

## 異形鉄筋の鉄筋降伏後における付着特性

### BOND CHARACTERISTICS IN POST-YIELD RANGE OF DEFORMED BARS

島 弘\*・周 礼良\*\*・岡村 甫\*\*\*

By Hiroshi SHIMA, Lie-Liung CHOU and Hajime OKAMURA

Bond characteristics in post-yield range of deformed bars were investigated by means of pull-out test. In the test, the bars were embedded in massive concrete in order to have no effect of splitting crack and unbond region was set at loaded end to have no effect of location along the bar. Bond stress in post-yield range is much lower than that in elastic range and it decreases suddenly with yielding of steel. Slip at the loaded end is mostly controlled by location at which steel bar yields. Bond-slip relationship in post-yield range depends on properties of steel bar such as yield strength, hardening strain and tensile strength. Bond-slip-strain relationship obtained from test in elastic range is applicable in post-yield range. The lower bond stress and different bond-slip relationships can be expressed by the analysis of using the unique bond-slip-strain relationship.

*Keywords:* bond, post-yield, deformed bar, slip, bond-slip-strain relationship

#### 1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物が大規模な地震による力を受けることを想定するとき、その設計方針としては、鉄筋を降伏させ、大きな塑性変形によってエネルギーを吸収させようとするのが一般的である。

鉄筋降伏後における鉄筋とコンクリートとの付着性状は、はり柱接合部における柱からの鉄筋の引抜けによるはりの回転<sup>1)</sup>、あるいは鉄筋コンクリート橋脚におけるフーチングからの鉄筋の引抜けによる軸体脚部の回転<sup>2)</sup>に大きく影響を及ぼす。また、鉄筋コンクリート平板の鉄筋降伏後における挙動に關しても、鉄筋とコンクリートとの付着による引張剛性の変化が、その全体挙動に大きく影響を及ぼすことがある<sup>3)</sup>。曲げ部材に關しても、特に低鉄筋比の場合には、鉄筋の降伏前あるいは降伏後にかかわらず、その曲げ剛性に付着性状が大きく影響を及ぼす。

したがって、地震時における鉄筋コンクリート構造物

の挙動をより正確に算定するためには、鉄筋が降伏した後の付着特性を知る必要がある。現在までに、数多くの定式化された付着応力-すべり関係が提案されている<sup>4)</sup>。しかし、これらはすべて弾性域にある鉄筋を対象としたものであり、鉄筋降伏後の付着応力を定量的に表わす付着モデルに関する研究はない。森田、角<sup>5)</sup>は、柱はり接合部域におけるはり主筋の付着性状を報告しているが、鉄筋降伏後は、塑性域の進展を検討するのにとどまっている。Popov ら<sup>6)</sup>は、はり柱接合部を対象とする付着試験において、鉄筋降伏後のデータも取ってはいるが、それに対して考察はされていない。Hassan & Hawkins<sup>7)</sup>は、柱からの鉄筋の引抜け量を、鉄筋に沿った付着応力分布をモデル化することによって求めているが、付着応力分布を実際に測定したものではない。また、村山ら<sup>8)</sup>が、鉄筋降伏後におけるフーチング中に定着した鉄筋の引抜けに関する研究を行っているが、定式化するまでには至っていない。多田、武田<sup>9)</sup>は、柱はり接合部の研究の中で、付着試験を行っているが、条件によって大きく異なる付着性状を一般化するには至っていない。

本研究は、鉄筋が降伏することにより、付着性状がどのように変化するかを実験的に調べ、降伏後の付着特性を定式化されたモデルで表わそうとするものである。著者ら<sup>10)</sup>は、アルミニウム棒の付着応力は同じすべり量に

\* 学生会員 工修 東京大学大学院 工学系研究科  
(〒113 文京区本郷7-3-1)

\*\* 工博 主任技師 Taipei Railway  
(Taipei, Republic of China)

\*\*\* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科  
(〒113 文京区本郷7-3-1)

対して鋼棒のものよりも小さくなることから、ひずみの違いが付着応力-すべり関係に影響を及ぼすことを示し、その付着応力-すべり-ひずみ関係式を提案した。鉄筋降伏後に関しては、鉄筋の性質によって、同じすべり量に対する鉄筋の応力、ひずみ、剛性が異なる。しかし、付着応力-すべり-ひずみ関係は、応力あるいは剛性と無関係に成り立つことから、鉄筋降伏後に対しても弾性域と同じ付着応力-すべり-ひずみ関係が成り立つと考えられる。実験に関しては、今までの経験<sup>10)~12)</sup>から、さらに精度のよい片引き試験を行った。

