

太径異形鉄筋の付着特性に関する研究

Experimental Study on Bond Properties of Large-Diameter Deformed Bars

後 藤 幸 正*

Yukimasa Goto

嶋 文 雄**

Fumio Shima

大 塚 浩 司***

Koji Otsuka

Synopsis:

This paper reports on the results of research on the influence on bond characteristics of the surface deformations of large-diameter deformed bars which have come into practical use in recent years. The reinforcing bars used were large-diameter deformed bars (mainly D51) having various surface deformations either commercially available or experimentally manufactured. The experiments consisted of making various measurements upon tensile loading of specimens of concrete in which single or four bars were embedded.

As a result of the experiments it was ascertained that the surface deformations of large-diameter deformed bars influence the following to a considerable degree:

- (1) Lateral cracks in concrete surrounding a bar formed at right angles to the bar axis.
- (2) Internal cracks produced near the tops of lugs of the deformed bar.
- (3) Anchorage properties of the bar.
- (4) Properties of lap splices.

In consideration of these test results and limitations imposed in rolling operations it is thought appropriate at the present time for surface deformations of transverse-lug deformed bars (D51) to consist of lug spacing of 15mm, lug height of 3.5mm and lug width of 3mm, but if practicable, it would be desirable for lug height to be made slightly higher.

1. ま え が き

異形鉄筋の表面における突起、すなわちフシやリブの形状寸法は、一般に鉄筋の疲労強度、加工性、継手強度などに影響をおよぼすばかりでなく、付着特性にも大きい影響を与えるものである。近年実用化が進んできた太径異形鉄筋の場合は、付着特性が特に重要な問題と考えられるが、その表面形状について十分明らかにされていない

ことが多く、世界各国において各種各様のものが用いられているのが現状である。したがって、これらの点について十分に検討し、よい表面形状をもつ太径異形鉄筋を開発することはきわめて重要と考えられる。

この報告は、各種の表面形状を持った市販および試作の太径異形鉄筋(主としてD51)を用いて、鉄筋の表面形状が付着特性におよぼす影響を明らかにすることを目的として実験を行い、その結果をまとめたものである。

* 東北大学工学部土木工学科教授・工博

*** 東北学院大学工学部土木工学科講師

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室部長

付着特性としては、

- (1) 横ひびわれ特性
- (2) 内部ひびわれ特性
- (3) 定着特性
- (4) 重ね継手特性

の4つの問題にわけて、それぞれについて検討した。横ひびわれ特性は、鉄筋の腐食と密接な関係をもっており、内部ひびわれ特性は鉄筋とコンクリートとの応力伝達に重要な役割をなすものである¹⁾。さらに定着特性および重ね継手特性は、鉄筋コンクリート構造の破壊に直接つながるおそれのある重要な問題である。

2. 実験材料

2.1 鉄 筋

鉄筋は直径41mmと51mmのもので、いずれも市販材（SD35）および試作材（SD35相当）を実験に用いた。試作材は、フシ高さ、フシ間隔などを種々に変えた直角横フシの異形鉄筋で、試圧延したもの（リブあり）および旋盤で切削したもの（リブなし）である。Table 1 は使用鉄筋の形状寸法を示したものである。フシの幅は、横ひびわれ特性からいえば、かなりの程度まで小さく

Table 1 Deformed bars used for tests

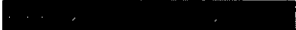
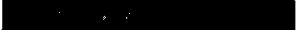
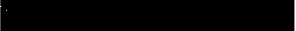
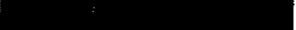
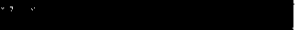
Nominal diameter (mm)	Type of bar		Dimension of lug			Cross sectional area (cm ²)	Surface deformation
			Spacing (mm)	Height (mm)	Width (mm)		
41	Rolled bar (Lateral lug)	Q	12	3.0	3.2	12.84	
		R	16	3.4	2.8	12.94	
		S	27	3.2	5.2	13.36	
51	Machining bar (Lateral lug)	A	15	4.5	2.5	18.80	
		B	20	4.5	3.0	20.03	
		C	12	3.5	2.5	19.22	
		D	15	3.5	2.5	20.10	
		E	20	3.5	3.0	20.26	
		F	8	2.0	1.0	20.58	
		G	15	2.5	2.5	20.66	
	Rolled bar (Lateral lug)	H	12	3.4	3.0	19.83	
		I	15	3.3	3.5	19.48	
	Rolled bar (Diagonal lug)	J	30	5.1	5.0	20.64	
		K	30	5.5	6.2	20.27	

Table 2 Mix proportions

Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Air content (%)	Water cement ratio (%)	Sand percentage (%)	Unit weight (kg/m ³)				
					Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	
								5~15 (mm)	15~25 (mm)
25	7	1.5	50	39	185	370	675	523	523

した方がよいと思われるが、フシの幅をあまり小さくすることはフシ自身の強度ばかりでなく、圧延上からも制約されるので、試作材のフシ幅はフシ間隔 8mm の場合 (F 材) を例外として最小を 2.5mm とした。

2.2 コンクリート

セメントは小野田早強ポルトランドセメントを使用し、骨材は砂、砂利とも宮城県白石川産のもの (粗骨材の最大寸法 25mm) を使用した。Table 2 はコンクリートの配合を示したものである。コンクリートの圧縮強度および引張強度は、それぞれ大略 300kg/cm² および 28kg/cm² であった。なお、付着特性にはコンクリートの乾燥状態が大きな影響をもっているため、この実験では湿潤状態のコンクリートについて実験を行った。

3. 横ひびわれ

鉄筋コンクリート部材の引張部のコンクリートには、鉄筋軸と直角方向のひびわれ、すなわち横ひびわれが生ずるものであるが、このような横ひびわれの幅が大きくなると、外観が損なわれるばかりでなく、横ひびわれ部で鉄筋が腐食し耐久性が損なわれるおそれがある。このような、横ひびわれ部における鉄筋の腐食には、主として横ひびわれ分散性と横ひびわれ内部の内側面の形状とが関係する。

3.1 横ひびわれ分散性

横ひびわれが数多く分散して発生すれば、個々のひびわれの幅は小さくなり、鉄筋腐食に対する抵抗性が増すことは明らかである。鉄筋コンクリート部材引張部に発生する横ひびわれは、作用す

