

都立大学 正員 大塚英雄  
川崎製鉄 ○村木幸春

### 1. まえがき

鉄筋は、径が大きくなるにつれてコンクリートとの付着強度が小さくなり、また曲げ引張部のひびわれ幅は大きくなると言われている。本研究は、ひし間隔を従来より小さくした横かし形状のD51太径鉄筋について、引抜き試験、ほり試験および離手試験を行ない、各種の項目について検討したものである。

### 2. 引抜き試験による付着特性

本試験はD51の付着特性をD32と比較したものである。

#### (1) 試験方法

引抜き試験は、日本コンクリート会議(案)に準じて行なった(図1)。供試体のかぶり厚さは2中、埋込み長は5中をしづせん鉄筋を使用して補強を行なった。使用した鉄筋の形状と機械的性質は表1、表2に示す。またコンクリートはスランプが約8cmで圧縮強度が $f_{c} = 30.0 \text{ kg/cm}^2$ のものである。なおコンクリートは鉄筋を水平にして打込んだ。供試体の養生は枕木28日まで約20°Cの水中養生をし、コンクリートの割裂状態を調べるために供試体を2日間乾燥させた後、供試体の4面にワイヤーストレインゲージ( $L = 60 \text{ mm}$ )を張付けた。載荷板の孔径は2中である。

#### (2) 試験結果

(A) D32とD51の比較：結果は図2に示すとおりである。これは、D32およびD51についてそれぞれ平均したものの付着応力と自由端におけるすべり量との関係であり、これらの付着応力～滑動量曲線は極めて一般的な性状を示している。すなわち鉄筋径に対してひしの間隔が小さいと初期付着応力は大きくなるが、終局における付着応力が若干小さくなることはこの例で明瞭である。またD51の定着性はD32に比べすべり量が0.3mm以下では付着応力が8%大となるが、0.3mm以上では約6%小さくなっている。このような結果から、D51はD32と比べひびわれ分散性は同等と考えられ、また定着性も大差ないと考えられる。

由供試体コンクリートのひびわれ：リングテンションによるコンクリートのひびわれ発生時の付着応力の結果は表3のとおりである。すなわちコンクリート表面のひずみ～荷重曲線から、コンクリート表面の伸び能力を原則として150μと仮定した場合のひびわれ発生荷重を求めて付着応力を換算したもので、これを図2に打点した。この図によれば、両者共4面のひびわれ発生前後で曲線のこう配は著しく異る。これらの曲線のこう配の変化を

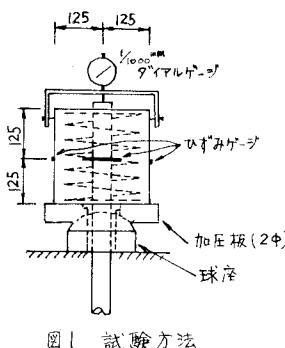


図1 試験方法

表1 形状

種類	ひしの高さ (mm)	ひしの間隔 (mm)
D32	2.1	20.5
D51	3.4	15.0

表2 機械的性質

種類	降伏応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強度・伸び (%)
D32	38	56 30
D51	36	55 29

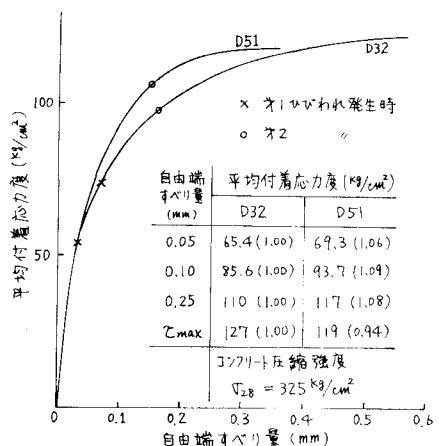


図2 付着応力～滑動量曲線

指数式で表わせば表4のとおり

となるが、傾向としてはD32もD51も類似している。このよう前に前記の付着応力の終局値は総ひびわれに起因する。すなはち、付着応力の終局値はかぶり厚さおおむね補強方法によって変化するので前記6%の差異は一般的な値ではない。

(6)ひびわれ発生状態と試験値のバラツキ：供試体コンクリートの総ひびわれ発生状態は、通常図3に示すとおりである。しかし図4に示すようにかなり不規則なひびわれ発生状態を示しているものもある。表3のように、付着応力はひびわれ発生状態によつて試験値にかなりの差異を生じるので、引抜き試験を行なう場合は供試体個数を多くしてバラツキを吸収することが必要である。従来の経験より供試体の数は5個以上が望ましい。

