# 論文 異形鉄筋のフック定着部における鉄筋軸方向に沿った付着特性

# 福重 悟<sup>\*1</sup>·島 弘<sup>\*2</sup>

要旨: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な事柄である。近年の耐震 規準による鉄筋量の増大や使用する鉄筋の太径化によって,定着が十分に出来ないという問題が起こってい る。定着には鉄筋端部をフックとすることが有効であるが,太径鉄筋や高強度鉄筋におけるフックの定着性 能は明らかにされていない。そこで,本研究では,フック定着部における鉄筋軸方向に沿った付着応力分布 を測定した。実験結果から,フックの形状に関わらず付着応力が大きくなるのは曲げ開始点から45度程度の 範囲であり,フックの大きさを現行の規定よりも小さくできる可能性があることが分かった。 キーワード:付着,フック,定着,異形鉄筋,付着応力,標準フック

#### 1. はじめに

鉄筋コンクリートにおいては、外力に対して鉄筋とコ ンクリートとが一体となって働く必要がある。そのため、 外力が作用したときの鉄筋端部の定着はきわめて重要 である。たとえば、片持ばりの固定端にははりの最大曲 げモーメントが作用しているので、一般に主引張鉄筋に は、大きな引張応力が作用している。この鉄筋は壁や柱 のコンクリート中に十分延長されていない場合には抜 け出してしまい、部材の破壊につながる。

一方,近年,構造物の大型化や阪神大震災をきっかけ とした耐震規準の強化によって鉄筋量が増え,鉄筋の端 部処理である定着が十分にできないという問題が起こ っている。

そこで、本研究は、定着長を短くできるフック定着に 関して、フック定着における規定の緩和をすることの基 礎的な資料を得ることを目的としたものである。標準フ ックである直角フックと半円形フックに引張力が作用 した時の鉄筋軸に沿ったひずみを測定し、フックにおけ る付着応力の分布等から規定緩和の可能性を考察した。

### 2. 現状と問題点

鉄筋端部は、コンクリート中に十分埋め込んで、鉄筋 とコンクリートとの付着力によって定着するか、フック を付けて定着するか、または機械的に定着しなければな らないとされている<sup>1)</sup>。

引張鉄筋の定着端にフックを設けた場合には、フック の部分の鉄筋が定着長として加わったり、フックの内側 のコンクリートの支圧による力の伝達を期待できるの で、その分、定着長を小さくすることができる。土木学 会コンクリート標準示方書では、簡単にするため、各国 の基準等を参考にし、標準フックを規定して、標準フッ クを設けた場合には定着長を一律に鉄筋直径の10倍(10

\*1 高知工科大学 工学部社会システム工学科 (正会員) \*2 高知工科大学 工学部社会システム工学科教授 工博 (正会員)

### 3. 実験

# 3.1 実験条件

試験体の実験条件を表-1に示す。実験の要因は、フ ックの形状である。フックの形状としては、標準フック とされる「直角フック」および「半円形フック」とそれ らと比較するための折り曲げずに真っ直ぐ伸ばした「直 筋」とした。

なお,付着割裂ひび割れや局所的な破壊を防ぐために, コンクリートブロック断面を十分に大きくし,載荷端に は非定着部を設けた。

試験体<br/>番号フック形状試験時コンクリート<br/>圧縮強度 (MPa)1直筋28.42直角フック29.33半円形フック31.3

# 表一1 実験条件

# 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を妨げ る可能性がある。そこで、実験が実施できる範囲で最も 太い D38 (公称直径 φ = 38.1mm) を用いた。

また,ひずみゲージを貼附するに当たって,断面を削 らなくて良いものとするために,JISG3112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附した後の様子を図-1に示す。鉄 筋の材質はSD345であり,鉄筋の特性を表-2に示す。 試験に用いた鉄筋のロットは同じであるが,鉄筋の応力 とひずみは各試験体の引張荷重と非定着部のひずみか ら算出しているので,特性値は試験体ごとに異なったも のとなる。