る荷重の増加につれてしだいに数が多くなるが、やがてそれ以上荷重が大きくなっても、既存の横ひびわれの近くにかなり高い応力度で発生する 2 次的な横ひびわれ¹⁾ (ひびわれ面は引張軸に直角ではない) を除けば、もはや新たな横ひびわれは発生せず、既存のいわゆる 1 次横ひびわれの幅のみが増大する状態 (いわゆる横ひびわれの定常状態) に達する。この定常状態における 1 次横ひびわれの間隔はばらついているが、その大きさの限界値として最大ひびわれ間隔 ($L_{max.}$) と最小ひびわれ間隔 ($L_{min.}$) とがある^{1,2)}。最大ひびわれ間隔とは、その横ひびわれ間隔の間に新たな 1 次横ひびわれが発生しないような最大のひびわれ間隔のことである。 $L_{max.}$ の値は、コンクリートの性質や鉄筋の間隔、かぶり、表面形状、鉄筋の径などによって影響される。したがってこの $L_{max.}$ の大小によって、横ひびわれの分散性を比較検討することができる。

3.1.1 実験方法

$L_{max.}$ を求めてひびわれ分散性の良否を比較検討するために、鉄筋を中心に埋め込んだ正方形断面の両引供試体を用いた。 $L_{max.}$ を直接測定することはきわめてむずかしく、また $L_{max.}$ を精度高く推定するためには数多くの実験供試体を必要とすること、数多くの供試体を一定の実験条件に保たなければならないことなどの困難がある。本実験では、Fig. 1 に示したような正方形断面の両引供試体にノッチを入れて、横ひびわれの発生を制御することにより $L_{max.}$ を求めた。この方法はきわめて簡便でかなり精度が高められる²⁾。供試体の断面は、D41 について 15cm×15cm とし、D51 については 18cm×18cm とした。長さはそれぞれ 3 m 前後のコンクリート柱状のもので

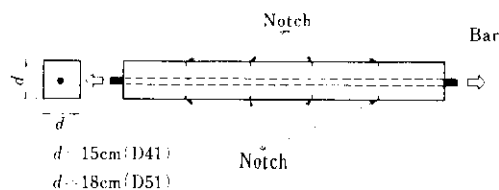


Fig. 1 Axially loaded specimen

ある。

なお、ひびわれ発生にはコンクリートの乾燥状態が影響するので、本実験では湿潤状態のコンクリート供試体を用いている。

Photo. 1 は実験に用いた太径異形鉄筋の付着



Photo. 1 Test equipment of bond properties

性試験装置を示したものである。供試体は、自重の影響が大きくならないようにローラーの上におき、鉄筋応力度が $3\,000\text{kg/cm}^2$ になるまで両引载荷した。

3・1・2 実験結果および考察

Fig. 2 は、D41とD51の横フシ間隔 l と $L_{\max}$ との関係を示したものである。D41の場合、横フシ高さはあまり差がないが、横フシ間隔が小さくなるほど $L_{\max}$ が小さくなる。すなわち横ひびわれ分散性がよくなる傾向にあることがわかる。D51切削材を用いた場合、横フシ高さが同じものの値でみると、横フシ間隔が小さくなれば、横ひびわれ分散性がよくなる傾向がさらに明瞭にみられる。

D51ロール材の場合は、横フシ間隔12mmと15mmとはあまり差がみられないが、12mmの方がいくぶんよく、横フシ間隔30mmのもの

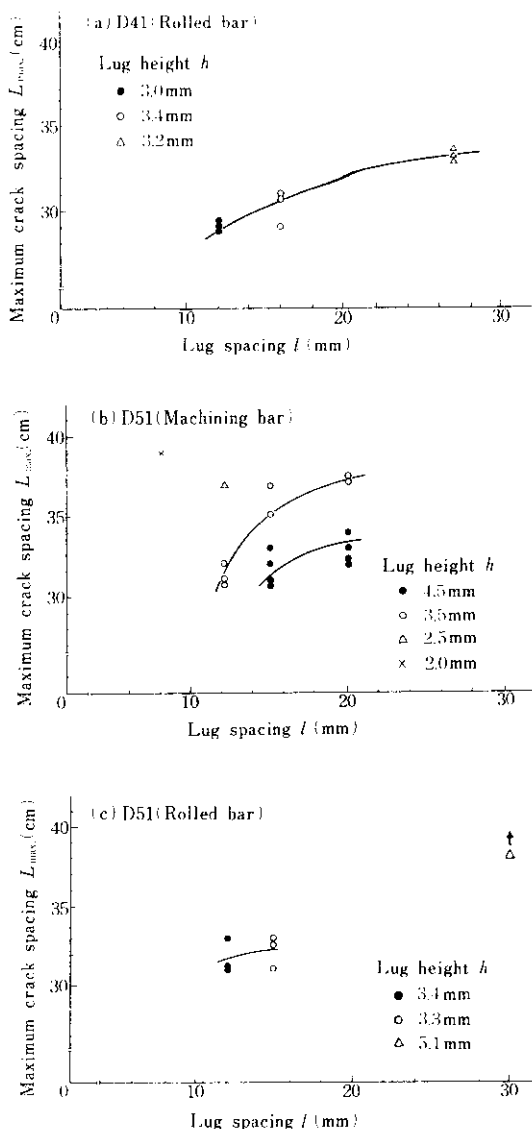


Fig. 2 Relation between lug spacing and maximum crack spacing

は、フシ高さが他のものよりも高いにもかかわらず、横ひびわれ分散性がかなり悪いという傾向がみられる。

Fig. 3 は、D51切削材を用いた場合の横フシ高さと $L_{\max}$ との関係を示したものである。この場合、横フシ間隔が同じものの値でみると、横フシ高さが高いほどひびわれ分散性がよくなる傾向がみられる。

以上のことから、この実験に用いたフシ高さと

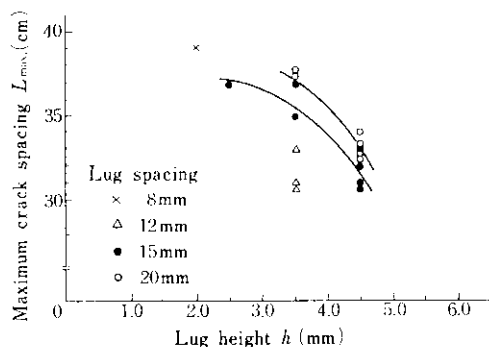


Fig. 3 Relation between lug height and maximum crack spacing (D51 machining bar)