### 3. ほり試験による曲げひびわれ特性

#### (1) 試験方法

本試験に用いた鉄筋は、かし間隔12mmと15mmの2種類のD51である。15mmの形状は表1に示す。12mmは15mmのかし間隔を小さくしたものである。機械的性質は12mm、15mmとも表2のD51と同一である。コンクリートは、スランプ5.3cm, w/c = 42%をもつ圧縮強度f<sub>ck</sub> = 215kg/cm<sup>2</sup>のもとである。

供試体の形状は図5に示すとおりである。供試体は、スターラップとせん断部のみに配置したA型（かし間隔12mmおよび15mmの2種類）と、全長にわたって配置したB型（かし間隔15mm）の3種5体（A型のみ各2体）である。ひびわれ幅の測定区間は曲げスパン（1.6m）とし、コンタクトポイントを張付けた。

載荷方法は、図5に示すように2段

載荷でスパンは4.6mである。荷重は5セクションで載荷し、ひびわれ、ほりのたわみ、鉄筋とコンクリートのひずみを測定した。なお、設計荷重時の30セクション（f<sub>ck</sub> = 1800kg/cm<sup>2</sup>）とその1/2荷重の間で10回の繰返し載荷を行ない、1回目、5回目、10回目に同様の測定を行なった。

#### (2) 試験結果

図6に平均ひびわれ幅と鉄筋応力度の関係を示す。この図より設計応力度f<sub>sa</sub> = 1800kg/cm<sup>2</sup>における平均ひびわれ幅は、A型のかし間隔12mmおよびB型は約0.11mm, A型のかし間隔15mmは約0.15mmで、かし間隔12mmの方が15mm

表4 ひびわれ発生前後のこう配

鉄筋	オルヒビわれ発生	
	前	後
D32	$\delta = e^{0.000153x} - 1$	$\delta - \delta_0 = e^{0.00012(x - x_0)} - 1$
D51	$\delta = e^{0.00019x} - 1$	$\delta - \delta_0 = e^{0.000165(x - x_0)} - 1$

表3 ひびわれ発生時の付着応力

種類	供試体 NO.	最大付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ひびわれ発生時の付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			オルヒビわれ発生時	オルヒビわれ発生時
D32	1	110	69.0	95.0
	2	129	75.0	113
	3	123	70.0	100
	4	134	85.0	98.0
	5	138	70.0	80.0
D51	平均	127	73.8	97.2
	1	130	75.0	100
	2	123	67.0	101
	3	100	43.0	—
	4	124	56.0	105
	5	117	53.0	106
	平均	119	58.8	103

D51, NO.1 T<sub>c</sub>～ε曲線

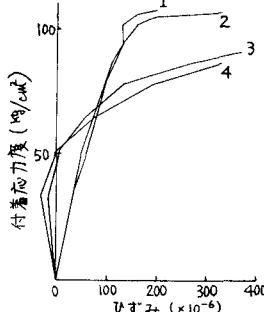


図3 総ひびわれ発生状態

D51, NO.3 T<sub>c</sub>～ε曲線

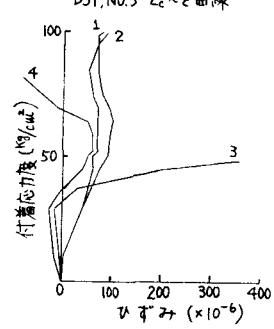
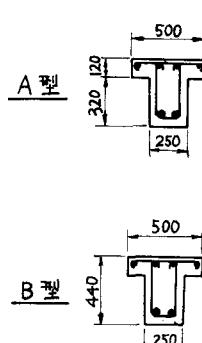


図4 縦ひびわれ発生状態



A型

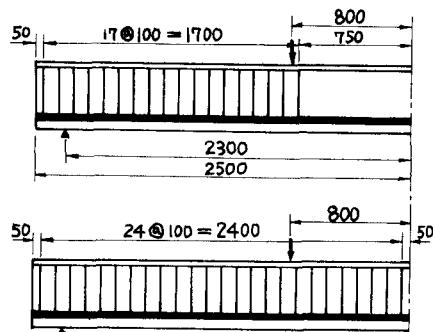


図5 供試体形状および載荷方法

よりひびわれ分散

性に優れていたことが明らかである。しかし、ひびき隔間  $15\text{ mm}$  でも B 型のようにスターラップ<sup>ア</sup>を配置するヒビ  $12\text{ mm}$  とほぼ同じにすることができる。これは、ひびわれの

