

# 90度フック鉄筋の余長が異なる時の 折り曲げ開始点におけるひずみーすべり関係

1110332 田中 希枝

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

近年、配筋量の増大によって鉄筋の定着が規定通りにできないという問題が生じており、定着鉄筋の設計を性能照査型にする必要がある。そのためには、フック鉄筋のすべり量や抜け出し量を知ることが必要である。そこで本研究ではフック鉄筋が引っ張り力を受けたときの鉄筋のすべり挙動について検討を行った。実験結果は、伸びすべりーひずみ関係は、ほぼ直線となり、自由端すべりーひずみ関係は、曲線となった。また、付加すべりーひずみの関係を、全てにおいて  $S_a/S_e = 1.4$  と仮定することで、折り曲げ開始点におけるすべりーひずみ関係を計算することが出来る。

**Key Words** : 余長、伸びすべり、自由端すべり、付加すべり、ひずみ

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造においては、鉄筋コンクリートが協同して外力に抵抗する必要がある。そのため、鉄筋に引張力が作用するときの鉄筋端部のコンクリートへの定着は極めて重要な問題である。しかし、構造物の大型化による鉄筋の太径化や阪神淡路大震災をきっかけとした耐震基準の見直しにより、鉄筋量が増加し、従来の配筋では鉄筋定着部において鉄筋が錯綜し、定着が十分となるように鉄筋の端部処理ができないという問題が起こっている。従って、鉄筋端部の定着の性能照査法の確立が急務となっている。

定着鉄筋の性能照査にあたっては、定着鉄筋のすべり量や抜け出し量が重要となる。直線状の定着鉄筋の抜け出し量は付着応力ーすべり関係から計算することができ、その関係式が提案されている。しかし、フックように曲げ加工されて曲線状となった鉄筋の付着応力やすべりは明らかにされていない。

そこで、本研究ではフック定着鉄筋の折り曲げ開始点におけるひずみとすべりの関係について調査検討するものである。

## 2. 実験

### 2. 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

余長としている。フックの形状は直角フックとし、余長は鉄筋直径 ( $\phi$ ) の12倍、6倍、3倍、0倍とし、折り曲げ部の曲げ内半径は鉄筋直径の2.5倍 ( $r=98\text{mm}$ ) のものとした。

表-1 実験条件

No.	曲げ内半径 (mm)	余長 $lh$ (mm)	コンクリート 強度 (MPa)
1	98 (2.5 $\phi$ )	457.2 (12 $\phi$ )	25.7
2		228.6 (6 $\phi$ )	25.8
3		114.3 (3 $\phi$ )	25.9
4		0 (0 $\phi$ )	26.3

### 2. 2 材料

#### (1) 鉄筋

ひずみ分布を詳細に測定するためには、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 $\phi=38.1\text{mm}$ ) を用いた。ひずみゲージを貼付するにあたって、断面を削らなくて良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。



図-1 使用した鉄筋とひずみゲージ

## (2) コンクリート

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ため、出来るだけブリージングの影響を少なくするため、固練りのコンクリートとした。コンクリートの配合スランブ試験の結果を表-2に示す。

## 2. 3 試験体の形状と寸法

試験体は、角形のコンクリートブロックに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、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、全ての試験体において高さを900mm、奥行きを600mmとし幅は余長に応じて変化させた。また、コンクリートブロック端部での付着応力が小さくなる影響をなくすために、荷重端には非定着部を設けた。荷重端からの非定着部は10φとし、折り曲げ開始点まで4φの定着部を取った。

## 2. 4 ひずみゲージの添付

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。鉄筋はリブのない面を内外側にして折り曲げたため、ひずみゲージの貼付は曲げ部の内外面である。ひずみゲージの間隔は、約60mmから80mmの範囲である。非定着部におい

てもその中央部にゲージを貼付した。

ひずみゲージを貼り付ける際、横リブのない部分をやすりをういて研磨し、ゲージを瞬間接着剤で張り付けた。

## 2. 5 荷重

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。一方向(引張のみ)の荷重とし、荷重荷重、ひずみおよび自由端に変位計を設置することで、自由端すべりを計測した。

## 3. 用語の定義

本研究では、以下のように用語を定義する

### (1) 伸びすべり

鉄筋が引張り力を受ける場合、鉄筋軸方向に伸び変形が生じる。鉄筋軸に沿った軸方向の平均ひずみをフックの先端から積分して求めた鉄筋各点における軸方向の変位を伸びすべりと定義する。

### (2) 付加すべり

鉄筋が曲げ内方向に変形する場合、鉄筋軸直角方向にはコンクリートと同じだけ変形するが、鉄筋軸方向には見かけ上の長さが短くなり局所的にコンクリートとの相対変位が生じる。本研究では、鉄筋の軸外変形による鉄筋軸方向の変位を付加すべりと定義する。