フシ間隔との範囲内では、フシ間隔をせまくするほど、またフシ高さを高くするほど横びわれ分散性はよくなることがわかる。

3・2 横びわれ内側面の形状

引張を受ける異形鉄筋の周辺のコンクリートに発生する横びわれ部においては、部材内部でのびわれ幅は部材表面でのびわれ幅より、一般にかなり小さくなっている²⁻⁴⁾。このような横びわれ内部の内側面の形状が、鉄筋の腐食に密接に関係することは明らかである。

横びわれ内側面の形状は、鉄筋の種類、応力度、かぶり、間隔およびコンクリートの性質などに影響されるが、この実験では特に大きい影響をおよぼすと考えられる鉄筋の表面形状、かぶりについて検討を行った。

3・2・1 実験方法

横びわれ内側面の形状は、両引供試体を用い

Table 3 Internal deformation of lateral crack (D51 rolled bar)

(a) Cover : 6.5cm (Bar stress 2000 kg/cm²)

Specimen No.	Type of bar	Dimension		Measurement value($\times 10^{-3}$ mm)			
		Cross section (cm $\times$ cm)	Length (cm)	l_a	l_b	l_c	$l_d/2$
1	H	18 $\times$ 18	26+26	39	—	92	114
2				47	—	105	108
3				36	85	118	108
4				48	75	107	108
Average				43	80	106	110
5	I	18 $\times$ 18	26+26	34	—	101	122
6				48	—	106	112
7				36	84	104	110
8				48	72	114	115
Average				42	78	106	115
9	J	18 $\times$ 18	26+26	53	—	100	100
10				37	—	106	103
11				32	84	108	102
12				57	89	111	110
Average				45	87	106	104
13	K	18 $\times$ 18	26+26	47	—	120	119
14				48	—	125	124
15				37	74	112	119
16				42	82	100	117
Average				44	78	114	120

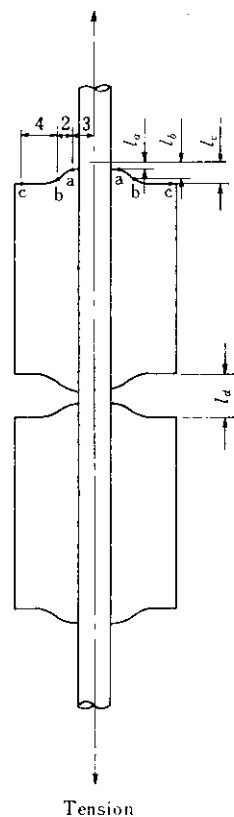


Table 3 Internal deformation of lateral crack (D51 rolled bar)
(b) Cover : 10cm (Bar stress 2 000 kg/cm²)

Specimen	Type of	Dimension		Measurement value ($\times 10^{-3}$ mm)		
No.	bar	Cross section (cm $\times$ cm)	Length (cm)	l_t	l_h	l_r
17	H	25 $\times$ 25	36	38	110	165
18				30	134	159
19				47	101	138
20				39	108	148
Average				39	113	153
21	I	25 $\times$ 25	36	33	120	158
22				44	124	164
23				47	116	129
24				33	108	152
Average				39	117	151
25	J	25 $\times$ 25	36	43	104	171
26				37	129	133
27				47	108	159
28				41	82	139
Average				42	106	151
29	K	25 $\times$ 25	36	67	120	163
30				30	86	141
31				48	100	159
32				59	122	141
Average				51	107	151

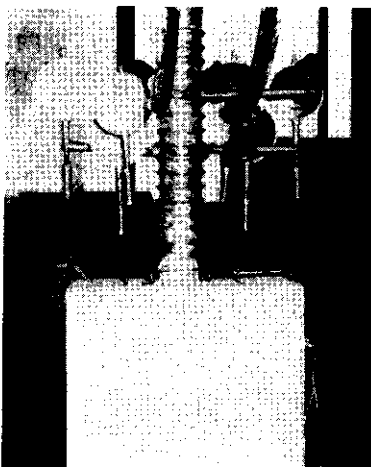
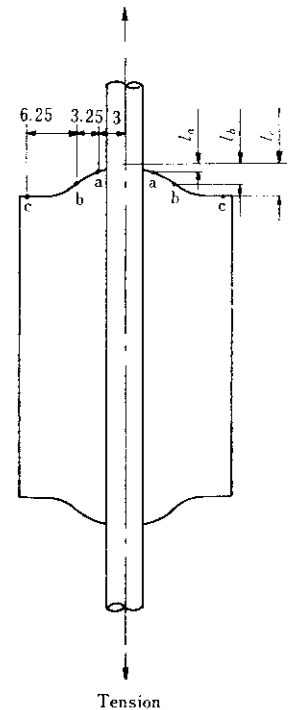


Photo. 2 Test equipment of internal deformation of lateral crack

てコンクリート端面の鉄筋に対する相対変位を調べることによって検討した²⁾。Photo. 2 は、供試体に測定装置をセットした状態を示したものである。供試体の長さは、それぞれの供試体断面に対する最大ひびわれ間隔に近い長さとした。

3・2・2 実験結果および考察

Table 3 はD51ロール材でかぶり 6.5cm と 10cm の場合の横ひびわれ内側面の形状の測定結果を示したものである。これらの結果から鉄筋応力度 2 000kg/cm² のときの横ひびわれ内側面の形状の一例をえがくと Fig. 4 のようになる。Fig. 4 をみると、鉄筋表面でのひびわれ幅は、かぶり 6.5cm の場合部材表面でのひびわれ幅の約40%であり、かぶり 10cm の場合は20%とな

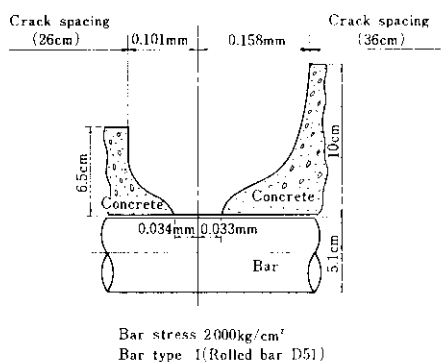


Fig. 4 Examples of internal deformation of lateral cracks

る。このようにかぶりが大きいと、横ひびわれ間隔、部材表面でのひびわれ幅とも大きくなる。しかし、横ひびわれ内部の異形鉄筋表面でのひびわれ幅はあまり変っていない。このことは、かぶりを大きくして用いることの多い太径異形鉄筋の場合、腐食に対する配慮から許容ひびわれ幅を決める際に考慮すべき重要な知見であると考えられる。横ひびわれ内側面の形状におよぼす鉄筋表面形状の影響は、かぶりが小さい場合はあまり明瞭ではなかったが、かぶりが大きい場合には、フシ間隔の小さいものはフシ間隔の大きいものに比べて、鉄筋表面でのひびわれ幅は5～30%小さい。