鉄筋が降伏することによる付着特性の変化を検討する場合、縦ひびわれの発生あるいは供試体中の鉄筋に沿った位置の違いによる影響を除かなければならぬ。したがって、供試体をマッシュブなコンクリートに鉄筋を埋め込んだものとして縦ひびわれの発生を防ぎ、載荷端に非付着域を設けて載荷端近傍における付着力低下の影響をなくした。

## 2. 実験の概要

### (1) 供試体

供試体は直径 50 cm のコンクリート円筒の中心に鉄筋を埋め込んだものである。実験方法は片引き試験とした。供試体および試験装置を図-1 に示す。この供試体の直径の大きさは、縦ひびわれが発生せず、さらに反力によるコンクリートの圧縮応力が小さくかつ均等になるように十分に大きくしたものである。また、定着長は、鉄筋が降伏するだけの引抜き力を作用させても自由端すべりが生じないように、 $50 D$  ( $D$  は鉄筋径) と長くした。載荷端近傍におけるコンクリートの拘束条件の違いによる付着力低下の影響をなくすために、鉄筋をシースで覆う方法により、載荷端に  $10 D$  の非付着域を設けた。

## (2) 実験条件

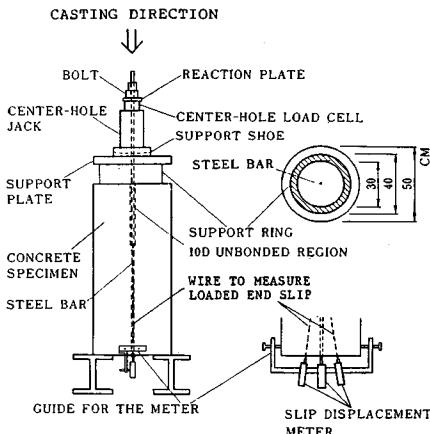


図-1 供試体および試験装置

表—1 供試体の性質

供試体番号	鉄筋の種類
1	SD30
2	SD50
3	SD70

鉄筋降伏後の付着応力あるいはすべり量に対して、鉄筋のひずみ、応力および剛性を変えるために、実験条件として、鉄筋の降伏あるいは降伏後の性質、すなわち応力-ひずみ関係が異なるものとした。したがって、実験は、表-1に示すように、強度の異なる3種類の鉄筋を用いて行った。なお、供試体の本数は1条件につき1本である。

### (3) 鉄筋およびコンクリート

本実験においては、埋め込んだ鉄筋に沿った各位置におけるひずみの測定が最も重要である。市販されている通常の鉄筋では、ひずみゲージを貼付するために鉄筋のリブを削る必要があり、断面が欠損する。本実験では、縦リブがなく、鉄筋を削る必要のないねじふし鉄筋を(株)住友金属に提供していただきて使用した。呼び名はD19である。

鉄筋の性質を表-2に示す。解析に用いた鉄筋の断面積は、水中重量から求めた体積を長さで除することにより求めた。鉄筋の応力-ひずみ曲線を図-2に示す。解析に用いた応力-ひずみ関係は、図-2に実線で示すように、次のものとした。鉄筋が降伏するまでは、

であり、降伏してからひずみ硬化域に達するまでは、

表-2 鉄筋の性質

鉄筋の種類	SD30	SD50	SD70
鉄筋径 $D$ , mm	19.5	19.5	19.5
ヤング係数 $E_s$ , GPa	190	190	190
降伏強度 $f_y$ , MPa	350	610	820
ひずみ硬化開始ひずみ $\epsilon_{sh}$ , %	1.65	1.40	0.60
引張強度 $f_u$ , MPa	540	800	910

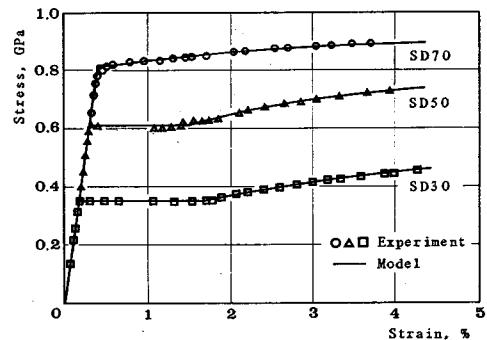


図-2 鉄筋の応力-ひずみ曲線

である。ひずみ硬化域においては、実験結果に合うようにして求めた次式を用いた。

ここで、

$\sigma$  : 殻力 (MPa)

$\varepsilon$  : ひずみ

$f_y$ : 降伏強度 (MPa)

