

# 高さおよび作用力方向の異なる鉄筋と コンクリートの付着挙動

高知工科大学 工学部 社会システム工学科 1120297 片田 翔人

鉄筋のコンクリートへの定着は、鉄筋コンクリートが成立するために重要である。鉄筋軸に対して垂直に打ち込んだものは、水平に打ち込んだものよりも付着力が低いことが既往の研究から明らかにされている。これは、鉄筋がブリーディングの影響を受けているからである。しかし同じコンクリートに複数の異形鉄筋を打設した場合、付着力がどのようになるのかは明らかになっていない。そこで本試験では、一つの試験体に高さおよび作用力方向の異なる鉄筋とコンクリートの付着挙動を調査した。

**Key Words** : 異形鉄筋, 付着応力, すべり, 付着応力-すべり関係, ブリーディング, ブリーディング率, 作用力方向, 鉄筋の位置

## 1. はじめに

鉄筋に引張力が働く部材あるいは接合部の変形量は、鉄筋とコンクリート間のすべり特性に支配される。鉄筋が引張力を受けた場合に生じる鉄筋とコンクリートとの間のすべりの大きさは鉄筋の軸方向で変化する。この変化を表現するための基本的な指標として、鉄筋軸に沿った各位置での局所的なすべり量が用いられ、通常はその局所位置における鉄筋とコンクリート間のせん断伝達力である付着応力との関係として表わされる。

横方向に配置されている鉄筋は引張力を受け、縦方向に配置されている鉄筋よりも付着応力が小さくなる。この要因として考えられるのがブリーディングの影響である。コンクリートが打ち込まれると、材料分離が起こる。それに伴い、コンクリート中の水分が上昇する。この影響によって鉄筋の下側に水が溜まり、乾燥して蒸発するとそこが空隙となる。したがって、構造物の変形などを検討する場合にはブリーディングの影響による付着応力の低下を考慮しなければならない。

## 2. 現状と問題点

大塚が行った試験の結果からブリーディングの影響により最大付着応力が変わる事が分かっている。

しかし、同じ試験体に複数の定着長、作用方向、鉄筋の打ち込み高さがことなる場合はまだ明らかに

なっていない。そこで本実験は、一つの試験体に縦方向と横方向に打ち込まれた複数の鉄筋の引抜き試験を行い、それぞれの鉄筋の付着応力-すべり関係を調査することを目的として行った。

## 3. 実験

### 3.1 実験条件

実験の要因は、垂直と水平に配置された鉄筋の付着力ある。コンクリートの打ち込みは、鉄筋軸に対して、垂直と水平である。

### 3.2 材料

#### (1) 鉄筋

ひずみ分布を詳細に測るためには、ひずみゲージを密に貼る必要がある。しかし、細い鉄筋にひずみゲージを密に貼ると、コーティングやリード線などが付着に影響を及ぼす可能性がある。そこで、実験の作業性を考慮した上でゲージを密に貼ることのできるD25(公称直径 $\phi=25.4\text{mm}$ )を用いた。

また、ひずみゲージを貼付するに当たって、断面を削らなくてもよいものとするために、JIS G 3112に適合する側面にふしのないネジふし鉄筋を用いた。使用した鉄筋にひずみゲージを貼付した後の様子を図-1に示す。鉄筋の材質はSD345である。

## (2) コンクリート

コンクリートの配合、ブリーディング率および圧縮強度試験の結果を表-1 に示す。なお、ブリーディング試験は、JIS A 1123 に準じて行った。

### 3.3 試験体

#### (1) 形状寸法

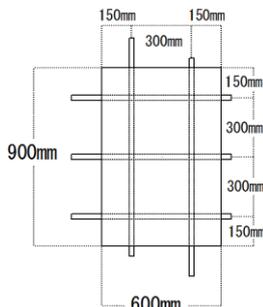
試験体は、角形のコンクリートブロックに鉄筋を埋め込むものとした。割裂ひび割れの発生や割裂破壊をさせないようにするために、コンクリートブロックの断面は十分に大きいものとした。

鉄筋の数は、作用力方向が上部と下部の縦打ち鉄筋の 2 本と高さの違う 3 本の横打ち鉄筋の合計 5 本である。定着長に関して、土木学会コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>による定着長の設計値は式(1)のように  $22.5\phi$  ( $\phi$  は鉄筋直径) となるため、垂直方向に打ち込んだ鉄筋のブロック高さは、900mm として、定着長を 35.4 $\phi$  だけ取った。次に水平方向に打ち込んだ鉄筋のブロック高さは 600mm として、定着長を 23.6 $\phi$  だけ取った。試験体の概略を図-1 に示す。