4. 内部ひびわれ

異形鉄筋に働く引張力が大きくなると、従来はフシ前面のコンクリートが圧壊するか、またはフシとフシとの間のコンクリートがフシの高さの面でせん断破壊すると考えられていた⁵⁻⁷⁾が、鉄筋コンクリート構造においては、異形鉄筋のフシ頂部よりコンクリートに向かって発生する部材表面に現われない内部ひびわれが、数多くあることが明らかにされ、前記のフシ前面における圧壊や、フシの頂部を連ねた面におけるせん断破壊などは生じないことが明らかにされた¹⁻⁴⁾。

これらの内部ひびわれは、1次横ひびわれが発生するとまもなく、その横ひびわれ面に近いコンクリート内部のフシの頂部より発生しはじめ、鉄筋応力度の増加につれて次々と遠いフシの頂部より発生し、その数を増していくものである。これらの内部ひびわれは、異形鉄筋とコンクリートとの相互の応力伝達にきわめて重要な役割をしており、また定着部や重ね継手部における付着破壊の主な原因となる継ひびわれの発生^{9,10)}や、前述の横ひびわれ内側面の形状にも関係していると考えられる。

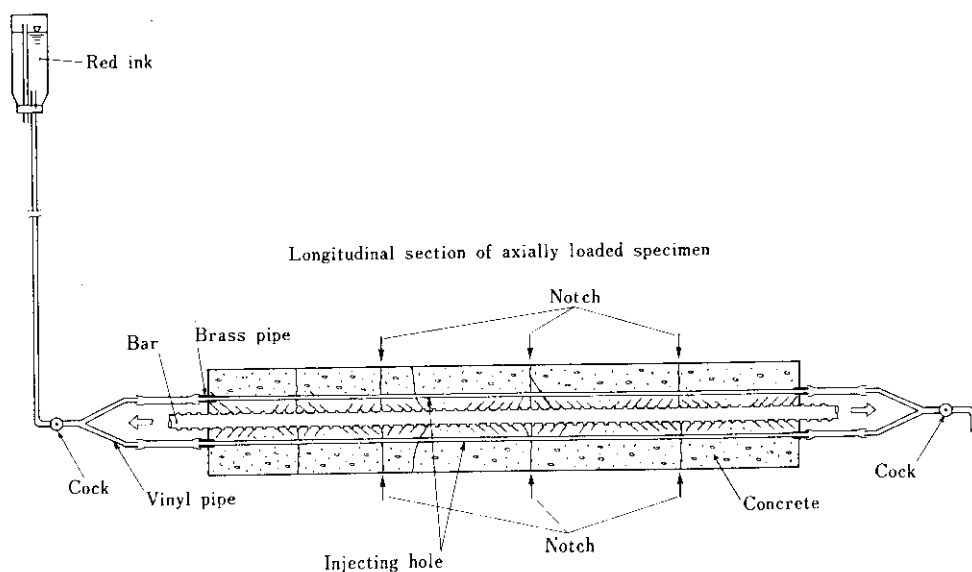
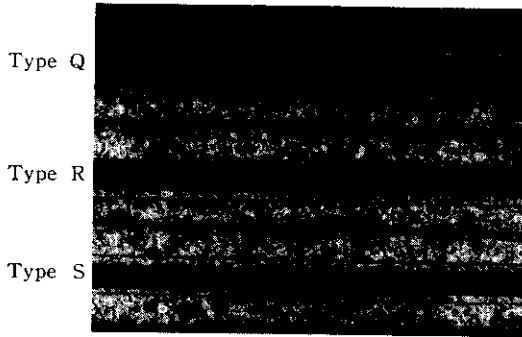


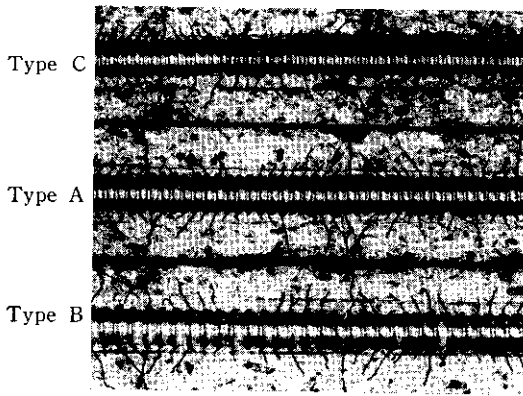
Fig. 5 Equipment for injection of ink

4.1 実験方法

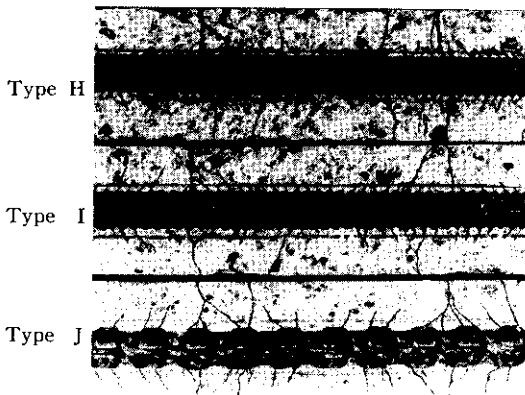
内部ひびわれの発生状況は、Fig. 5 に示したように両引供試体のコンクリート中に鉄筋からわずかに離して鉄筋と平行に細い孔をもうけ、その孔の中に両引载荷前から赤インクを圧入しつつ载荷し、除荷後鉄筋軸を含む面で縦割りにして調べた。



(a) D41 (Rolled bar)



(b) D51 (Machining bar)



(c) D51 (Rolled bar)

