon(x)$ は3次関数で近似したひずみ分布である。

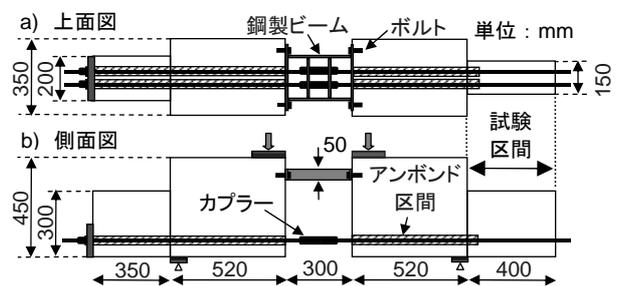


図1 はり型付着試験装置概要

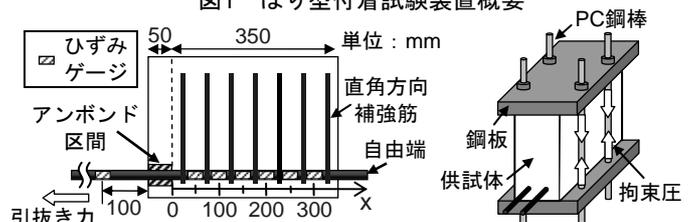


図2 試験区間の詳細

図3 拘束圧導入方法

表1 実験パラメータおよび荷重試験結果

供試体名	直角方向補強筋			拘束圧 $R_f$ [MPa]	荷重試験結果	
	D [mm]	$s_p$ [mm]	$r_w$ [%]		破壊モード	最大引抜き力 [kN]
T0-0-R0	0	0	0	0	鉄筋降伏	67.7
T10-50-R0	10	50	1.9	0		
T10-150-R0	10	150	0.63	0		
T16-100-R0	16	100	2.6	0		
T16-150-R0	16	150	1.8	0		
T0-0-R5	0	0	0	5		
T0-0-R7.5	0	0	0	7.5		

D: 鉄筋径,  $s_p$ : 鉄筋間隔,  $r_w$ : 鉄筋比

キーワード 異形鉄筋, 付着応力, すべり, ひずみ, 直角方向補強筋, 拘束圧

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-17

か付着応力 $\tau$ は、式(2)に示すように、着目する鉄筋の位置におけるひずみ勾配  $d\varepsilon/dx$  を用いて求めることができる。

$$\tau = \frac{ED}{4} \cdot \frac{d\varepsilon}{dx} \quad (2)$$

ここで、 $E$ は鉄筋の弾性係数、 $D$ は鉄筋径である。

### 3.3 付着応力-すべり関係

図4に付着応力-すべり関係を示す。図中に示す記号 $\triangle$  $\diamond$  $\square$  $\circ$ は、各鉄筋位置における付着応力-すべり関係である。図4に示される点線は、式(3)で示される島ら<sup>2)</sup>が提案した付着応力-すべり関係式である。

$$\tau = 0.9f_c^{2/3} \left\{ 1 - \exp(-40(S/D)^{0.6}) \right\} \quad (3)$$

T0-0-R0の実験値と式(3)を比較すると、付着応力の実験値が式(3)よりも小さいことが分かる。これは島らの式(3)が、マッシュなコンクリート供試体からの引抜き試験に基づくものであるのに対し、本研究ではコンクリートのかぶり厚が42mmと島らの研究<sup>2)</sup>より小さいことが原因と考えられる。

また、T0-0-R0以外の実験ケースの付着応力-すべり曲線は、T0-0-R0と比較して上側にシフトしていることが分かる。すなわち、直角方向の補強筋や拘束圧の影響により、付着応力が增大している。

### 3.4 付着応力-すべり関係の定式化

本研究では、式(4)で表される式を基本とする。

$$\tau = b_c \cdot b_r \cdot b_r \cdot \left[ 0.9f_c^{2/3} \left\{ 1 - \exp(-40(S/D)^{0.6}) \right\} \right] \quad (4)$$

ここで、 $b_c$ :コンクリートのかぶり厚の影響を表す係数、 $b_l$ :直角方向の補強筋の影響を表す係数、 $b_r$ :拘束圧の影響を表す係数、である。

