

東京大学 正員 國分正胤

東京大学 正員 ○岡村 甫

東京大学 榎本 松司

1. 序

鉄筋コンクリート構造物における今日の趨勢の一つに部材の大型化が挙げられる。また 都会地ではその立地条件から部材寸法に制限を加えられることも多い。このような場合、複雑過密な配筋となつて、配筋上あるいはコンクリート打設上などの困難が生じ、従来よりも更に太径の鉄筋を使用する要望の切なるものがある。しかし 太径鉄筋を有効に活用するためには、適当なデフォーメーションの選定、これを用いた鉄筋コンクリートばりのひびわれ性状および疲労性状など解決すべき問題点も多い。本研究はこれら太径鉄筋使用上の問題点を解明するために行った実験の結果をとりまとめたものである。

2. 太径鉄筋のデフォーメーション

鉄筋のデフォーメーションが太径鉄筋とコンクリートとの付着性状に及ぼす影響を検討するために、特別に鋳鋼によつて試作した直径51mmの異形棒鋼23種および1種の試作ロール品について引抜き試験を行った。試験に用いた異形棒鋼はフシの角度 $52^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 、フシの高さ $1.4^{\text{mm}}\sim 5.5^{\text{mm}}$ 、フシの間隔 $17.6^{\text{mm}}\sim 36.5^{\text{mm}}$ 、フシのスキマ $8\%\sim 43\%$ のものが含まれている。引抜き試験の供試体は 25cm立方の中心に鉄筋を水平にあきコンクリートを打設して作成したものであつて、試験は 日本コンクリート会議案 に準じて行った。

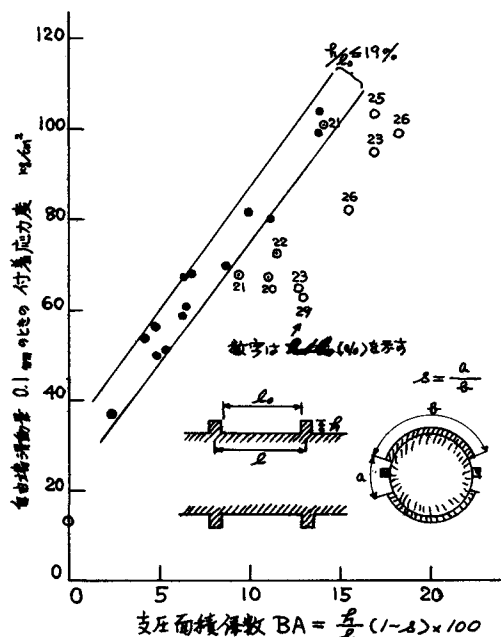
2.1 デフォーメーションの評価関数

異形鉄筋とコンクリートとの付着は主として異形鉄筋のフシがコンクリートを直接圧縮することに行つてゐるので、この支圧面積の大小が異形鉄筋の付着性能にとって最も重要な因子となるものと考えられる。そこで 異形鉄筋の付着性能の評価関数として次式で表わされる支圧面積係数BAを導入した。

$$BA = \frac{f}{l} (1 - \delta) \times 100$$

ここに、 f はフシの高さ、 l はフシの平均間隔、 δ はフシのスキマである。なおBAは 一般の場合 鉄筋直径当りの支圧面積を鉄筋断面積で除した値の25倍に相当する。

自由端滑動量が 0.1mm に達するときの付着応力度 σ_1 とBAとの関係は図-1に示すようであつて、フシの高さがフシとフシとの純間隔 l_0 の

図-1 支圧面積係数BAと付着応力度 σ_1 との関係

20%未満であれば、フシの間隔・高さ・スキマ・鉄筋軸との角度などの如何にかかわらず、付着応力度 $\tau_{0.1}$ は支圧面積係数BAに比例してほぼ直線的に増大している。すなわち BAが5~15に変化すれば $\tau_{0.1}$ は50%から100%に増加している。また 図-2は最大付着応力度 τ_{max} とBAとの関係を示したものであつて、特にフシの間隔の小さい例を除いて 両者の間に一定の関係が存在することが明瞭に認められる。これらのことは 異形鉄筋のデフォーメーションの評価関数として支圧面積係数BAは極めて適切なものであることを示すものである。