Photo. 3 Internal cracks

4.2 実験結果および考察

Photo. 3 は D41 ロール材、D51 切削材および D51 ロール材の太径異形鉄筋周辺のコンクリートの内部ひびわれ発生状況を示したものである。

D41 ロール材のフシ間隔は 12mm, 16mm および 27mm, D51 切削材は 12mm, 15mm および 20mm, D51 ロール材は 12mm, 15mm および 30mm のそれぞれ 3 種の鉄筋による結果である。これらの結果よりわかるように、太径異形鉄筋の場合にも、細径の場合と同様にフシ部から発生している内部ひびわれが数多くみられる。内部ひびわれの鉄筋軸とのなす角度は 60° 前後である。フシ間隔と内部ひびわれの長さとの関係についてみると、一般的にいて、フシ間隔が大きければ内部ひびわれの数は少なく長さが長い。またフシ間隔が小さければ長さの短い内部ひびわれが数多く発生する⁴⁾。フシ間隔を 12mm とせまくしても、ほとんど各フシから内部ひびわれが発生することからみて、フシ間隔をかなり小さくしても、鉄筋からコンクリートへの力の伝達には確実に鉄筋の各フシからなされていることがわかる。したがって、フシ間隔を大きくした場合に比較して、力の伝達状況はフシ間隔を小さくした方が鉄筋軸方向によりなめらかになると考えられる。これは、鉄筋コンクリート部材における鉄筋の疲労強度により影響をおよぼすものと考えられる。太径異形鉄筋を使用したはりの疲労強度が、細径の場合に比べて小さくなるという実験結果が報告⁹⁾されているが、このようなことは、フシ間隔の小さな鉄筋を使用すればかなり改善できるものと考えられる。

5. 定着特性

引張異形鉄筋のはり定着部などにおける異形鉄筋の定着特性は、定着破壊が直接構造物の破壊につながるおそれがあるので、きわめて重要であると考えられる。

異形鉄筋の定着部の破壊は、主として異形鉄筋周辺のコンクリートが鉄筋軸方向に割裂する、いわゆる縦ひびわれを生ずるためであることが多い。このような縦ひびわれの発生・成長は、主と

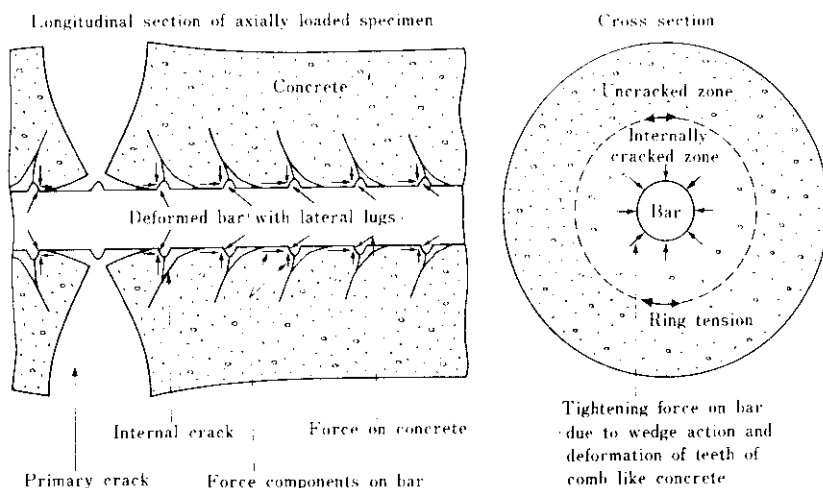


Fig. 6 Deformation of concrete around deformed bar after formation of internal cracks (schematic diagram)¹⁾

して鉄筋周辺の内部ひびわれによって、くしの歯状 (Fig. 6 参照) となったコンクリートの変形とフシ前面のくさび作用とによって、異形鉄筋周辺のコンクリートに働くリングテンションによるものであり、異形鉄筋の表面形状に大きく影響される⁹⁾。

5.1 実験方法

Fig. 7 は本実験に用いた供試体の形状を示したものである。これは、単鉄筋断面の単純支承ばりのせん断スパンに、斜ひびわれが発生したあとのはりの端部に相当する形状の供試体である。供試体は Fig. 7 のようにスターラップで補強し、支承から鉄筋自由端までは、鉄筋とコンクリートとの付着が切っている。Fig. 7 の矢印のように支点および反力を取り、鉄筋を引張载荷した。载荷中、ひびわれの発生・成長状況を観察すると同時に、鉄筋自由端滑動量をダイヤルゲージ ($1/1000\text{mm}$) で測定した。なお鉄筋はD41ロール材とD51ロール材を使用した。

Photo. 4 は供試体を载荷装置にセットした状態を示したものである。この装置は横ひびわれ分散性を調べた太径異形鉄筋付着性試験装置にアタッチメントを取付け、定着特性を調べられるようにしたものである。

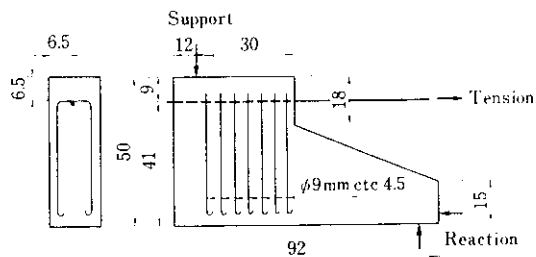


Fig. 7 Dimension of semibeam specimen (unit: cm)



Photo. 4 Semibeam test equipment

5.2 実験結果および考察

鉄筋コンクリートばりにおける太径異形鉄筋の定着特性を調べる実験を行った結果、供試体の破

壊の一般的性状は次のようであった。荷重の増加につれて、供試体の鉄筋載荷端面より、鉄筋となす角度の小さい斜ひびわれが発生し、これが鉄筋に沿ってしだいに支点の方に向かって成長した。さらに荷重を増加させると、このひびわれが支点に近づくとともに、支点と鉄筋自由端との間のコンクリートが鉄筋軸方向に急激に割裂して供試体が破壊した。この破壊の状況は、異形鉄筋を用いた普通の鉄筋コンクリートばりの定着破壊の状況によく似ていた。Photo. 5 は破壊状況の一例を示したものである。

Fig. 8 は、付着応力度と鉄筋自由端滑動量との関係の一例を示したものである。供試体の鉄筋は荷重の増加につれて徐々に滑り出すが、ある程度荷重が増加すると急激に滑りが大きくなり、ついには鉄筋軸方向の縦ひびわれの成長とともに抜け出した。Table 4 は、これらの結果を自由端滑動量 0.1mm, 0.25mm および最大荷重時について整理したものである。フシ間隔の小さい鉄筋H材 (12mm), I 材 (15mm) とフシ間隔の大きい鉄筋J 材 (30mm) とを比較すると、前者は鉄筋滑動量が小さいうちは後者よりも付着応力度が大きい。最大荷重時近くなり、供試体の縦ひびわれがかなり成長し、ほとんどスターラップだけで割裂付着破壊を防止しているような状態になると、両者の差は小さくなる。

