

## [144] 非対称フシを有する異形鉄筋の曲げ部材に対する補強効果

正会員 田澤栄一（広島大学工学部）  
正会員 ○井上 育（東京工業大学工学部）

## 1. まえがき

鉄筋コンクリート部材に生ずる曲げひびわれを制御することは、鉄筋コンクリートの耐久性の面から大いに重要である。しかし、このひびわれは鉄筋のかぶり側だけが対象であり、対称な断面を持つ現在の異形鉄筋がこのひびわれに関して理想的な力の伝達を行なっているか否か未だ明らかにされていない。

そこで本研究では、従来の異形鉄筋の片側のフシを削り落とした“非対称フシ”を有する異形鉄筋を用いて、鉄筋のフシの非対称性が鉄筋コンクリート梁の曲げ性状に及ぼす効果を調べ、さらに鉄筋を非対称にすることによって、許容応力程度の同一鉄筋応力において、ひびわれ幅を低減できる可能性について検討したものである。

## 2. 実験概要

## 2. 1 使用材料およびコンクリートの配合

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントである。細骨材は山砂（比重2.53）、粗骨材は碎石（最大寸法15mm、比重2.70）を用いた。鉄筋は横フシ異形鉄筋D19（SD300、実測値： $\sigma_{sy} = 3790 \text{ kgf/cm}^2$ ）を用いた。混和剤には、リグニンスルフォン酸塩系のAE減水剤をセメント重量に対して0.25%用いた。コンクリートの圧縮強度は330～350kgf/cm<sup>2</sup>（実測値）である。表1にコンクリートの配合を示す。

## 2. 2 実験方法

## (1) 鉄筋の加工および形状

鉄筋の加工は、図1に示すように、普通異形鉄筋の片側のフシまたは両側のフシをグラインダーで切削し、さらにコンクリートとの付着を完全になくすために、その部分にグリスを塗布した。

表2および表3に両引き試験および梁載荷試験に用いた鉄筋の形状を示す。梁載荷試験では、鉄筋のフシの切削は、曲げスパンのフシのみを切削し、配筋によってかぶり側のみにフシのある鉄筋を「上側フシなし」、かぶりと反対側のみにフシのある鉄筋を「下側フシなし」と名付けた。また、両側のフシを切削した鉄筋を「両側フシなし」と名付けた。

## (2) 両引き試験

図2に両引き供試体の形状および寸法を示す。鉄筋には、図3に示すように鉄筋の両側のリブを削り、その位置に、幅5mm×深さ5mmの溝を切り、そこに3mmのひずみゲージを3cm間隔に貼り付けた後、溝をコーティングした。載荷方法は、0.5tごとに荷重を

表1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				add. (g/m <sup>3</sup> )
		W	C	S	G	
52	46	201	387	728	913	968

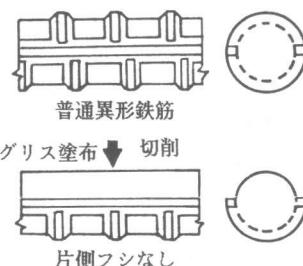


図1 鉄筋の加工

表2 両引き試験

鉄筋の種類	鉄筋名称	断面積 (cm <sup>2</sup> )	鉄筋の形状
片側フシなし	D19	2.659	[Diagram of a bar with one side rib removed]
普通異形鉄筋	D19	2.723	[Diagram of a standard deformed bar]
両側フシなし	D19	2.594	[Diagram of a bar with both sides' ribs removed]

表3 梁載荷試験

鉄筋の種類	鉄筋名称	断面積 (cm <sup>2</sup> )	鉄筋の形状
上側フシなし	D19	2.656	[Diagram of a bar with the top side rib removed]
下側フシなし	D19	2.656	[Diagram of a bar with the bottom side rib removed]
普通異形鉄筋	D19	2.723	[Diagram of a standard deformed bar]
両側フシなし	D19	2.594	[Diagram of a bar with both sides' ribs removed]
			せん断スパン   曲げスパン   せん断スパン

加え、鉄筋が降伏するまで引張載荷し、各荷重段階において、あらかじめ鉄筋に貼付しておいたひずみゲージから、隣あったひずみゲージのひずみ差をゲージの間隔で割ることより付着応力を求めた。また、図4に示すように、上下2個ずつ、計4個のダイヤルゲージ(1/1000mm)により、鉄筋の滑動量を測定した。