2.2 デフォーメーションの選定

図-1は付着応力度 $\tau_{0.1}$ とBAとの関係を示したものであるが、 r/l_0 が0.20以上の白丸印の鉄筋はすべて同じBAをもつ鉄筋に比して $\tau_{0.1}$ は小さく、 r/l_0 が大きくなるほどその低下率が著しいことが示されている。これは フシの高さが純間隔に比して極端に大きくなると、鉄筋母材に近い付近ではフシが有効に働かなくなるので、一定のフシの間隔に対して効果的なフシの高さにはある限度が存在することを示すものであつて、本実験では この限界値 r/l_0 は0.20であると考えられたのである。

フシの純間隔 l_0 はフシ頂部におけるフシの幅をフシの平均間隔 l から差し引いたものであるが、この幅はD51mmの場合ほぼ0.1D程度である。従つて、 $r/l_0 \leq 0.20$ の条件は実用的には $r/D \leq 0.2(l/D - 0.1)$ と書きかえられる。従つて、付着性能に対する適当なデフォーメーションは $r/D \leq 0.2(l/D - 0.1)$ の範囲内でBAが大きくなるような r と l との組合せと云える。図-3において黒くぬりつぶした領域にある r と l との組合せであれば 一般にBAを12以上とすることができ、適切なデフォーメーションと云えよう。

以上の方法は引抜き試験における付着性状を良好とするデフォーメーションを求める方法であつて、この方法で求めた値が直ちにはりその他における付着性状を良好ならしめるとは限らないし、実用上どの程度の付着性が要求されるかは明らかではないが、上記の方法は太径異形鉄筋のデフォーメーションを定める際の一応の目安となる。また、上記の方法によつて異形鉄筋の付着性を評価することもある程度可能と考えられるのである。

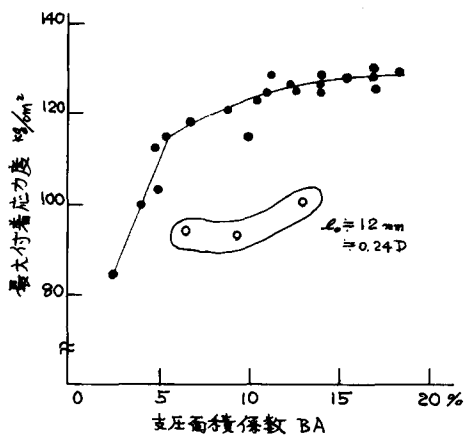


図-2 支圧面積係数BAと最大付着応力度 τ_{max} との関係

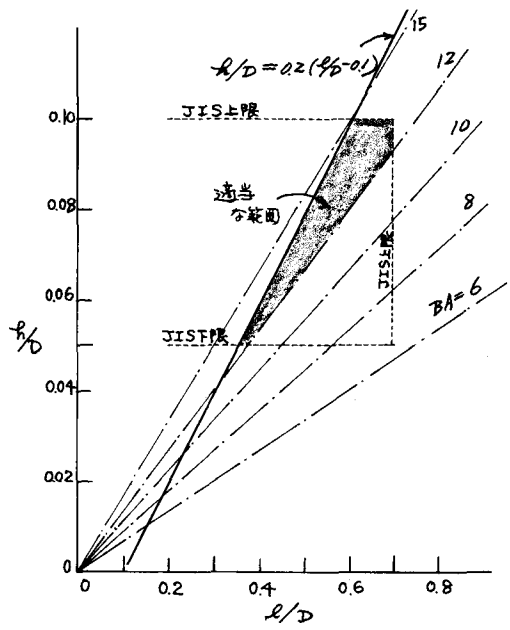


図-3 デフォーメーションの選定方法

3. 太径鉄筋を用いた鉄筋コンクリートはりのひびわれなうび

に疲労性状

土木構造物に用いる鉄筋の許容引張応力度を定める場合には、その降伏点のみならず一般にコンクリートに生ずる曲げひびわれ幅を考慮しなければならないが、太径鉄筋を用いるとこのひびわれが大きくなるおそれがあると云われている。また、鉄道橋のように動荷重の繰り返しの影響が著しい部材に用いる場合には、その疲労性状に慎重な考慮を払う必要があるが、太径鉄筋の疲労性状は寸法効果その他から細径に比して劣ることも考えられる。そこで 直径51mmの異形鉄筋Sおよび直径41mmの異形鉄筋3種S、D、Pならびに比較のために直径25mmおよび16mmの異形鉄筋Sを用いた 高さ300mm、長さ2400mm～5100mmの鉄筋コンクリートはりについて静荷重試験10本および繰り返し載荷試験13本を行った。