$f_u$ : 引張強度 (MPa)

$\varepsilon_{sh}$  : ひずみ硬化開始ひずみ (表-2参照)

である。SD 30 および SD 50 の鉄筋は降伏点が明確であり、式(1)、式(2)および式(3)と実際のものとがよく一致している。しかし、SD 70 は降伏点が明確でなく応力-ひずみ曲線が弾性域からひずみ硬化域にかけて滑らかに続いているため、式(1)および式(2)は実際のものと厳密に一致はしていない。しかし、本研究は鉄筋降伏後を対象としていることもあり、応力-ひずみ関係を複雑にして解析が煩雑になることは、得られる結果に対してそれだけの利点はないと思われる。

コンクリートは、3本の供試体とも同じ配合のものを用いた。骨材の最大寸法は25 mmであり、W/Cを70%とした。圧縮強度  $f'_c$  は、19.6 MPaである。

#### (4) 實驗方法

埋め込んだ鉄筋のひずみ分布を測定するために、長さが 5 mm のひずみゲージを鉄筋径の約 5 倍の間隔で鉄筋の両面に貼付した。ただし、鉄筋降伏後のひずみ分布を詳しく知るために、供試体 No. 1 および No. 3においては、鉄筋が降伏する載荷端近傍のゲージ間隔を  $2.5 D$  とした。

載荷端におけるすべり量を直接測定するための道具として、直径 0.3 mm のステンレスワイヤーを用いた。測定方法は、図-1 に示すように、ワイヤーの先端を鉄筋の載荷端に固着し、供試体のコンクリート中を通して供試体下方に延ばし、供試体の下部で電気式変位計に接続するものである。ワイヤーとコンクリートとを付着させないために、ワイヤーをテフロン製のチューブに通し、さらにその外側を金属パイプで保護した。

鉛直に立てた円筒型枠の中心に鉄筋を鉛直に固定し、コンクリートを打ち込んだ。したがって、コンクリートの打込み方向と鉄筋とは平行である。

載荷方法は、鉄筋の方向にセットしたセンターホール型ジャッキによって、鉄筋に引抜き力を加えるものである。引抜き力の方向は、コンクリートの打込みに対して逆方向である。載荷はひずみ制御で行い、載荷速度は鉄筋が降伏する前は約  $100 \mu/\text{min}$ 、降伏後は約  $1000 \mu/\text{min}$ とした。鉄筋のひずみ、載荷端のすべり量に加えて、

自由端のすべり量および引抜き荷重を、図-1に示すように、それぞれ電気式変位計およびロードセルによって測定した。

### 3. 実験結果および考察

### (1) 載荷端におけるすべり量

ワイヤーで測った載荷端のすべり量と引抜き力との関係を図-3に示す。鉄筋の強度にかかわらず、鉄筋が降伏すると急激にすべり量が大きくなっている。

## (2) ひずみ分布形

鉄筋に沿った各位置における付着応力あるいはすべり量を求めるためには、ひずみの分布形を決定しなければならない。ひずみ分布形は、鉄筋に沿った各位置におけるひずみの測定値を利用して求めた。各点におけるひずみの測定値は、鉄筋の裏表の2つのゲージの読みを平均したものである。各測定位置におけるひずみの測定値およびそれらを用いて計算したひずみ分布形を、それぞれの供試体について、図-4に示す。鉄筋が弾性範囲にあるときは、ひずみ分布は連続した滑らかな曲線となる。しかし、鉄筋が降伏し、ひずみがひずみ硬化域に達する区間では、ひずみ分布は滑らかな曲線とはならない。鉄筋降伏後のひずみ分布の形としては、図-4に示すように、降伏するとひずみはただちにひずみ硬化が始まる点まで大きくなる。これは、鉄筋の微小区間  $dx$  における鉄筋の応力差  $d\sigma$  は、付着応力を  $\tau$  とすると、

であり、鉄筋が降伏する点において、いくらかのすべり量がある限り付着応力は0とならず、鉄筋には必ず応力差が生じるためである。ひずみ硬化域におけるひずみ分布形は、弾性域と同様に滑らかな曲線となる。

降伏後のすべり量を求めるためには、鉄筋が降伏する位置を決めなければならない。しかし、ひずみを測定するゲージには間隔があるので、ゲージ間にある降伏位置は、実験結果から直接には決められない。そこで、載荷