### (3) 梁載荷試験

梁の形状および寸法は、図5に示すように、スパン:150cm,せん断スパン:55cm,曲げスパン:40cm,有効高さ:18.5cm,a/d=2.97である。梁の断面は、14cm×22cmの単鉄筋長方形断面(D19)とした。載荷方法は、2点載荷で、5tまでは0.5tごとに、それ以上では1tごとに荷重を加えて曲げ破壊させた。そして、各荷重段階において、図6に示すように、あらかじめ梁の曲げスパン部の鉄筋位置に貼付しておいたコンタクトチップをコンタクトひずみ測定器によって、曲げひびわれ幅を測定した。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 両引き供試体試験結果

図7は、各両引き供試体における、鉄筋応力と鉄筋の滑動量との関係を示したものである。これより、各鉄筋の滑動量は鉄筋応力： $\sigma_s = 800 \text{ kgf/cm}^2$ までは、どの鉄筋にも差は見られないが、それ以上になると、各鉄筋の滑動量に差が現れ始め、片側フシなしは、両側フシなしとほぼ同一の直線を描いていることがわかる。また、同一鉄筋応力( $\sigma_s = 1800 \text{ kgf/cm}^2$ )では、普通異形鉄筋の滑動量は、約0.22mmであるのに対しても、片側フシなしの滑動量は、約0.27mmとなり、片側フシなしは、普通異形鉄筋よりも約20%滑動量が大きい値となっている。

また図8は、鉄筋応力： $\sigma_s = 1500 \text{ kgf/cm}^2$ のときの各供試体の付着応力分布を示したものである。これより、普通異形鉄筋では、供試体端面付近で大きな起伏が見られ、その大きさは約80kgf/cm<sup>2</sup>に達している。このことから、普通異形鉄筋の付着は良好であることを示している。一方、両側フシなしの場合、付着応力の大きさは、普通異形鉄筋と比べると、非常に小さく、また、起伏はどの断面においてもほとんど見られない。これに対して、片側フシなしでは、両側フシなしに比べると、若干の付着応力の起伏は見られるが、普通異形鉄筋と比べると、付着応力の大きさは、かなり小さい値である。

また、普通異形鉄筋の付着応力分布の形状は、左右対称形であるのに対して、片側フシなしの分布形状は、対称形でなく、不規則な分布形状を示している。

以上より、異形鉄筋の片側のフシを削り落とした“非対称フシ”鉄筋の付着性状は、普通異形鉄筋と比べると、大幅に低下することが認められた。

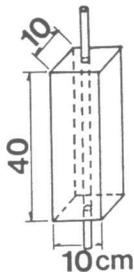


図2 両引き供試体

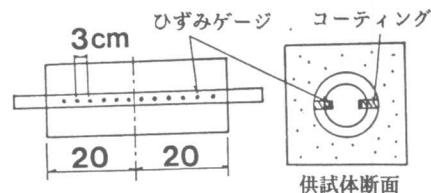


図3 ひずみゲージの貼布

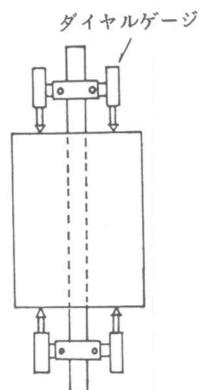


図4 鉄筋の滑動量の測定

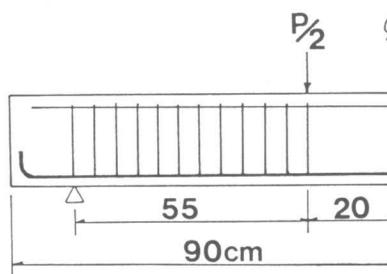


図5 梁の形式および配筋図

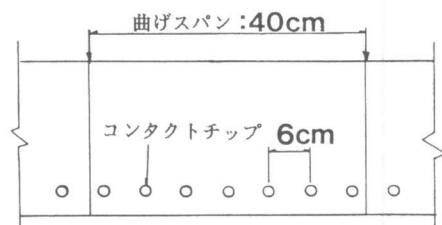
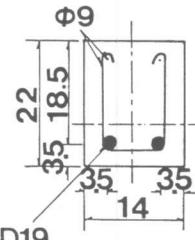


