

異形鉄筋の付着に関する一実験

— ひびわれ特性比較標準試験方法について —

東北大学工学部	学生員	朝倉肇
東北大学工学部	学生員	大塚浩司
東北大学工学部	学生員	佐々木俊朗
東北大学工学部	学生員	大銅晴雄

1 はじめに 最近、高強度異形鉄筋が広く使用されるようになって来たが、それは普通丸鋼を使用する場合と比べ、次のような利点があるためである。

まず、異形鉄筋は定着性が良いことである。普通丸鋼ではフックが必要な個所も、異形鉄筋を使用すれば一般にフックを省略出来ることが認められている。

次に、鉄筋コンクリート部材の引張側に発生するひびわれは、部材の耐久性に影響をもつと考えられるので、このひびわれ中にある有害な値以内にとどめねばならないが、異形鉄筋は引張鉄筋として使用した場合、普通丸鋼に比べ、コンクリート表面に横ひびわれが数多く分散して発生し、個々のひびわれ間隔が狭くなり、したがって、ひびわれ巾が小さくなる。ひびわれ部の鉄筋腐食の点せらめると、コンクリート表面におけるひびわれ巾ばかりでなく、ひびわれ内部の鉄筋露出巾が大きい影響をもっていると考えられるが、異形鉄筋を用いたとき、鉄筋露出巾は丸鋼を用いたときと比べると、かなり狭くなる。

異形鉄筋は、以上述べたような特性があるために、土木学会コンクリート標準示方書では、異形鉄筋の許容引張応力度を丸鋼よりも高くとっても良いことが規定されている。しかし、市販の異形鉄筋には多くの種類があり、そのフシの形、高さ、角度、間隔等の表面形状には、かなりの相違があり、これらの表面形状は、疲労特性、定着特性、ひびわれ特性などに大きな影響を及ぼすもので、異形鉄筋としての特性を、十分発揮出来るような表面形状を有するか否かを、比較検討する試験方法や基準が必要である。

異形鉄筋の付着性状を比較する試験方法として、引抜試験がよく用いられ、その試験結果と、定着性との間にある程度の相関関係があることが認められているが、供試体中の応力状態は、鉄筋コンクリート部材のそれとまったく異なっているために、ひびわれ特性を比較する方法としては、不適当と考えられる。引抜試験の他にも、種々の試験方法が提案されているが、いずれも、このひびわれ特性を簡単に比較出来る方法ではない。

筆者等は、数年前より、異形鉄筋を使用した両引供試体により、引張鉄筋周辺に発生するひびわれについての、一連の研究を行ってきたが、これらの研究結果を基にして、ひびわれ特性を比較する標準試験方法を検討したので、その結果について報告する。

2. ひびわれ特性について 異形鉄筋を使用したコンクリート部材の鉄筋周辺に発生するひびわれには、鉄筋軸方向と直角な方向に発生する横ひびわれと、鉄筋軸方向に発生する縦ひびわれ、そして、コンクリートの表面には現われないうが、内部の鉄筋周辺に発生する、内部ひびわれがある。

しかし、鉄筋コンクリート部材の耐久性と密接な関係にあるひびわれ特性としては、横ひびわれの巾、および間隔と、横ひびわれ内部の側面形状（鉄筋露出巾）とが考えられる。この報告では、横ひ

びわれの特性を比較するための方法を検討したものであり、内部びわれや、縦びわれについては述べていない。

1). 横びわれの隔、および巾 鉄筋コンクリート部材の引張側に発生する横びわれの本数が、もはやそれ以上増加しない程度まで載荷されている場合に、その発生したびわれは、一般に一定の隔には発生せず、やはりばうつくものである。しかしながら、それらのびわれ隔は、普通丸鋼を使用した場合は、次式のような一般法則に大略従っていることが認められている。

$$L_{min} \leq L \leq L_{max}$$

$$L_{max} = 2 L_{min}$$

L_{max} = 最大びわれ隔

L_{min} = 最小びわれ隔

異形鉄筋を使用した場合は、まず初めに、上の一般法則に大略従った横びわれ（一次横びわれと呼ぶ）が発生した後、鉄筋応力度がかなり高くなってから、既存の一次横びわれの近くに新たな横びわれ（二次横びわれと呼ぶ）が発生し、横びわれ隔が最小びわれ隔より短くなることがある。