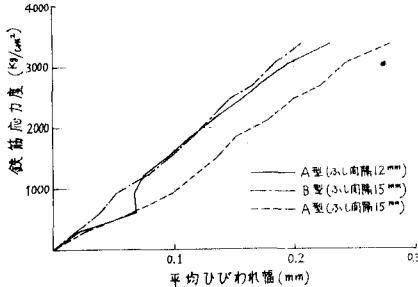


図6 平均ひびわれ幅

数が A 型のひびき隔間  $12\text{ mm}$  が 15 個、B 型が 12 値であるのに対し、A 型のひびき隔間が 11 個であることがより推察できる。また 10 回の繰返し載荷を行なったが、平均ひびわれ幅はほとんど増加しなかった。

表4に示すように、初期ひびわれ荷重は約  $7.4\text{ t}$  で計算値に近似した値となつた。また破壊荷重は約  $57\text{ t}$  で、計算値の  $52\text{ t}$  より若干大きくなつたが、A 型と B 型の差は認められない。ほりのたわみは設計荷重時の  $30\text{ t}$  において約  $14\text{ mm}$  ( $\delta/\ell = 1/330$ ) であり、破壊荷重と同様に A 型と B 型の差はほとんどない。

#### 4. 繰手試験について

##### (1) ガス圧接

D51 を実際構造物に使用するにあたり、継手としてアセチレン噴射式圧接法によるガス圧接継手を用いたが、抜取り検査を行なつた結果は表5のとおりである。表5に示すように引張、曲げとも良好な結果を得た。一方、フラット破面は  $0 \sim 16\%$  生じたが、室内試験でも  $10\%$  程度あり、これからかなり良好な結果と考えられる。

##### (2) グリップジョイント

この継手は、スリープを压着することによってひび内にスリープをくい込ませ、くい込み肉とひびのせん断力で応力を伝達する工法である。D51 の性能をみるため最小スリープ長試験と繰返し載荷試験を行なつた。最小スリープ長は、引張試験を行なつて求めたものである。また繰返し載荷試験は、荷重を  $5 \sim 56\text{ t}$  ( $0.8\text{ t}/\text{t}^{\circ}$ ) で  $350 \sim 500$  回の繰返し載荷を行ないスリープ端部における鉄筋の残留伸びと弾性伸びを測定した。試験結果は表6、表7に示す。なお表6、表7において継付方向  $0^\circ$  とはリグを縛付けた場合を、 $90^\circ$  とはひびを縛付けた場合をいう。最小スリープ長は表6から  $\ell = 125\text{ mm}$  ( $\ell = 2.5D$ ) であるが、表7に示すように繰返し載荷後では  $125\text{ mm}$  のものは引抜けており、 $150\text{ mm}$  以上必要であることがわかる。このため、繰返し載荷や

クリップ等を考慮すると最小スリープ長は  $200\text{ mm}$  ( $4D$ ) 程度が必要と考えられる。一方、表7に示すようにスリープ長の短いものは残留伸びは大きく、スリープ長  $125\text{ mm}$  のもので  $0.08\text{ mm}$  を示しているが、 $\Delta L_A$  と  $\Delta L_B$  を合計した全伸びは、素材の方が大きい。これはスリープの剛性によるものと考えられる。

表4 初期ひびわれ荷重と破壊荷重

試験体	初期ひびわれ発生荷重(t)		破壊荷重(t)	
	計算値	実測値	計算値	実測値
A型引張隔間 $12\text{ mm}$	7.8	7.6	52.0	57.9
" " "	"	7.4	"	57.4
" " $15\text{ mm}$	"	7.7	"	56.0
" " "	"	7.0	"	58.0
B型 " $15\text{ mm}$	"	7.2	"	56.5

\* 初期ひびわれ荷重は、コンクリートの引張応力が分布を方形とし、引張強度に到達した時の荷重を求めたもの。

\* 破壊荷重は ACI 式

表5 ガス圧接試験

本数	0.8D 切削材		フラット破面率
	引張	引張曲げ	
1	母材破断	母材破断	良
2	"	"	12
3	"	"	16

表6 最小スリープ長試験

スリープ長 (mm)	継付方向 (度)	破断荷重 (t)	破断状況
100	0	100.6	引抜け
"	90	104.7	"
125	0	110.3	母材破断
"	90	110.4	"
150	0	109.7	"
"	90	110.0	"

表7 繰返し載荷試験

スリープ長 (mm)	継付方向 (度)	継付回数 (回)	残留伸び $\Delta L_A$ (mm)	弹性伸び $\Delta L_B$ (mm)	破断試験	
					荷重回数	状況
125	0	450	0.083	0.197	107.0	引抜け
"	90	350	0.030	0.230	109.0	母材破断
200	0	500	0.054	0.065	109.0	"
"	90	"	0.049	0.191	109.4	"
250	0	"	0.004	0.067	109.8	"
"	90	"	0.030	0.115	109.9	"
素材		"	-0.007	0.369		
"	"	"	+0.007	0.420		

\*