図6 曲げひびわれ幅の測定

### 3. 2 梁載荷試験結果

#### (1) ひびわれ幅

図9(a)および(b)は、コンクリートの引張応力を無視して計算した鉄筋応力と曲げスパンにおける最大ひびわれ幅および平均ひびわれ幅との関係を示したものである。両図より、かぶり側にフシのない下側フシなしは、両引き試験において、付着が悪かったのと同様に、両側フシなしと同様の傾向を示しており、同一鉄筋応力( $\sigma_s = 2000 \text{kgf/cm}^2$ )において、普通異形鉄筋と比べると、最大ひびわれ幅および平均ひびわれ幅は、共に普通異形鉄筋よりも約40%大きくなっている。

一方、かぶり側にフシのある上側フシなしは、両引き試験において、付着が悪いにもかかわらず、同一鉄筋応力( $\sigma_s = 2000 \text{kgf/cm}^2$ )において、普通異形鉄筋と比べると、若干ひびわれ幅は大きくなっているが、下側フシなしほどひびわれ幅は大きくなっていない。特に、図9(a)の最大ひびわれ幅の場合においては、その差が明確に現れている。これより、梁の曲げひびわれ幅は、かぶり側のフシの形状によって左右されると考えられる。すなわち、かぶり側のみにフシがあれば、かぶりと反対側にフシがなくても、ひびわれ幅は大きくならない。逆に、かぶりと反対側にフシがあっても、かぶり側にフシがない場合には、ひびわれ幅は大きくなってしまうのである。

#### (2) 終局耐力

表4は、各鉄筋を用いた梁の終局耐力を比較するために、実測破壊モーメント： $M_u$ と計算破壊モーメント： $M_{ucal}$ (Whitneyの極限強度式により計算<sup>11)</sup>)との比率： $M_u / M_{ucal}$ を示したものである。これより、かぶりと反対側にフシのない上側フシなしおよび両側フシなしの  $M_u / M_{ucal}$  は共に1.11である。これに対して、かぶりと反対側にフシのある下側フシなしおよび普通異形鉄筋では、 $M_u / M_{ucal}$  は共に1.20で、上側フシなしおよび両側フシなしよりも約10%大きい値である。すなわち、かぶりと反対側にフシのある鉄筋を用いた梁は、かぶりと反対側にフシのない鉄筋を用いた梁と比べて終局耐力が大きい。この理由は、終局時にはかぶりと反対側のフシによる力の伝達がより重要になることを示唆すると考えられる。すなわち、かぶりと反対側にある場合は、かぶり側にフシがなくても、終局耐力の低下は少ない。逆に、かぶりと反対側にフシがない場合には、たとえかぶり側にフシがあっても、終局耐力は大きく低下してしまうのである。

### 4. 結論

異形鉄筋の片側のフシを削り落とした“非対称フシ”鉄筋は、両引き試験において、その付着性状は、普通異形鉄筋に比べると、相当劣る結果となった。しかし、この鉄筋を曲げを受ける梁の引張鉄筋として用い、かぶり側にフシのある側を配置すると、同一鉄筋応力において、曲げひびわれ幅は大きくならないまた逆に、かぶりと反対側にフシのある側を配置すると、ひびわれ幅は大きくなるが、梁の耐力の低下は見られない。すなわち、かぶり側とかぶりと反対側では、鉄筋からコンクリート、コンクリートから鉄筋