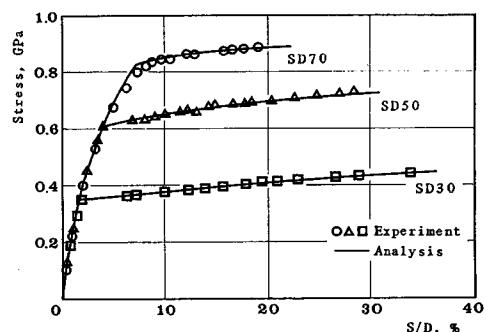


図-3 ワイヤーで測った載荷端におけるすべり量と引抜き力との関係

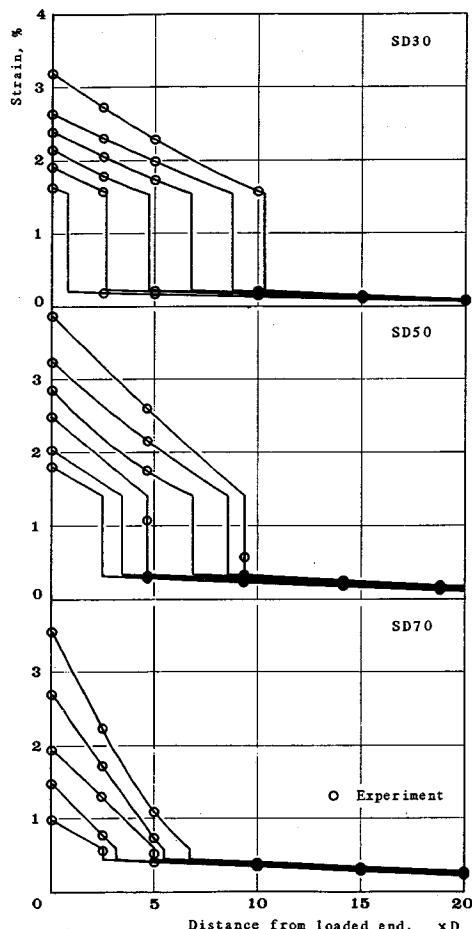


図-4 ひずみの実測値および計算に用いたひずみ分布形

端から降伏位置までの距離  $l_p$  を、図-5に示すように、鉄筋の弾性域およびひずみ硬化域の鉄筋降伏点に最も近い2点のひずみ分布を用いて仮定した。すなわち、弾性域およびひずみ硬化域のひずみ勾配を直線で伸ばし、それぞれの直線が降伏ひずみ  $\epsilon_y$  およびひずみ硬化開始ひ

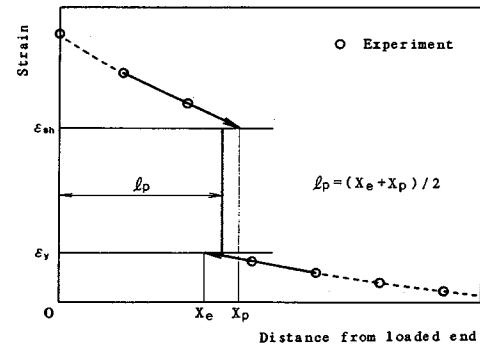


図-5 降伏位置の決定方法

ずみ  $\epsilon_{sh}$  と交わる位置を平均するものとした。実験における  $X_e$  と  $X_p$  はほぼ一致した。これは、弾性域およびひずみ硬化域におけるひずみ分布が直線に近いことを示している。

弾性域およびひずみ硬化域における鉄筋のひずみ分布形は、降伏位置の座標 ( $l_p$ ,  $\epsilon_y$ ) および ( $l_p$ ,  $\epsilon_{sh}$ ) も含めた、もよりの3点を結ぶ2次放物線をつなげることにより求めた。

鉄筋に沿った各位置におけるすべり量あるいは付着応力は、以上の仮定したひずみ分布を用いて求めることができるが、このひずみ分布が正しいかどうかを、ワイヤーによる載荷端におけるすべり量の実測値と仮定したひずみ分布を積分して求めたすべり量とを比較して検証する。表-3に、載荷端におけるすべり量の計算値と実測値とを比較したものを示す。計算値と実測値とはほぼ一致しており、前述の方法により仮定した図-4に示すひずみ分布は、ほぼ実際のものを表わしているものと思われる。ただし、降伏位置が載荷端の近くにあるときには、降伏位置がすべり量に大きく影響を及ぼす。SD 30 のひずみが 1.70 % のときには差が大きくなっているが、これは降伏位置の決定に誤差があったものと思われる。