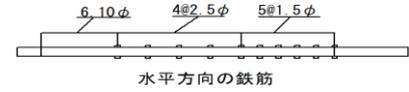
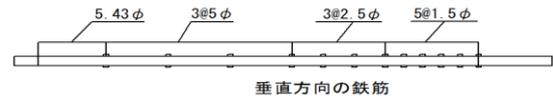
$$l = \alpha \frac{f_y}{4f_{bo}} \phi = 0.6 \frac{405}{4 \times 0.28 \times 30^{2/3}} \phi = 22.5 \phi \quad (1)$$

ブロックの幅と奥行きは 600mm と 500mm の長方形であり、かぶりは 150mm にして、鉄筋の間隔は 300mm としている。

鉄筋定着端(自由端)のすべりを測定するために、鉄筋端部をコンクリートブロック表面に露出させた。



(a) 試験体寸法



(b) ひずみゲージの貼付位置

図-1 試験体寸法およびひずみゲージ貼付位置

#### (2) ひずみゲージの貼付

鉄筋軸に沿ったひずみ分布を測るために、鉄筋にひずみゲージを貼り付けた。ひずみゲージの貼付位置を図-1 に示す。垂直方向の鉄筋に、荷端から鉄筋直径の 7.5 倍 (7.5 $\phi$ ) までは、1.5 $\phi$  間隔 (38.1mm) で 5 か所に貼付した。荷端から 7.5 $\phi$  以降は、2.5 $\phi$  間隔で 3 か所、5 $\phi$  間隔で 3 か所ずつにひずみゲージを貼付した。水平方向の鉄筋には、1.5 間隔で 5 か所に貼付し、7.5 $\phi$  以降に 2.5 $\phi$  間隔に 4 か所にひずみゲージを貼付した。

ゲージを貼り付ける際、ふしのない部分を紙やすりを用いて研磨し、ゲージを瞬間接着剤で貼り付けた。ゲージを貼付後、リード線を結束線で鉄筋に固定し、上からブチルゴム系テープでコーティングした。さらに P-2 接着剤でブチルゴム系テープから出ているリード線と鉄筋の間をコーティングした。

### 3.4 荷重

荷重側のコンクリート面を拘束しないようにするために、コンクリートブロック上面の両端部に荷重板として鉄板を置き、その上に直角方向に鉄筋を挟むように荷重梁として H 鋼を設置した。試験体から出ている鉄筋に中空型ジャッキを通し、ロードセルを設置し、鉄板とロックナットを使って固定し

表-1 コンクリートの配合とブリーディング試験の結果および圧縮強度

圧縮強度 (Gpa)	スランプ (cm)	ブリーディング率 (%)	C (%)	W (%)	配合表 kg/m <sup>3</sup>					
					S		G		フライアッシュ	減水剤
					①	②	①	②		
34.5	17	1.27	293	175	470	391	459	462	32.5	3.64

た. 一方向(引張のみ)の载荷とし, 载荷荷重, ひずみおよび自由端すべりを測定した。

#### 4. 考察

##### (1) 各鉄筋の付着応力-すべり関係

各鉄筋の付着応力-すべり関係の結果と、大塚の実験結果からのブリーディング率と最大付着応力の低下を図-2 から図-7 に示す。図中の赤の実線で示す曲線が式(2)で表わされる鉛直鉄筋を上方に引っ張るときの付着応力-すべり関係である。

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

ここで,  $\tau$  : 各点における局所付着応力 (MPa)

$f_c$  : コンクリートの圧縮強度 (MPa)

$S$  : 鉄筋とコンクリートの相対変位 (mm)

$\phi$  : 鉄筋の直径 (mm)