繰り返し載荷試験は、下限荷重を鉄筋応力度500 kg/cm^2 に相当する荷重とし、上限荷重を鉄筋応力度2000 kg/cm^2 に相当する荷重として、毎分200回の速度で行った。200万回の載荷によって破壊しない場合には一般に鉄筋の上限応力度を2250 kg/cm^2 または2500 kg/cm^2 として破壊に至るまで載荷を繰り返した。静試験ならびに繰り返し載荷試験の途中で行った静的載荷に際して、供試体側面の鉄筋重心位置および供試体下面より1cmの位置におけるひびわれ幅をコンタクトゲージで測定した。試験に用いたはりの断面形状寸法は図-4に示すようである。

3.1 疲労性状

繰り返し載荷試験を行った供試体はせん断破壊した2本を除くとすべて鉄筋が疲労破断することによって破壊に至った。せん断破壊した供試体はいずれもスターラップを配置しなかったものである。試験の結果は表-1にまとめて示した。

実験の数が少ないために明確なことは云えないが、表-1に示す結果から、直径51mmの異形鉄筋Sは直径41mmの鉄筋SおよびPや直径25mmの鉄筋Sよりも幾分疲労性状が劣り、100万回疲労強度振中は1750 kg/cm^2 (最小応力500 kg/cm^2)程度と推定される。直径41mmの鉄筋Dの疲労性状は他の鉄筋よりも劣るようである。

直径51mmの鉄筋Sはフシが鉄筋母材にとりつくとりつけ部に円弧が設けられ、耐疲労性についてある程度考慮が払われている鉄筋である。これに対して、直径25mmおよび41mmの鉄筋Sはフシとりつけ部に円弧がない斜めフシの鉄筋であって、19～25mmの各種鉄筋のなかでは耐疲労性が必ずしも良好のものではない。それにもかかわらず上記のようにD51の疲労強度がD25の場合よりも幾分劣るので、繰り返し荷重の影響の大きい部材に太径異形鉄筋を用いる場合には耐疲労性の高いデフォーメーションをもつ異形鉄筋を選ぶことが特に大切である。

3.2 ひびわれ性状

有効鉄筋比(引張鉄筋の重心を重心としたコンクリート断面積に対する引張鉄筋断面積の比)をほぼ10%に一定とし、かぶり厚さを鉄筋直径程度とした場合における供試体側面鉄筋重心位置のひびわれ幅は、主なひびわれる箇所の平均をとると、鉄筋応力度2000 kg/cm^2 のとき、D51を用いた場合は0.14～0.25mmの範囲であって、D41を用いた場合の値0.13～0.19mmおよびD25を用いた場合の値0.13～0.17mmよりも幾分大きいことが表-1に示されている。しかし ひびわれ幅が 同じ直径41mmを用いた場合でもその配

置によって著しく異なり、有効鉄筋比が小さい場合にはひびわれ幅が著しく大きくなることも表-1に示されている。従って、これらの実験結果から太径鉄筋を用いると実際の部材におけるひびわれ幅が必ず大きくなるとは断言できないのである。それは、一般に太径鉄筋は過配筋を避ける目的で用いることが多いので、いわゆる有効鉄筋比は大きくなるのが普通であるからである。

太径鉄筋 D51 を用いた場合にも D41 や D25 の場合と同様に繰り返し载荷によるひびわれ幅の増加は小さく、200万回の载荷によって 0.01~0.02mm 大きくなるに過ぎない。また、一度開いたひびわれは荷重をとり去っても完全には閉じないが、この残留ひびわれの幅も D41 や D25 の場合と同様に繰り返し载荷による増加は極めて僅かであって、200万回の载荷後に残る残留ひびわれ幅は 0.04~0.05mm であった。