### (3) 鉄筋のひずみ、すべり量、応力および付着応力

表-3 載荷端におけるすべり量の計算値と実測値との比較

供試体 No. 1 (SD30)	載荷端ひずみ (%)		1.70	1.91	2.14	2.39	2.63	3.20
	S / D (%)	計算値 実測値 (比)	3.7 2.7 1.38	6.9 7.3 0.95	10.5 10.0 1.05	14.9 15.6 0.95	19.6 19.4 1.01	24.8 26.6 0.94
供試体 No. 2 (SD50)	載荷端ひずみ (%)		1.81	2.04	2.50	2.87	3.26	3.90
	S / D (%)	計算値 実測値 (比)	7.8 8.2 0.95	9.8 10.0 0.98	12.8 13.1 0.97	17.7 18.4 0.96	22.6 22.5 1.01	27.6 28.2 0.98
供試体 No. 3 (SD70)	載荷端ひずみ (%)		1.00	1.50	1.95	2.70	3.59	
	S / D (%)	計算値 実測値 (比)	9.2 8.8 1.04	10.9 10.5 1.04	13.8 12.9 1.06	16.5 16.4 1.00	20.2 19.1 1.06	

分布

(2) で述べた方法によって決定したひずみ分布を用いて、鉄筋に沿った各位置におけるすべり量あるいは付着応力を求めることができる。

本研究では、すべり量を鉄筋とコンクリートとの相対変位ではなく、コンクリート中の動かない点を基準とした鉄筋の各点の変位量とした。これは、鉄筋とコンクリートとの相対変位は、相対変位を考えるコンクリートの点の鉄筋からの距離によって異なり、相対変位は定義として明確ではなく、本研究の定義が一般性があるためである。この定義に従うと、片引き試験の場合、鉄筋に沿った各位置におけるすべり量は、ひずみ  $\epsilon$  を自由端から考えている位置  $x$  まで積分したものに自由端すべりを加えることにより求められる。本実験においては、自由端すべりは常に 0 であるため、すべり量  $S$  は

で求められる。

鉄筋に沿った任意の点における付着応力  $\tau$  は、その点におけるひずみ分布から式(1), (2)および(3)で表わされる鉄筋の応力-ひずみ関係を用いて求めた鉄筋の応力分布曲線の傾き  $d\sigma/dx$  を用いて、

で求められる。

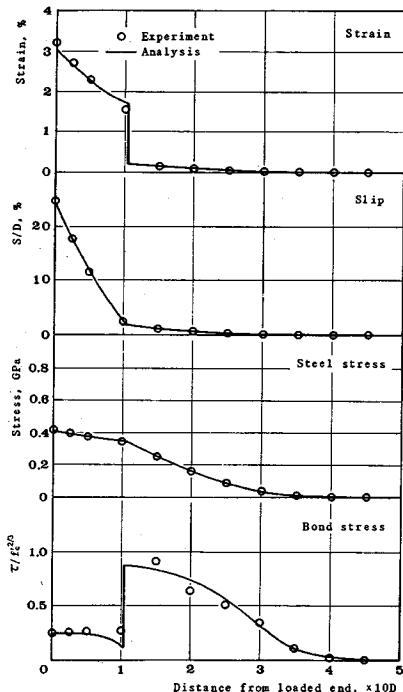


図-6 鉄筋のひずみ、すべり、応力および付着応力の鉄筋に沿った分布 (SD 30)