図-1 使用した鉄筋とひずみゲージ

試験体	ヤング係数 (GPa)	降伏点 (MPa)	
直筋	200	417	
直角フック	205	424	
半円形フック	210	424	

表-2 鉄筋の特性

# (2) コンクリート

鉄筋とコンクリートとの付着にはコンクリートのブ リージングが影響することが知られている。そこで、出 来るだけブリージングを少なくするために固練りのコ ンクリートとした。コンクリートの示方配合、スランプ 値およびブリージング試験の結果を**表-3**に示す。なお、 ブリージング試験は、JIS A 1123 に準じて行った。

### 3.3 試験体

# (1) フックの形状

フックの形状と寸法は、図-2に示すように、標準フ ックとして土木学会コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>に規定さ れる最小限のものと同じものとした。すなわち、直角フ ックは、鉄筋の端部を 90°折り曲げ、折り曲げてから鉄 筋直径の 12 倍をまっすぐ延ばした。半円形フックは、 鉄筋の端部を半円形に 180°折り曲げ、半円形の端から 鉄筋直径の4倍をまっすぐ延ばしたものとした。フック の曲げ内半径 r も規定の最小限である 2.5 ¢ に最も近い ものとした。



# (2) 試験体の形状寸法

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。試験体の概略を図-3に示す。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。ブロックの寸法は、高さが 900mm および奥行きが 500mm であり、幅はフックの寸法に応じて変化させた。 また、コンクリートブッロク端部で付着応力が小さくな る影響を無くすために、載荷端には非定着部を設けた。

フックを有する試験体では、載荷端からの非定着長は 約 10  $\phi$  とし、折り曲げ開始点まで 4  $\phi$  の定着部を取った。 直筋の試験体については、標準フックを設けると定着長 を 10  $\phi$  減じてもよいとされているために、今回はフック 試験体における折り曲げ開始点以降に 11  $\phi$  の直筋部を 有するように全体の定着長を 15  $\phi$  とした。土木学会コン クリート標準示方書<sup>1)</sup>による定着長の設計値は式(1)のよ うに 23  $\phi$  であり、実験は設計値に較べて厳しいものであ る。直筋試験体の非定着部は約 9  $\phi$  である。

$$l = \alpha \frac{f_y}{4f_{ba}} \phi = 0.6 \frac{424}{4 \times 0.28 \times 30^{2/3}} \phi = 23\phi$$
(1)

鉄筋定着端(自由端)のすべりを測定するために,必 要定着部以降を非定着として鉄筋をコンクリートブロ ック表面に露出させた。

#### (3) ひずみゲージの貼附

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。ひずみゲージの貼附位置を図-3に示す。鉄筋はふしのない面を内外側にして折り曲げ たため,ひずみゲージの貼附は曲げ部の内外面である。 ひずみゲージの間隔は,60mm から95mm の範囲である

表-3	コンクリー	トの配合およびフレ	<b>レッシュコンク</b>	リー	トの試験結果
-----	-------	-----------	----------------	----	--------

設計強度 (MPa)	スランプ	ブリージ	水セメン	細骨材率	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
	(cm)	ング率 (%)	ト比 (%)	(%)	水 W	セメント C	細骨材 $S$	粗骨材 <i>G</i>	減水剤 SP
30	4.5	1.8	51.0	44.2	156	306	820	1062	3.06



図-3 試験体およびひずみゲージ貼附位置

が, 試験体 No.1 と No.3 の自由端においては, それぞれ 1.5 ¢ および 1.0 ¢ とした。非定着部においてもその中央 部にゲージを貼附した。

ひずみ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。 ゲージを貼り付けた後,リード線を細い針金で鉄筋に固 定し,上からブチルゴム系テープでコーティングした。

# 3.4 載荷

試験体から出しておいた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 固定した。コンクリートブロックに反力による曲げ応力 が発生するのを防ぐために、載荷板や載荷梁は用いずに、 図-4に示すように、中空型ジャッキを直接ブロックに 設置した。ジャッキの外径は150mmである。