表-2 コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの試験結果

設計強度 (MPa)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 SP
21	11.5	54.8	45.7	267	156	854	1030	3.45

## 4. 実験結果および考察

### 4. 1 すべり

本研究では、伸びすべり、自由端すべり、付加すべりをすべて足し合わせたものをすべりとする。

#### (1) 伸びすべり $Se$

伸びすべりは、ひずみ分布を積分したものである。伸びすべりと折り曲げ開始点におけるひずみの関係を図-2に示す。余長に関わらずほぼ直線で表されることから、伸びすべりとひずみの関係を図中に線で示す。式(1)および式(2)のように定式化した。

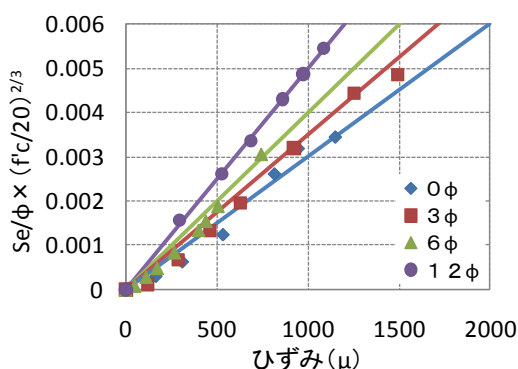


図-2 伸びすべり - ひずみ関係

$$k = 3 + \frac{l_h}{6\phi} \quad (1)$$

$$\frac{Se}{\phi} \times \left(\frac{f'c}{20}\right)^{\frac{2}{3}} = k \times \varepsilon \quad (2)$$

ここで、 $k$  : 傾き

$Se$  : 伸びすべり

$\phi$  : 鉄筋直径

$f'c$  : コンクリート強度

$\varepsilon$  : 鉄筋ひずみ である。

#### (2) 自由端すべり $Sf$

図-3に自由端すべりとひずみの関係を示す。

余長ごとに以下の式をベースとして、定式化を行った。ただし、 $\gamma$ については一定とする。

$$\frac{Sf}{\phi} \times \left(\frac{f'c}{20}\right)^{\frac{2}{3}} = \alpha \times (\varepsilon - \beta)^\gamma \quad (3)$$

ここで、 $Sf$  : 自由端すべりである。

図-4、図-5、図-6から各余長の $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ の値は表-3のようになった。

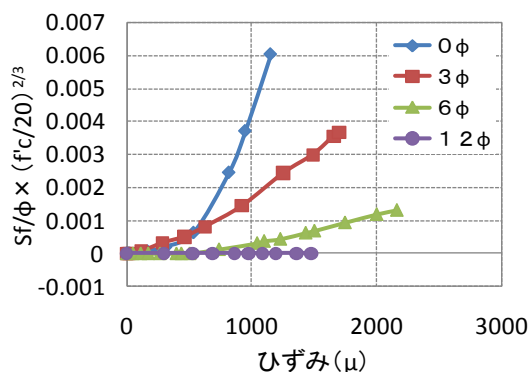


図-3 自由端すべり-ひずみ関係

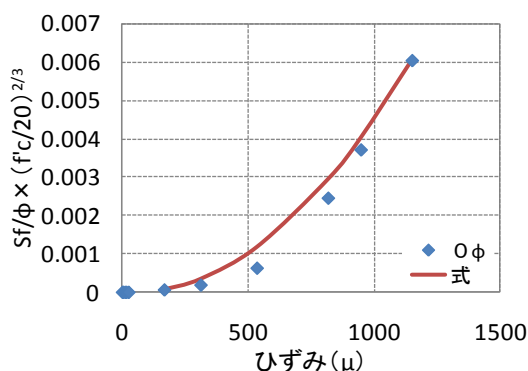


図-4 自由端すべり-ひずみ関係 (0φ)

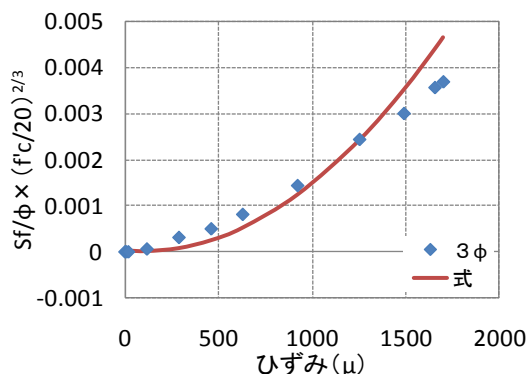


図-5 自由端すべり-ひずみ関係 (3φ)