図-3 供試体の断面形状寸法

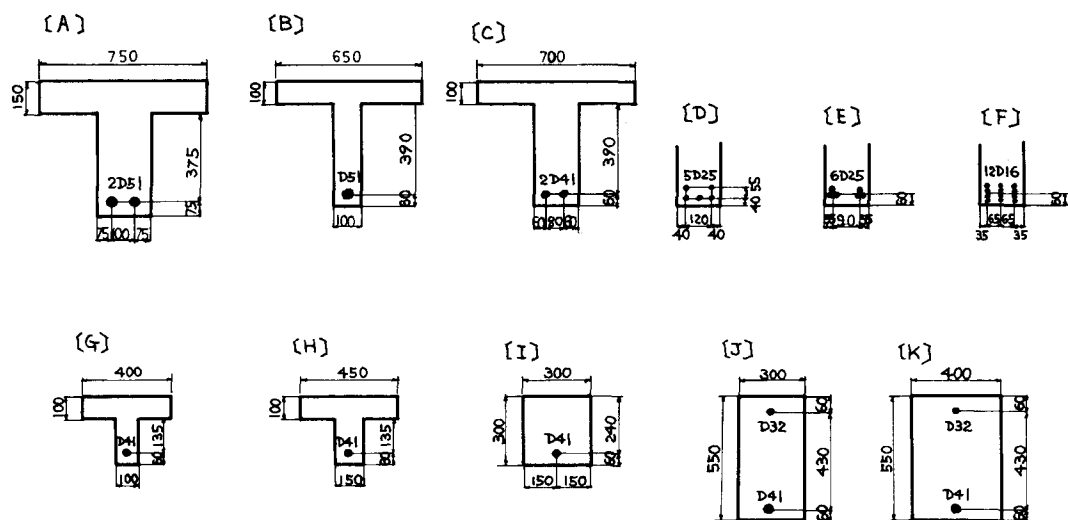
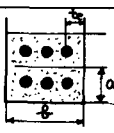


表-1 鉄筋コンクリートばりの静的ながら疲労試験結果

Properties of specimens ¹⁾									Crack width, 0.01			Fatigue tests				Remarks	
D mm	Sec.	P _e %	A _c cm ²	t _e cm	L cm	L ₀ cm	L _a cm	Reinf.	cycle G _r =2000	10 ⁶ cycle G _r =0	Remain G _r =0	Stress range kg/cm ²	cycle x10 ⁴	Stress kg/cm ²	cycle x10 ⁴		Failure
51	A	10.9	187	7.5	480	100	15	S	22	24	4	1500	210	1750	158	F.R	1)  $A_c = \frac{2ab}{n}$ $P_e = \frac{A_s}{2ab}$ n: no. of reinf.
	A	11.3	180	7.5	400	100	10	S	17	18	5	1500	200	1750	91	F.R	
	B							S	20	20	5	1500	214	2000	40	F.R	
	B							S	25	26	5	1500	194	1750	51	F.R	
	B							S	23	24	5	1500	118			F.R	
41	C	11.2	120	6	400	100	10	D	13		3	1500				F.R	
	C							D	15	16	4		97			F.R	
	C							P	17		3					F.R	
	C							P	19	21	8	1500	194	2000	133	F.R	
	C							S	16	18	4	1500	212	2000	94	F.R	
25	D	10.6	48	4	400	100	10	S	14		3						2) Minimum stress is 500 kg/cm² 3) Minimum stress is 250 kg/cm² 4) F.R: Fatigue of reinforcement D.T: Diagonal tension
	E	12.7	40	4	400	100	10	S	13	16	3	1500	216	2000	161	F.R	
	E							S	13		3						
	E							S	17	18	4	1500	169	2000	125	F.R	
16	F	10.0	20	3.5	400	100	10	S	11		2						
41	G	11.2	120	5	230	50	5	P	16		4						
	G							P	14		3						
	H	7.5	180	7.5	260	80	5	P	19		4						
	I	3.7	360	15	230	50	5	P	25		6						
	I							P	22		4						
	J	3.7	360	15	380	100	20	D	33		4	2000	0.3			D.T	
	K	2.8	480	20	380	80	20	D	47	55	15	1500	220	2000	5	F.R	
	K							P	45	58	12	1500	187	2000	52	D.T	