Fig. 9 は比較のために行った普通の引抜試験の

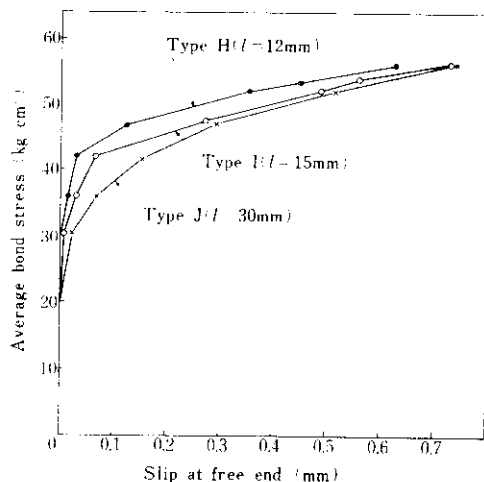
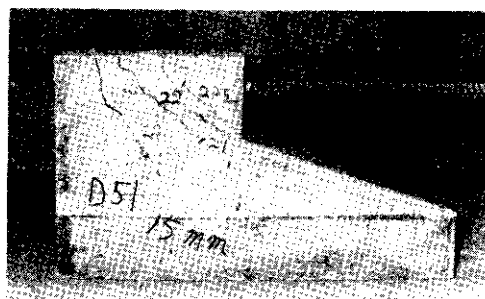


Fig. 8 Bond stress slip curves (semibeam test)

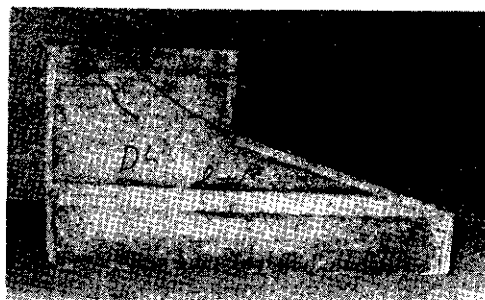
結果を示したものである。Fig. 9 をみると、鉄筋自由端滑動量の多少にかかわらず、4 種の鉄筋の間には明瞭な差は認められない。この結果は、前記の通り端部における定着性の実験の結果とかなり異った傾向を示しており、このことからみると、引抜試験の結果だけで異形鉄筋の定着性を調べることはむずかしいと考えられる。

6. 重ね継手特性

太径異形鉄筋の重ね継手は、一般にはあまり用



Specimen No. 7



Specimen No. 8



Specimen No. 9

Photo. 5 Examples of failed semibeam specimens (D51 rolled bar, I type)

Table 4 Results of semibeam test

Specimen No.	Type of bar	Dimension of lug (mm)			Average bond stress(kg/cm ²)			Compressive strength of concrete (kg/cm ²)
		Spacing	Height	Width	$\tau_{0.1}$	$\tau_{0.25}$	τ_{max}	
1	Q	12	3.0	3.2	73	78	80	320
2	R	16	3.4	2.8	63	67	69	320
3	S	27	3.2	5.2	54	56	60	320
Average					63	67	70	320
4	H	12	3.4	3.0	54	61	64	342
5					46	50	56	316
6					43	50	57	327
Average					48	54	59	328
7	I	15	3.3	3.5	50	57	68	342
8					43	47	56	316
9					39	47	50	327
Average					44	50	58	328
10	J	30	5.1	5.0	52	58	67	342
11					38	45	56	316
12					28	45	50	327
Average					39	49	58	328

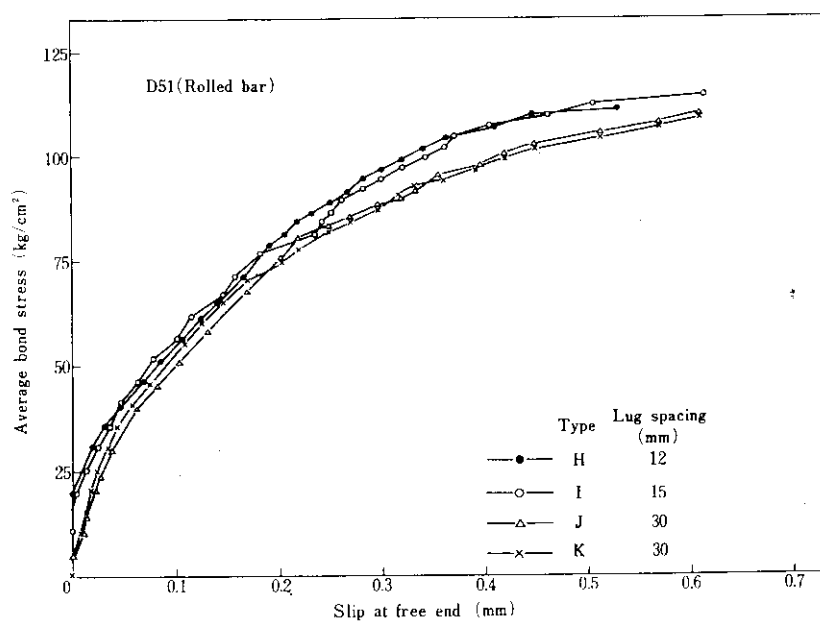


Fig. 9 Bond stress-slip curves (pull-out test)

いられていない。それは、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準や、アメリカの ACI 規準などで太径異形鉄筋の重ね継手が禁止されていることばかりでなく、太径異形鉄筋自身が新しい材料であるため、研究や施工例が少なく、まだ明らかにされていない点が多いことにもよるものと思われる。しかし、太径異形鉄筋の重ね継手は、現場の状況によっては施工性、経済性などの面から他の継手工法に比べてきわめて有利となる場合が多く、実用化が望まれている。したがって、太径異形鉄筋の重ね継手の実用化を検討することはきわめて大切であるといえよう。

6.1 実験方法

太径異形鉄筋の重ね継手の実験には、Fig. 10 に示したような2組の重ね継手を平行にもうけた両引供試体を用いた。鉄筋はすべて I 材 (D51)