又、びわれ巾の大きさは、びわれ隔の値に比例していることが分っているので、実際に発生しうる最大のびわれ巾は、隣合った最大びわれ隔にはさまれた、びわれ巾であり、その最大びわれ巾は、異形鉄筋の表面形状によって異なる最大びわれ隔の値に比例している。よって、最大びわれ隔を短くするような表面形状をもつ異形鉄筋が、最大びわれ巾を狭くするものである。したがって、それぞれの異形鉄筋の最大びわれ隔を求めることが、ぜひ必要である。

最大びわれ隔を求める方法として、筆者等は、数年前より次のような方法を考案し、実用している。それは、実際の鉄筋コンクリート部材の引張部と、これとよく似た状態で再現出来ると思われる長い両引張試体に、あらかじめめ少しづつ隔を変えて弱点を入れておき、両引張荷する。まず、その弱点部に一次横びわれが発生し、次にその弱点びわれ隔がその鉄筋固有の最大びわれ隔よりも少し長いような隔には、ほぼその中央に新たな一次横びわれが発生する。しかし、その弱点びわれ隔が最大びわれ隔よりも短い隔には、一次横びわれは発生しない。この方法により、容易に最大びわれ隔が求まる。即ち、新たに一次横びわれの発生する弱点隔のうち、

最も短いものと、発生しない最も長いものとの中間の値が、最大びわれ隔であるが、筆者等は、安全側をとって、新たに一次横びわれの発生する最も短い弱点びわれ隔を、最大びわれ隔としている。この方法により、市販されている異形鉄筋のうち、特にびわれ特性がすぐれていると思われる横フシ異形鉄筋について求めた最大びわれ隔の値を一列として

表-1

長い供試体に弱点を入れる事により求めた最大びわれ隔

鉄筋の種類	鉄筋径 mm	供試体断面 cm	鉄筋比 %	最大びわれ隔 L_{max} cm
横フシ異形	$\phi 19$	6×6	3.69	16
・	16	8×8	3.14	18
・	16	10×10	1.96	26
・	19	8×8	4.47	18
・	19	10×10	2.84	26
・	22	10×10	3.80	24
・	22	12×12	2.72	30
・	25	12×12	3.41	30
・	32	10×10	7.94	21
・	32	12×12	5.57	26
・	32	15×15	3.53	40

$\sigma_s = 300 \text{ kg/cm}^2$
スパン $7 \text{ cm} \pm 2$

表-1に示す。このような実験の過程で、次のような現象があることが分った。それは、上述の方法により、既に求まっている最大びびり水間隔を三個連続して発生させた場合は、図-1(a)のように、びびり水間隔Bには、ほぼその中央に一次横びびり水が発生し、かなり高応力度になってから、両側のびびり水間隔AとCに二次横びびり水が発生することが多い。又、最大びびり水間隔の両側に最小びびり水間隔を連続して、発生させた場合は、図-1(b)のように、最大びびり水間隔Bには、二次横びびり水が発生することが多い。一方、最大びびり水間隔の長さを持つ単独の供試体の場合は、図-1(c)のように、二次横びびり水が発生したり、しなかったりする。

図-1(a)

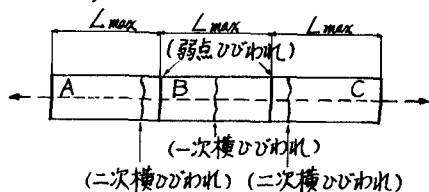


図-1(b)

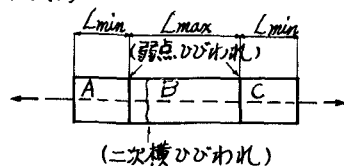
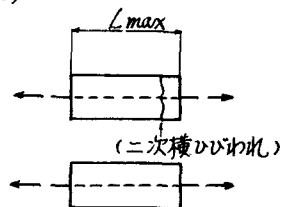


図-1(c)

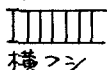


そこで、単独の供試体を使用して、その長さを既に求まっている最大びびり水間隔よりもう少しずつ長くして行き、その側面に横びびり水の入る長さを求める実験を行った結果を、表-2に示す。この結果をみると、単独の供試体は約2割〜3割程度、一次横びびり水の入る長さが長くなることが分った。