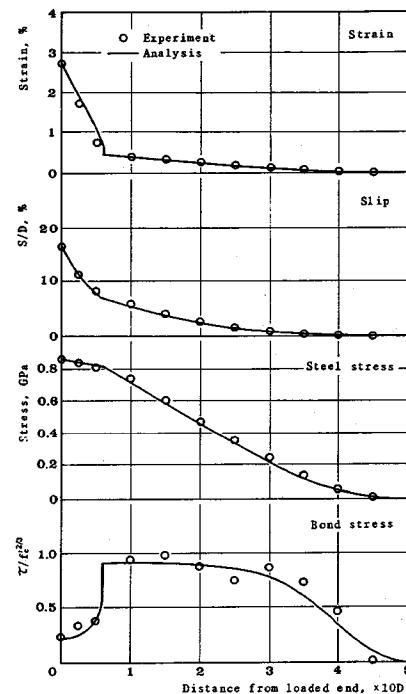


図-7 鉄筋のひずみ、すべり、応力および付着応力の鉄筋に沿った分布（SD 50）

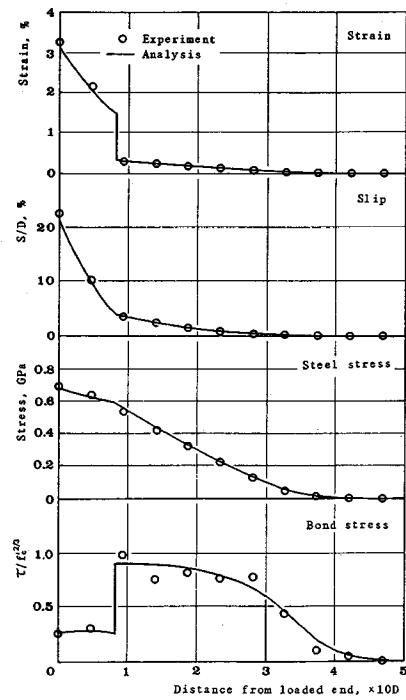


図-8 鉄筋のひずみ、すべり、応力および付着応力の鉄筋に沿った分布（SD 70）

それぞれの供試体における、鉄筋のひずみ、すべり量、応力および付着応力の分布の例を、図-6から図-8に示す。すべり量は、鉄筋が降伏すると急激に大きくなってしまっており、鉄筋が降伏している範囲は、載荷端におけるすべり量に大きく影響することを示している。鉄筋の応力分布に関しては、降伏後はその傾きが小さくなっている結果が得られた。したがって、付着応力は鉄筋が降伏すると大きく低下することが判明したわけである。その鉄筋降伏による付着応力低下の度合は、強度の低い鉄筋ほど大きい傾向がみられる。また、強度の大きい鉄筋ほど付着応力分布の面積が大きく、強い引抜き力に抵抗していることを示している。

#### (4) 付着応力-すべり関係

各供試体の付着応力-すべり関係を図-9に示す。鉄筋が弾性範囲にある場合に関して、定着長が十分に長く、自由端における境界条件がすべり=0かつひずみ=0であるときには、付着応力-すべり関係は鉄筋に沿った位置によらず同じである<sup>10)</sup>。このことは、図-9に示されるように、鉄筋降伏後においても成り立っている。しかし、付着応力-すべり関係は、供試体によって異なっている。最も明確な違いは、鉄筋の降伏値の違いによって、付着応力が低下するすべり量が変わっている。鉄筋降伏後の付着応力は、SD 30 および SD 50においては、す

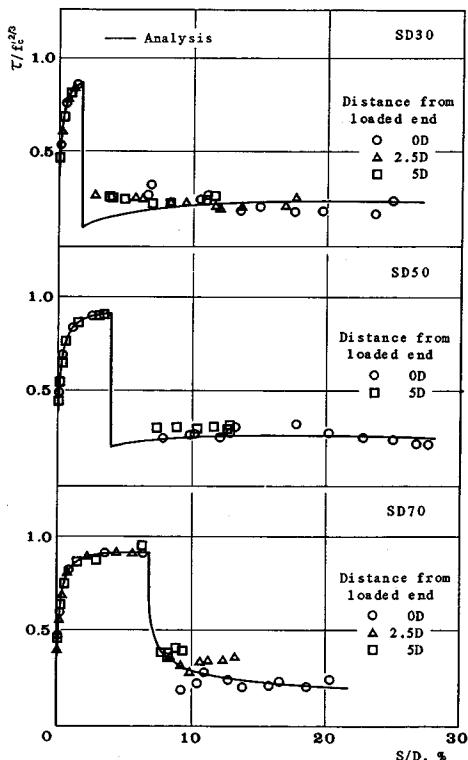


図-9 鉄筋降伏後の付着応力-すべり関係

すべり量にかかわらずほぼ一定であるが、SD 70では、すべり量の増加とともに付着応力は減少する傾向がみられる。これらの付着応力-すべり関係の違いは、ひずみ硬化開始ひずみおよびひずみ硬化域の鉄筋の剛性によって異なるものと思われる。すなわち、鉄筋の性質によって、鉄筋降伏後の付着応力-すべり関係は異なったものとなっている。

## (5) 付着応力-すべり-ひずみ関係

著者ら<sup>10)</sup>は、アルミニウム棒の付着応力は同じすべり量に対して鋼棒のものよりも小さくなることから、ひずみの違いが付着応力-すべり関係に影響を及ぼすことを示した。その付着応力-すべり-ひずみ関係( $\tau$ - $s$ - $\epsilon$ 関係)は、マッシュ型コンクリートに埋め込まれた異形鉄筋に對して、

$$\tau/f'_c = 0.73 (\ln(1+5s))^3 / (1 + \varepsilon \times 10^5) \dots \dots \dots \quad (8)$$