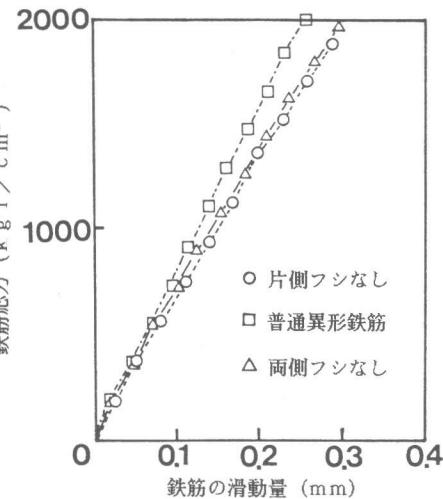


図7 鉄筋の応力と滑動量の関係

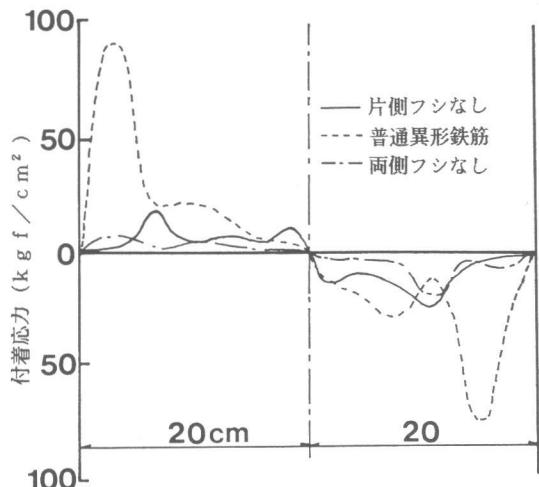


図8 付着応力分布

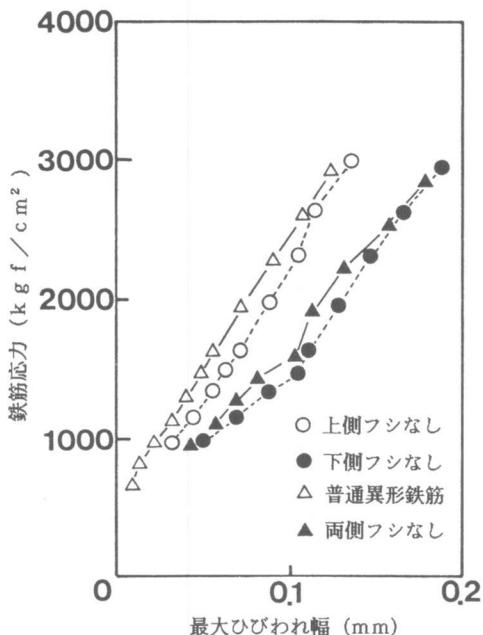


図9(a) 鉄筋応力と最大ひびわれ幅との関係

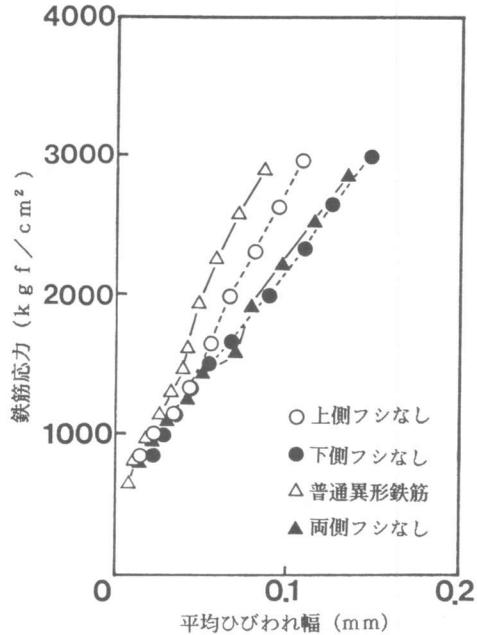


図9(b) 鉄筋応力と平均ひびわれ幅との関係

表4 各梁の破壊モーメント

鉄筋の種類	曲げひびわれ発生荷重 $P_i$ (t)	破壊荷重 $P_u$ (t)	破壊モーメント $M_u$ (t·m)	計算 破壊モーメント $M_{ucal}$ (t·m)	$M_u / M_{ucal}$
上側フシなし	2.0	13.0	3.58	3.21	1.11
下側フシなし	1.5	13.9	3.82	3.21	1.20
普通異形鉄筋	2.5	14.3	3.93	3.27	1.20
両側フシなし	1.5	12.7	3.49	3.15	1.11

の応力の伝達の機構が異なると思われる。従って、かぶり側の鉄筋のフシとかぶりと反対側の鉄筋のフシでは、梁の曲げ性状におよぼす効果は異なる。つまり、かぶり側のフシは梁の曲げひびわれ性状に、かぶりと反対側のフシは梁の終局耐力に影響をおよぼすと考えられる。

また本報告では、同一鉄筋応力において、普通異形鉄筋の片側のフシを全て削り落とした“非対称フシ”を有する鉄筋を用いた梁の曲げひびわれ幅は普通異形鉄筋よりも、若干大きくなつた。しかし、ひびわれ性状に影響をおよぼす鉄筋のフシがかぶり側のフシであるという本実験結果から、曲げひびわれ幅を従来の普通異形鉄筋よりも低減するためには、鉄筋は必ずしも対称断面が理想的ではなく、非対称、すなわち、かぶり側の鉄筋のフシの数をかぶりと反対側のフシよりも多くするか、あるいはフシの高さをより高くするのがよいと考えられる。これによって、かぶり側への応力伝達がよくなり、ひびわれの分散性を増すことによって、一本当たりのひびわれ幅を低減できるのではないかと考えられる。

参考文献 1) Whitney, C.S.:Plastic Theory of Reinforced Concrete Design, Proc. ASCE (1940.12)