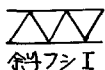
表-2

鉄筋種	鉄筋径 mm	L max cm	断面	供試体寸法 cm															
				長さ															
				17	19	21	22	23	25	26	29	31	32	33	34	36	39	41	
横フシ	φ13	16	6×6	ooo	ooo														
斜フシⅠ					ooo	oo													
波形					xxx														
横フシ	φ16	18	8×8		Δxx	Δx	oΔx	oΔΔ	ooo										
波形								xxx	oxx										
横フシ	φ19	26	10×10							xxx	Δx	ooo							
斜フシⅠ															ooo				
斜フシⅡ												oox			ooo				
波形												oxx			xxx				
横フシ	φ22	24	10×10							oxx	oΔx	ooo							
										oo	oo								
横フシ	φ25	30	12×12												ΔΔ	ΔΔΔ	oΔΔ	ooo	
斜フシⅠ																	oΔΔ	ooo	
斜フシⅡ																		ooo	
横フシ	φ32	26	12×12										xxx	ooo	oo				
斜フシⅠ																oooΔ			
斜フシⅡ																oxx	ooo		

異形鉄筋の表面形状



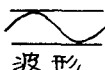
横フシ



斜フシI



斜フシII



波形

○、一次横びびり水の発生した供試体、一個を示す。

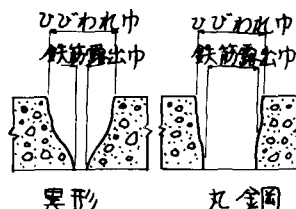
△、二次横びびり水の発生した供試体、一個を示す。

x、横びびり水の発生しなかつた供試体、一個を示す。

2) 横ひびわれの内部形状 ひびわれ内部の側面形状や、鉄筋露出中についての、筆者等の研究結果によると、次のことが判明している。

両引供試体の端面における、コンクリートのふくらみと、鉄筋のすべり出しの状態を測定することによって、ひびわれ内部の側面形状と、鉄筋露出中に関する特性を知ることが可能である。その測定結果によると、異形鉄筋と丸鋼では、コンクリート表面のひびわれ中が同じである、ひびわれ内部における側面形状や、鉄筋露出中は、非常に相違しており、図-2に見られるごとく、鉄筋露出中が小さい。

図-2 ひびわれ内側面形状図



又、ひびわれ特性の良い異形鉄筋程、鉄筋のすべり出しは少なく、鉄筋周辺のコンクリートのふくらみが大きい。このような、ひびわれの内部形状は、鉄筋腐食の面からみて重要な特性であり、種々の異形鉄筋における、これらの測定値を比較することにより、異形鉄筋のひびわれ特性を知ることが出来る。

3. ひびわれ特性比較試験方法について この試験方法は、ひびわれ特性のうち、ひびわれの分散性、即ち最大ひびわれ間隔を短くする特性についての比較試験方法である。

1) 供試体 試験方法としては、十分比較の目的を達する範囲内で、出来るだけ簡単なものにする必要があるので、単独の供試体を用いることにした。使用する標準供試体寸法は、表-3に示す。使用するコンクリートは、 $f_{cm} = 300 \text{ N/mm}^2$ 、スランプ = $7 \pm 2 \text{ cm}$ である。供試体は、所定の養生を終った直後の湿潤状態で測定を行なう。

表-3 標準試験用供試体寸法

鉄筋径 mm	断面 $\text{cm} \times \text{cm}$	長さ cm
$\phi 13$	6×6	20
16	8×8	25
19	10×10	32
22	10×10	30
25	12×12	42
32	12×12	40

2) 荷重を加える方法 荷重は衝撃を与えないように一様に加え、毎分 700~900 N/mm^2 の応力度の増加を標準とする。鉄筋応力度が降伏点に達するまで引張り、供試体側面に発生するひびわれの位置と、発生時の荷重を記録する。

3) 試験結果 鉄筋が降伏する以前に、供試体側面に発生した横ひびわれのうち、供試体長さの中央1/3以内に発生したものを一次横ひびわれとし、それをはすれて発生したものを二次横ひびわれとする。

- 一次横ひびわれが発生した場合は、その異形鉄筋のひびわれ分散性を良と判定する。
- 二次横ひびわれが発生した場合は、その異形鉄筋のひびわれ分散性を可と判定する。
- 横ひびわれが発生しない場合は、その異形鉄筋のひびわれ分散性を不可とする。

4 おわりに 今回の報告においては、ひびわれ特性のうち、ひびわれの分散性についてのみその比較標準試験方法を検討した。

この実験においては、コンクリートの乾燥収縮の影響を除くために、実験直前まで湿潤状態にした供試体を使用した。ひびわれについては、コンクリートの乾燥収縮の影響が非常に大きいことは、論を及ぼさない。