である。

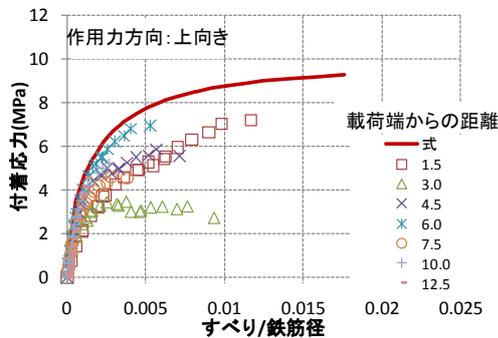


図-2 作用力方向が上向き縦打ち試験体の付着応力-すべり関係

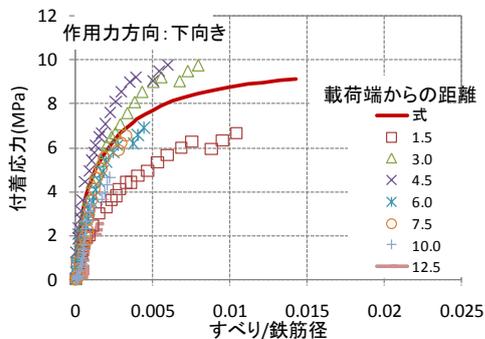


図-3 作用力方向が下向きの縦打ち試験体の付着応力-すべり関係

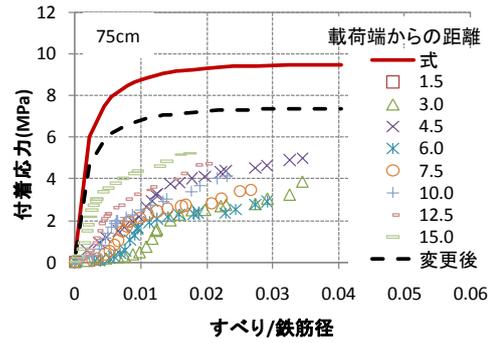


図-4 下部から75cmの高さに位置する横打ち試験体の付着応力-すべり関係

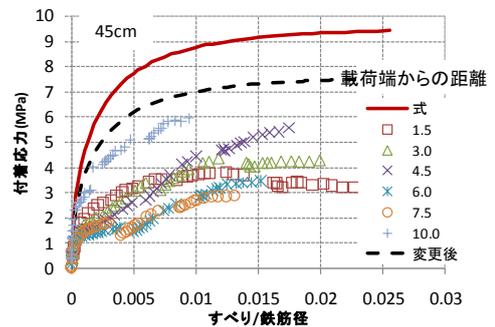


図-5 下部から45cmの高さに位置する横打ち試験体の付着応力-すべり関係

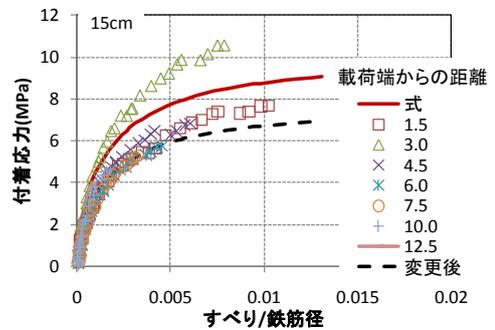


図-6 下部から15cmの高さに位置する横打ち試験体の付着応力-すべり関係

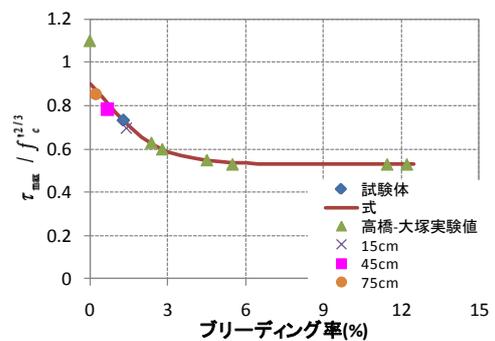


図-7 ブリーディング率と最大付着応力との関係  
図-7の青でプロットしているのが、高

橋、大塚の実験結果であり、青、オレンジ、ピンク、紫でプロットしているのが本試験での試験体のブリーディング率である。この値を2本の縦打ち鉄筋で用いた。また横打ち鉄筋の高さ別でプロットしており、その係数を用いた。赤で実線しているのが、式(2)である。

$$\tau = \tau_{\max} \left( 1 - e^{-40(s/\phi)^{0.6}} \right) \quad (3)$$

ここで、 $\tau_{\max}$  : 最大付着応力 (MPa)

$Br$  : ブリーディング率 (%)

黒の破線で示す曲線が、式(2)の最大付着応力を実験値に合わせて変更した付着応力-すべり関係式である。

図-2から図-6までが本実験での付着応力とすべり関係の結果である。図-7は高橋と大塚のブリーディング率と最大付着応  $\tau_{\max}$  との関係をまとめたものに本試験でのブリーディング率の結果を示したものである。これを式(4)に示す。

$$\tau_{\max} = (0.53 + 0.37e^{-0.44Br^{1.3}}) f_c^{1/2/3} \quad (4)$$

である。

今回の実験で、横打ち鉄筋の高さ45cmと75cmは本来ならば黒い破線に合わさるはずが大きく外れてしまった。一方、高さ45cmの水平鉄筋は高橋と大塚の実験で載荷点に近い1.5と3.0を除いた4.5から

12.0には合わさっている。これは、載荷点付近は付着応力が小さいにもかかわらず、すべりが大きいという高橋の定義に一致している。

## 5. 結論

本研究の結果から以下の結論を得た。

- (1) 高さの違う横打ち鉄筋は、下部に近い方が付着力は強い。
- (2) 縦打ち鉄筋は作用力方向が下向きの方が強い。

## 謝辞

供試体の作製や実験の実施にあたっては、高知工科大学 COE 職員の宮地日出夫氏をはじめ、コンクリート研究室の皆さんに協力して頂きました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 高橋 正典：鉄筋とコンクリートの付着力の低下に及ぼす位置とブリーディングの影響，高知工科大学，学位論文，2008
- 2) 2002年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，土木学会，2002.3
- 3) 大塚晋也，高橋正典，島 弘：鉄筋とコンクリートの付着応力-すべり関係に及ぼすブリーディングの影響，高知工科大学，学位論文，2009