で表わされる。ここで、

$s=1\,000\,S/D$

S：すべり量

$D$  : 鉄筋径  
である。この  $\tau-s-\epsilon$  関係を用いると、境界条件が  $\epsilon=0$  かつ  $s \neq 0$  あるいは  $\epsilon \neq 0$  かつ  $s=0$  の場合の鉄筋に沿った位置によって異なる付着応力-すべり関係を 1 つの式で表わすことができる。

鉄筋降伏後に関しては、鉄筋によって、同じすべり量に対する鉄筋の応力、ひずみ、剛性が異なる。しかし、

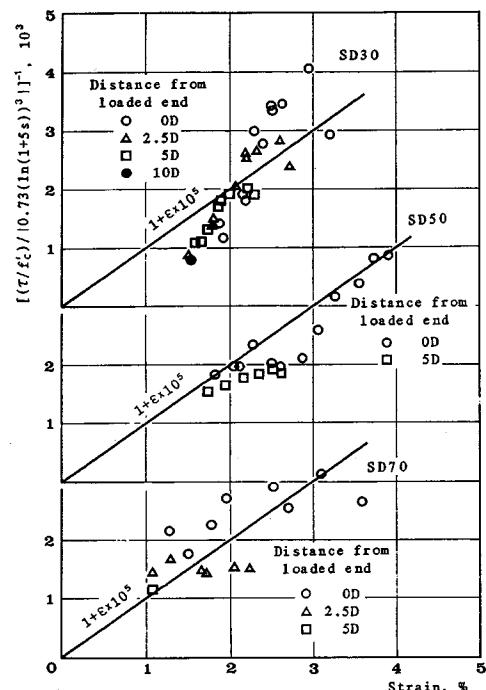


図-10 鉄筋降伏後の付着応力-すべり-ひずみ関係

$\tau-s-\epsilon$  関係は、応力あるいは剛性と無関係に成り立つことから、鉄筋降伏後に対しても弾性域と同じ  $\tau-s-\epsilon$  関係が成り立つと考えられる。

鉄筋降伏後の  $\tau-s-\epsilon$  関係を図-10 に示す。鉄筋の違いにかかわらず、降伏後においても弾性域と同じ  $\tau-s-\epsilon$  関係が成り立つことを示している。

図-6 から図-8 は、鉄筋のひずみ、すべり量、応力および付着応力分布を示したものであるが、それぞれの図中に  $\tau-s-\epsilon$  関係を用いた解析結果を示す。それぞれ、実験結果と解析結果とはよく一致している。鉄筋が降伏した瞬間には、すべり量が同じであるにもかかわらず、ひずみだけが大きくなっている。したがって、付着応力の低下は、滑らかではなく、鉄筋に沿った同じ位置において急激に低下するのである。その結果、鉄筋の応力分布は、降伏位置において角をもって折れ曲がっているのである。また、解析によると、降伏ひずみとひずみ硬化開始ひずみとの差が大きいほど、付着応力が急激に低下

する度合は大きくなるが、このことも実験結果とよく一致している。SD 70 においては、降伏後の付着応力が徐々に低下している。これは、降伏ひずみとひずみ硬化開始ひずみとの差が小さいために、すべり量の増加に対して、ひずみの増大が少ないためである。

図-9 は付着応力-すべり関係を示したものであるが、図中の曲線が  $\tau-s-\epsilon$  関係を用いた解析結果を示したものである。実験結果と解析結果とはよく一致しており、図-6 から図-8 の付着応力分布と同様に、鉄筋の性質の違いによる降伏時のすべり量および降伏後の付着応力-すべり関係の変化をうまく説明している。

$\tau-s-\epsilon$  関係の精度を調べるために、いくつかの実験結果と比較する。図-3 は引抜き力と載荷端におけるすべり量の実測値との関係を示したものであるが、図中に  $\tau-s-\epsilon$  関係を用いて求めたものを曲線で示す。実験結果と計算結果とはよく一致している。また、図-11 は、 $\tau-s-\epsilon$  関係を用いてひずみ分布を計算したものと実測値とを比較したものであるが、計算結果と実測値とはほぼ一致している。SD 70 における降伏ひずみ近辺の誤差は、解析に用いた鉄筋の応力-ひずみ関係と実際のものに差があることが原因と思われる。以上のように、式(8)で表わされる  $\tau-s-\epsilon$  関係は、鉄筋降伏後に対しても十分な精度を有している。

式(8)を用いると、鉄筋の引張応力あるいはひずみとすべり量との関係が数値的に求めることができる。実用的には、これに載荷端近傍における付着力の低下の影響を考慮することにより、フーチング等に定着された鉄筋の引抜き力とすべり量との関係を求めることができる。