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



図-4 載荷方法

# 4. 結果および考察

# 4.1 ひずみ分布

直筋試験体のいくつかの荷重下におけるひずみ分布 を図-5に示す。このひずみは、鉄筋の裏表に貼ったひ ずみゲージによる測定値の平均である。荷重の増加とと もにひずみが内部に伸展していることが分かる。



直角フック試験体および半円形フック試験体におい ては、ひずみゲージを曲げ部の内側と外側に貼ったため に、鉄筋に引張力が作用すると鉄筋が曲がろうとするこ とによって、裏表のひずみゲージの値に差が出る。一例 として、直角フック試験体における載荷端応力が 403MPa のときの鉄筋の内側と外側のひずみ分布を図-6に示す。横軸は、鉄筋を真っ直ぐに伸ばした時の荷重 端からの距離である。折り曲げ開始点 (x=4 φ) 近傍で は、内側のひずみが外側よりも大きく、折り曲げ終了点 (x=8.72 φ) 近傍では、外側のひずみが内側よりも大き くなっている。すなわち、引張力によって、曲げ加工部 が内側に変形している結果である。



図-6 直角フック試験体における内外のひずみ分布

直角フックおよび半円形フック試験体におけるひず み分布を図-7および図-8に示す。これらのひずみは, 鉄筋の内側と外側のひずみの平均であり,鉄筋の軸ひず みを表している。直角フックおよび半円形フックでは, 曲げ部においてひずみ分布の傾きが大きくなっている。



図-7 直角フック試験体の軸ひずみ分布



図-8 半円形フック試験体の軸ひずみ分布

# 4.2 自由端すべり

各試験体において,いずれの大きさの荷重でも自由端 でのすべりは無かった。

# 4.3 鉄筋応力分布

荷重端の鉄筋が降伏する直前における各試験体内の 鉄筋応力の分布を図-9に示す。この図は、鉄筋軸に沿 った各位置までにおける定着力の負担量を示すもので ある。載荷端から5 $\phi$ の範囲で定着力の約半分が負担さ れ、10 $\phi$ では直筋で約80%、直角フックおよび半円形フ ックでは約90%が負担されることを示している。さらに、 直筋、直角フックおよび半円形フックにかかわらず、載 荷端から15 $\phi$ の位置で鉄筋にはほとんど引張力が作用 しなくなっている。

現在のフック定着の規定としては、例えば土木学会コ ンクリート標準示方書<sup>1)</sup>では、標準フックは直筋の10¢ に相当し、SD390に対して、直角フックで折り曲げ開始 点から17.5¢以上、半円形フックで折り曲げ開始点から 15¢以上長くするとされているが、この実験結果から、 標準フックを直筋10¢分とする場合には、折り曲げ終了 点以降の長さを短くすることができる可能性を示唆し ている。



# 4.4 付着応力分布

### (1) 各試験体の付着応力分布

各試験体の付着応力分布を図-10から図-12に示す。 付着応力は、ひずみの測定位置において、近接3点のひ ずみを通る2次放物線を求め、その傾きから式(2)を用い て計算した<sup>2)</sup>。

$$\tau = \frac{ED}{4} \frac{d\varepsilon}{dx} \tag{2}$$

ここで, τ : 付着応力 (N/mm<sup>2</sup>) E:鉄筋のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>) D:鉄筋の直径 (mm)

*d* ε /*dx*: ひずみ分布の傾き (1/mm)



図-10 直筋試験体の付着応力分布



図-11 直角フック試験体の付着応力分布



直筋試験体においては、荷重の増加とともに試験体内 部における付着応力が大きくなり、最終的には自由端に おいても付着応力が生じる結果となっている。直角フッ クおよび半円形フック試験体においても直筋試験体と 同様に、荷重の増加とともに試験体内部の付着応力が大 きくなっている。しかし、フックを有する試験体では、 付着応力が曲げ部において特に大きい。半円形フックで は,折り曲げ開始点から 45 度の範囲の付着応力が最終 的には荷重端部よりも大きくなっている。