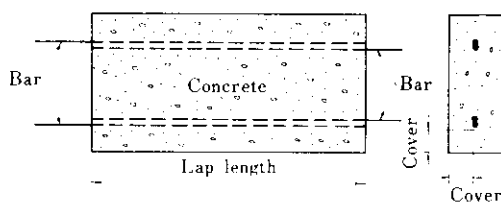


Fig. 10 Specimen of lap splice

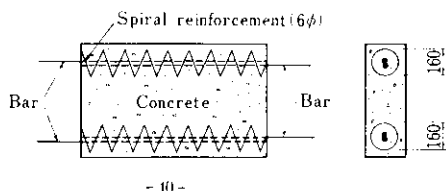


Fig. 11 Specimen of lap splice with spiral
(unit : mm)

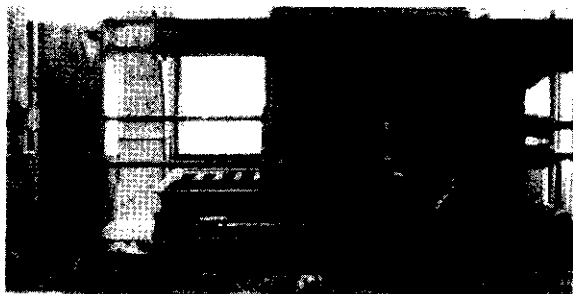


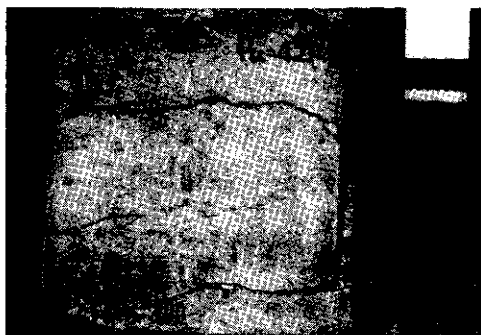
Photo. 6 Lap splice test equipment

ール材)を用いた。かぶりは6.5cmと10cmの2種とし、重ね合わせ長さは鉄筋直径の10倍(51cm)から35倍(179cm)まで種々に変えた。また、重ね継手の補強方法の一つとして、Fig. 11 に示したようにスパイラル鉄筋で継手部を巻いた場合の補強効果を調べた。

Photo. 6 は、供試体を載荷装置にセットした状態を示したものである。この装置は、横ひびわれ分散性を調べるために用いた太径異形鉄筋の付着性試験装置の台車部およびフレーム部に、それぞれ2本の鉄筋を同時につかむことができるようにアタッチメントを取付けたものである。この装置によれば2本の鉄筋を同じひずみで引張载荷できる。

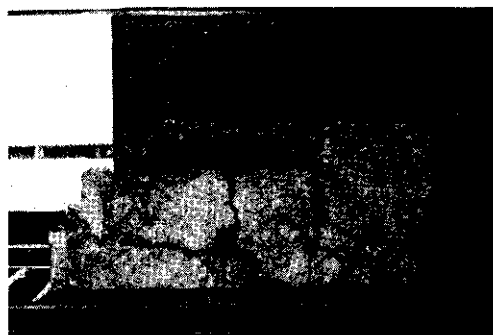
6.2 実験結果および考察

両引供試体を用いて行った太径異形鉄筋の重ね継手の実験において、補強しない供試体の一般的な破壊性状は次のようであった。かぶり6.5cmにおいて、重ね合わせ長さが鉄筋直径の10倍(10D=51cm)と小さいときは、継手部には横ひびわれは発生せず、継手端部(供試体端部)に発生した縦ひびわれが急激に成長し、供試体全体が割裂付着破壊を生じた。Photo. 7 はその一例を示したものである。しかし、重ね合わせ長さが20D(102cm)以上になると、継手部に何本かの横ひびわれが発生し、やがて継手端部に発生した縦ひびわれが荷重の増加につれてしだいに成長し、重ね合わせ長さの約1/2程度まで成長すると、



Lap length : 51cm
Cover : 6.5cm

Photo. 7 An example of a failed lap splice
(No spiral reinforcement, D51)



Lap length : 102cm
Cover : 6.5cm

Photo. 8 An example of a failed lap splice
(No spiral reinforcement, D51)

急激に残りの継手全部が割裂破壊した。Photo. 8はその一例を示したものである。かぶりが6.5cmの場合は重ね合わせ長さを $35D$ (179cm) と長くしても同様に破壊した。かぶり 10cm の場合、破壊の性状はかぶりが6.5cmの場合とほぼ同じであるが、同じ重ね合わせ長さについてみると、継手部に発生する横びわれの数が少なくなり、また破壊強度も高くなった。特に重ね合わせ長さが $35D$ (179cm) の場合には、鉄筋が降伏するまで供試体は破壊しなかった。

スパイラル鉄筋で継手部を補強すると、縦びわれの発生はやや遅くなる程度で、補強しない場合に比べてあまり差はなかったが、発生したあとの縦びわれの成長はきわめて遅く、また破壊強度は補強しない場合に比べて20~40%高くなった。

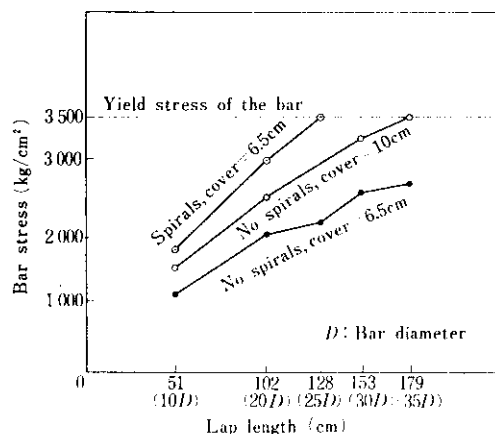


Fig. 12 Strength of the lap splices

Fig. 12 は、継手破壊時の鉄筋応力度と重ね合わせ長さとの関係を示したものである。かぶり 6.5cm の場合、かぶり 10cm の場合およびかぶり 6.5cm でスパイラル補強をした場合の結果を示したものであるが、Fig. 12 から、I 材 (D51 ロール材) の重ね継手の破壊強度は、重ね合わせ長さが長いほど、またかぶりが大きいほど大きくなること、また十分な継手強度を得るためには、スパイラル補強しない場合にはかぶり 10cm 以上で重ね合わせ長さ $35D$ (179cm) 以上必要であること、スパイラル補強すれば、かぶり 6.5cm 以上で重ね合わせ長さ $25D$ (128cm) 以上とすればよいことなどがわかる。