#### 4. 結 論

縦ひびわれの影響がないマッシブなコンクリートに埋め込み、載荷端近傍の付着力低下の影響をもなくした異形鉄筋の降伏後の付着性状に関する実験および解析の結果に基づいて、以下のような結論を得た。

(1) ひずみは、鉄筋が降伏した瞬間にひずみ硬化開始ひずみまで大きくなる。

(2) すべり量は、鉄筋が降伏すると急激に大きくなるため、載荷端におけるすべり量は、鉄筋が降伏している位置によってほぼ支配される。

(3) 鉄筋降伏後の付着応力は、弾性域のものよりもかなり低下し、その付着応力-すべり関係は、降伏値など鉄筋の性質によっても異なる。

(4) 鉄筋降伏後においても弾性域と同じ付着応力-すべり-ひずみ関係式が成り立ち、(3) のことはこの1つの関係式で表わすことができる。

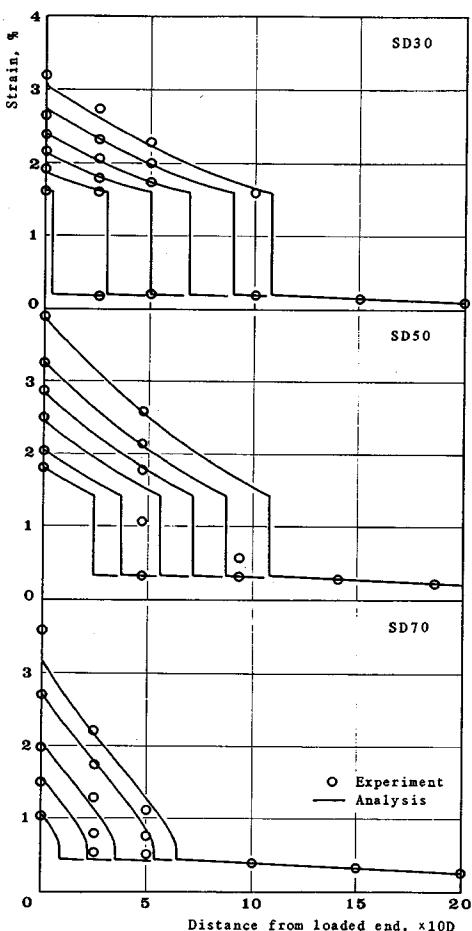


図-11 ひずみ分布における実測値と付着応力-すべり-ひずみ関係(式(8))を用いた計算値との比較

なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金（一般研究A61420035）を受けて行ったものである。

### 参考文献

- 1) Popov, E. P. : Bond and anchorage of reinforcing bars under cyclic loading, ACI Journal, No. 81-31, pp. 340~349, July-August 1984.
- 2) 太田：単一柱形式鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計法に関する研究，土木研究所報告，No.153, pp. 48~50, March 1980.
- 3) 岡村・前川：鉄筋コンクリートにおける非線形有限要素解析，土木学会論文集，No.360/V-3, pp.1~10, Aug. 1985.
- 4) 森田・藤井：有限要素解析における付着モデルの現状と今後の課題，鉄筋コンクリート構造物における有限要素解析に関するコロキウム論文集，JCI, pp.35~42, 1985.
- 5) 森田・角：鉄筋コンクリート柱はり接合部域におけるはり主筋の付着性状，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1777~1778, 昭和52年10月。
- 6) Viwathanatepa, S., Popov, E. P. and Bertero, V. V. : Effect of Generalized Loadings on Bond of Reinforcing Bars Embedded in Confined Concrete Blocks, Report No. UCB/EERC-79/22, Aug. 1979.
- 7) Hassan, F. M. and Hawkins, N. M. : Prediction of the seismic loading anchorage characteristics of reinforced bars, ACI SP-53, pp. 417~438, 1977.
- 8) 村山・須田・三村：マッシブなコンクリート中に定着された降伏以後の抜出し特性，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，JCI, pp. 597~600, 1986.
- 9) 多田・武田：鉄筋コンクリート造柱はり接合部補強法に関する実験的研究（その2）異形鉄筋の付着実験とその解析，日本建築学会構造系論文報告集，第363号，pp. 86~94, 昭和61年5月。
- 10) 島・周・岡村：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年2月。
- 11) 山尾・周・二羽：付着応力-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, March 1984.
- 12) 周・二羽・岡村：マッシブなコンクリート中の異形鉄筋の付着モデル，第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集，JCI, pp. 45~52, 1983.

(1986. 6. 26・受付)