### (2) フック形状の影響

載荷端における鉄筋ひずみが 1000 μ, 1500 μ および鉄 筋応力が約 400MPa のときの付着応力分布をそれぞれ図 -13 から図-15 に示す。なお,試験時材齢によってコ ンクリート強度が異なるために,付着応力をコンクリー ト圧縮強度の 2/3 乗で除したものを縦軸としている<sup>3)</sup>。





図-14 載荷端ひずみが 1500 µ の時の付着応力分布



図-15 載荷端応力が約 400MPa の時の付着応力分布

載荷端ひずみが 1000 μ と降伏強度の半分程度のとき には、直筋に比べて直角フックおよび半円形フックでは 折り曲げ開始点から 45 度の範囲よりも自由端側で付着 応力が小さくなっており、逆に荷重端近傍の直線部分で の付着応力が大きくなる結果となっている。

載荷端ひずみが 1500 µ のときには,両フックの付着応 力は,フックの折り曲げ開始点から約 60 度の位置で直 筋の付着応力と逆転している。また,その位置よりも自 由端側では,直角フックと半円形フックの付着応力は同 じ分布形となっている。

載荷端応力が約 400MPa という降伏直前の荷重におい ては、フックの折り曲げ開始点から約 45 度の範囲で付 着応力が特に大きくなっている。両フックと直筋の付着 応力が逆転する位置も載荷端ひずみが 1500 µ のときよ りもやや奥に入っている。また、その位置よりも自由端 側では、この荷重においても直角フックと半円形フック の付着応力は同じ分布形となっている。

以上のことより,フックの形状にかかわらず,フック の付着応力が大きくなるのは曲げ開始点から 45 度程度 の範囲であり,それよりも自由端側では付着応力分布に 差はないと言える。

また, 直角フックおよび半円形フック試験体では自由 端に近づくにつれて,付着応力が小さくなっていること から、折り曲げ終了点以降の必要長さについて検討する。 設計においてフックを直筋のどれだけに相当させるか によって、フックに対する要件は異なってくる。ここで の前提条件は、土木学会コンクリート標準示方書で示さ れている標準フックを直筋 10φに相当させるときの条 件とする。今回の実験では直筋試験体は折り曲げ開始位 置から11¢の定着長を有しているため、その直筋と比較 することはフックにとって少し厳しい条件である。荷重 端における引張力が大きくなると、直筋の自由端におい ても付着応力が発生するようになる。そこで、フックに おいても直筋の自由端における付着応力と同じ付着応 力発生を許すとすると、図-13から図-15を見て分か るように、フックにおける付着応力は載荷端から約 12 ~13々において直筋と同じであり、この位置までが必要 長さとなる。直角フックにおいて、この位置を 12.5 φ と

すると、この位置は折り曲げ終了点から自由端方向に3 φの距離であり、現行の規定の12φよりも9φだけ短く できる結果となる。半円形フックにおいて、この位置を 12φとすると、この位置は折り曲げ終了点から手前に3 φの距離である。ただし、これらの位置で鉄筋を打ち切 ってしまうと、鉄筋端部での回転拘束が無くなるなどの 影響によって定着力が低下する可能性も考えられるの で、必要鉄筋長についてはさらなる検討が必要である。

# 5. 結論

本研究の実験結果から以下の結論を得た。

(1) 直角フックならびに半円形フックという形状にか かわらず、フックによる付着応力が大きくなるのは曲げ 開始点から 45 度程度の範囲であった。

(2) フックの曲げ開始点から 45 度程度の点から自由端 側ではフックの形状にかかわらず付着応力分布に差は ない。

(3)自由端における付着応力の大きさの程度等を指標 とした場合,直角フックおよび半円形フックにおいて、 フックの折り曲げ終了点以降の長さを現行の規定より も短くできる可能性がある。

### 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

- 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
- 島 弘,周 礼良,岡村 甫:マッシブなコンク 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,No.378/V-6, pp.165-174, 1987.2
- 山尾 芳秀,周 礼良,二羽淳一郎:付着応カーす べり関係に関する実験的研究,土木学会論文報告集, No.343, pp.219-228, 1984.3