まず、係数 $b_c$ を、T0-0-R0の実験結果と式(4)が一致するように定める。T0-0-R0では直角方向の補強筋および拘束圧の影響がないため、 $b_l = b_r = 1.0$ とすることができる。このとき、 $b_c = 0.8$ とすることで、実験結果に対して良好な近似曲線を得ることができた。

次に、直角方向の補強筋、拘束圧の影響を表す係数 $b_l$ 、 $b_r$ を定める。図5、図6に示すように、直角方向補強筋の鉄筋比 $r_w$ と $b_l$ 、拘束圧をコンクリートの圧縮強度で除した値 $R_f/f'_c$ と $b_r$ の間には線形関係があることが認められた。そこで、図5および図6の関係をそれぞれ $r_w = 0$ で $b_l = 1$ 、 $R_f = 0$ で $b_r = 1$ となる境界条件のもとで線形近似し、式(5)および式(6)を得た。

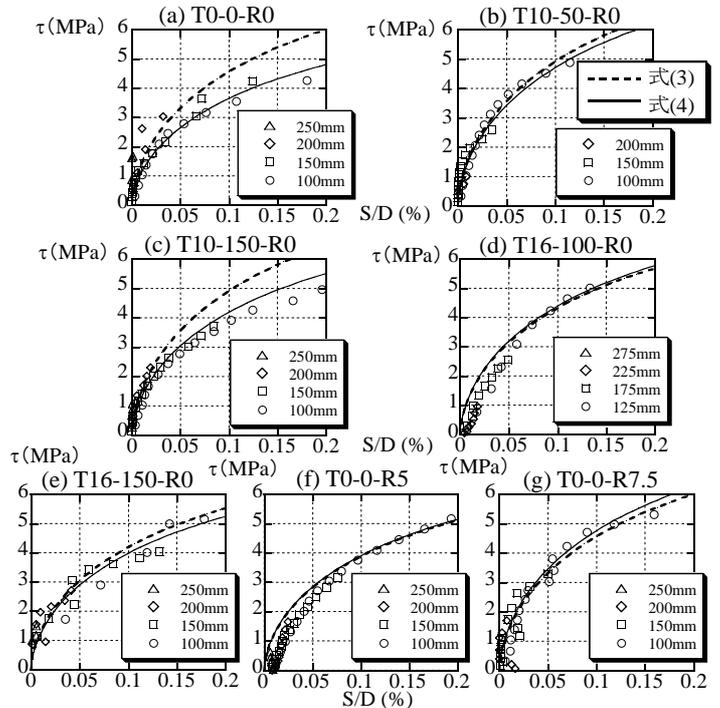


図4 付着応力-すべり関係

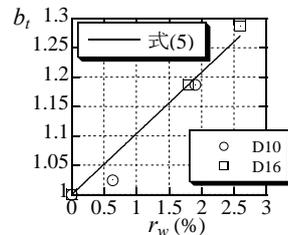


図5  $r_w$ と $b_l$ の関係

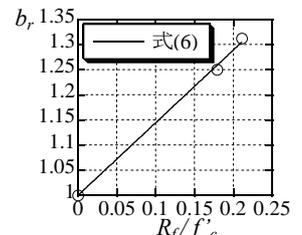


図6  $R_f/f'_c$ と $b_r$ の関係

$$b_l = 0.104 \times r_w + 1 \quad (|R| = 0.98260) \quad (5)$$

$$b_r = 1.44 \times R_f/f'_c + 1 \quad (|R| = 0.99880) \quad (6)$$

図4中の実線は、式(4)で計算された付着応力-すべり関係である。これらの式を用いることで、既往の付着応力-すべり関係式よりも実験結果を良好に表すことができた。

## 4. 結論

- (1) 直角方向の補強筋比や拘束圧が大きくなるほど、異形鉄筋の付着力は大きくなる。
- (2) 既往の付着応力-すべり関係式に補正係数を導入することで、直角方向の補強筋および拘束圧の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力-すべり関係式を近似した。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，2007.4
- 2) 島 弘，周 礼良，岡村 甫：マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係，土木学会論文集，第378号，V-6，pp.165-174，1987.2