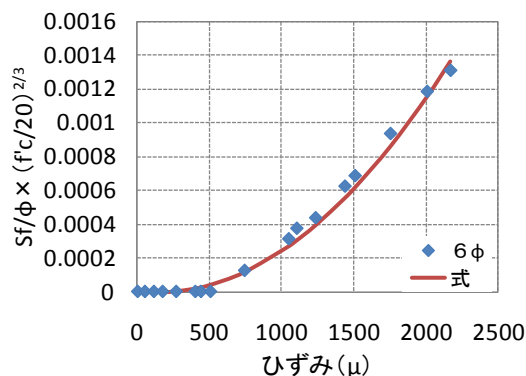


図-6 自由端すべり-ひずみ関係 (6φ)

表-3 各余長の $\alpha \cdot \beta$

余長/ $\phi$	$\alpha$	$\beta (\mu)$	$\gamma$
0	5000	50	2
3	1818	100	2
6	333	150	2

今回の実験結果から定式化した $\alpha, \beta$ を元に、 $\alpha, \beta$ の定式化を試みた。 $\alpha$ と余長の関係について図-7に、 $\beta$ と余長の関係を図-8に示す。 $\alpha$ についてはマイナスの値を示さないと考えられることから、式(4)とした。また、 $\beta$ については直線状で表すことが出来るため式(5)とした。

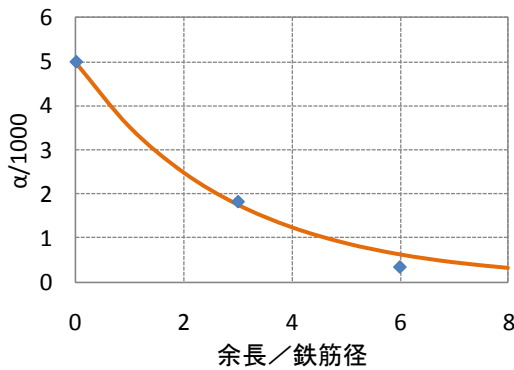


図-7  $\alpha$ -余長の関係

$$\alpha = 5000 \times e^{-0.35\left(\frac{h}{\phi}\right)} \quad (4)$$

ここで  $x$ : 余長/鉄筋径である。

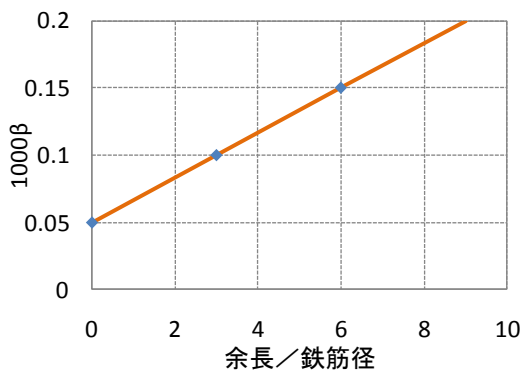


図-8  $\beta$ -余長の関係

$$\beta = \left(16.7\frac{h}{\phi} + 50\right) \times 10^{-6} \quad (5)$$

(3) 付加すべり  $S_a$

$S_a/S_e$  と余長の関係について、川竹らの論文により余長が  $12\phi$  のとき、 $S_a/S_e$  は 1.4 と報告されている。<sup>1)</sup>このことから、 $S_a/S_e$  と余長の関係は、全ての余長において  $S_a/S_e$  は 1.4 であると仮定をした。

(4) すべり  $S$

伸びすべり, 自由端すべり, 付加すべりを足し合わせたすべりの計算結果を図-9に示す。本研究の範囲では余長に関わらず同じような値を示した。

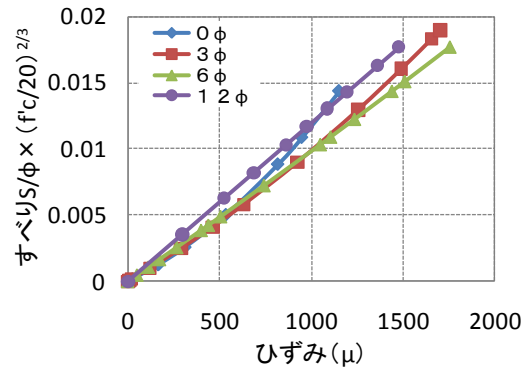


図-9 すべり-ひずみの関係

## 5. 結論

本研究において以下の結論を得た。

- (1) 伸びすべり-ひずみ関係は、ほぼ直線となる。  
その傾き  $k$  を定式化した。
- (2) 自由端すべり-ひずみ関係は、曲線となる。  
曲線を  $y = \alpha (\varepsilon - \beta)^2$  として  $\alpha$  と  $\beta$  を定式化した。
- (3) 付加すべり-ひずみの関係は、全てにおいて  $S_a/S_e = 1.4$  と仮定した。
- (4) 以上の定式化によって、折り曲げ開始点におけるすべり-ひずみ関係を計算することが出来る。

## 参考文献

- 1) 島 弘, 川竹 裕哉: フック定着部における鉄筋の軸外変形とすべり, 土木学会論文集 E, Vol. 65, No. 3, pp. 364-377, 2009. 8