7. む す び

以上、市販および試作の表面形状の異なった太径異形鉄筋 (主として D51) を用いて付着特性を調べる実験を行った。試作材の表面形状についてはいずれも直角横フシとし、フシとフシとの間にコンクリートが十分密にはいること、実際の圧延上の制約があること、フシ自体の強度も必要であることなどを考慮して、フシ間隔を 12~20mm (F 材は例外)、フシ高さを 2.0~4.5mm、フシ幅を 2.5~3.5mm (F 材は例外) とした。実験の範囲内で次のことがいえる。

(1) 直径 51mm の太径異形鉄筋の横びわれ分散性についてみると、実験に用いた鉄筋のフシの間隔、高さ、幅などの寸法の範囲内では、フシの間隔をせまくし、フシの高さを高くすれば横びわれ分散性がよくなる傾向がある。切削材の横びわれ分散性は、フシ間隔 15mm でフシ高さ 4.5mm の鉄筋が最もよく、ついでフシ間隔 12mm でフシ高さ 3.5mm の鉄筋がよい。圧延材のフシ間隔 12mm と 15mm との間では、横びわれ分散性に大きな差異はみられない。これらは、切削材のフシ間隔 15mm、フシ高さ 4.5mm の値に匹敵している。

(2) 両引試験によって調べた横びわれ内側面の形状についてみると、太径鉄筋の場合は、細径鉄筋の場合と同様に鉄筋表面でのびわれ幅は、部材表面でのびわれ幅よりもかなり小さくなっ

ている。たとえば、D51でかぶり6.5cmとして鉄筋応力度 2000kg/cm^2 とした場合、鉄筋表面にごく近いところのひびわれ幅は、部材表面でのひびわれ幅の30~40%程度であり、かぶり10cmの場合には20~30%程度となる。

また、かぶりを大きくするとひびわれ間隔は大きくなり、それに応じて部材表面でのひびわれ幅も大きくなるが、鉄筋表面でのひびわれ幅はかぶりの大小によってはほとんど差がみられない。このことは、かぶりを大きくして用いることの多い太径異形鉄筋のひびわれに対する許容引張応力度を定める際に考慮すべき重要な点であると考えられる。

なお、フシ間隔の影響は、かぶりが小さいときは明瞭ではないが、かぶりが大きいときはフシ間隔が小さいほど鉄筋表面でのひびわれ幅は小さくなる傾向がみられる。

(3) 引張を受ける太径異形鉄筋の周辺のコンクリートには、細径の場合と同様に数多くの内部ひびわれが発生する。内部ひびわれは各フシの頂部から発生し、その鉄筋軸とのなす角度は 60° 前後である。また一般的にいて、フシ間隔が大きければ内部ひびわれの数は少なく、長さが長く、フシ間隔が小さければ内部ひびわれの数が多く、長さが短かい。

フシ間隔をかなり小さくしても、内部ひびわれは横ひびわれ面に近いところからほとんどとばず次々と各フシの頂部に発生していることからみて鉄筋からコンクリートへの力の伝達状況が鉄筋軸方向によりなめらかとなり、特に繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材における異形鉄筋

の疲労により影響をおよぼすものと考えられる。

(4) 単鉄筋断面の単純支承ばりのせん断スパンに、斜ひびわれが発生したあとのはり端部に相当するような供試体によって、D51の圧延材を用いて定着性を調べた結果、最大付着応力度は、フシ間隔の大小によってあまり差は認められないが、鉄筋自由端滑動量に対する付着応力度の割合は、フシ間隔が小さいと大きくなる傾向がある。

なお、参考のために行った普通の引抜試験の結果によると、最大付着応力度においても、鉄筋自由端滑動量と付着応力度との関係においても、フシ間隔の違いによる影響は明瞭でない。これは前記のはり端部における定着特性の実験結果とかなり異なった傾向を示しており、引抜試験の結果だけから定着性を調べることはむずかしいと考えられる。

(5) 太径異形鉄筋の重ね継手の実験を行った結果、まだ実験数が少なく明瞭な結果は得られなかったが、重ね継手も、重ね合わせ長さ、かぶりの大きさ、スパイラル鉄筋による補強などに適当な配慮をすればかなり有用であることがわかった。

(6) 以上(1)~(5)に述べたことがらを総合し、ふし高さは4mm程度とすることが望ましいが、圧延上の制約から3.5mm程度が適当であること、ふし高さを3.5mm程度とした場合、ふし間隔15mmと12mmとでは性能においてあまり差のないことを配慮して、現状ではふし間隔15mm、ふし高さ3.5mm程度、ふし幅3mm程度の横ふし異形鉄筋(D51)を実用するのが適当と考えられる。

参 考 文 献

- 1) Yukimasa Goto : Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars, ACI Journal, 68 (1971) 4
- 2) 後藤幸正, 植田紳治, 満木泰郎 : 鉄筋コンクリート部材引張部のひびわれに関する研究, コンクリートライブラリー第14号, (1965), [土木学会]
- 3) 後藤幸正, 嶋文雄, 大塚浩司 : 太径異形鉄筋の付着性についての研究, 第28回年次学術講演会講演概要集, (1973), [土木学会]
- 4) 後藤幸正, 嶋文雄, 大塚浩司 : 太径異形鉄筋のひびわれ特性について, 第29回年次学術講演会講演概要集, (1974), [土木学会]
- 5) Leroy A. Lutz and Peter Gergely : Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete, ACI Journal, 64 (1967) 11
- 6) 坪井善勝, 矢代秀雄 : ねじり棒鋼に関する基礎的実験, 生産研究, 15 (1963) 1

- 7) 村田二郎：JIS 解説・鉄筋コンクリート用棒鋼，建築技術，(1964) 12, 160
- 8) 国分正胤，岡村甫：太径鉄筋の使用に関する研究，土木学会論文報告集，(1972) 202
- 9) 後藤幸正，大塚浩司，村山哲夫：引張異形鉄筋周辺のコンクリートに発生する縦ひびわれについて，第23回年次学術講演会講演概要集，(1968)，〔土木学会〕
- 10) 後藤幸正，大塚浩司：異形鉄筋の重ね継手の破壊機構について，第27回年次学術講演会講演概要集，(1972)，〔土木学会〕

