

[117] RC部材のせん断耐力に及ぼすせん断補強筋末端部のディテールの影響

正会員 ○ 亀田登与三郎 (明治大学)

正会員 小倉 弘一郎 (明治大学)

1 序

鉄筋コンクリート部材のせん断補強筋は、部材のせん断ひびわれ発生後の応力伝達機構で、せん断力を負担するだけではなく主筋を包絡結束することにより、主筋の座屈を防止し、内部コンクリートを拘束して終局時の部材のぜい性的な破壊を防ぐことを要求されている。このことから補強筋末端部の定着方法についてきびしく規定されているが、実際の施工面では他部材との仕口の関係などで規定通り行なうことが困難となる場合が生ずる。本研究はせん断補強筋をディテール面から見直すために、従来から行なわれている定着方法を含めて定着性能を調べるために、引抜形式による試験を行ない実験的に検討した。

2 実験内容

2.1 供試体 図1のように、はり部材のあばら筋一組を含む部分を対象として、下半分のコンクリートを取りのぞき、あばら筋は主筋を拘束、末端定着

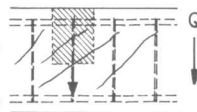


図1

部を有する部分を想定したものである。供試体形状は、引抜形式の試験体で図2に示すようにL筋およびR筋を一組のあばら筋としてコンクリート中に埋め込み、これを引抜くものである。

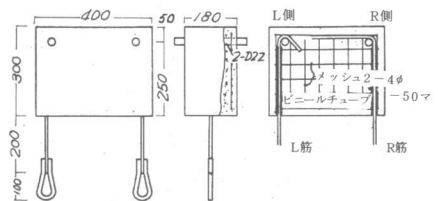


図2 供試体形状・寸法

コンクリート寸法は $18\text{cm} \times 40\text{cm} \times 30\text{cm}$ 、主筋は2-D22とし、あばら筋には 9ϕ 、 12ϕ 、D10、D13の4種を用い、鉄筋末端部の折り曲げ内径は $3d$ とし、定着フックは 135° および 90° で余長の長さは $4d \sim 10d$ と変化させた。L筋およびR筋を同時に引抜くためにコンクリート下端面より20cm程度突出させて、その先端には加力用リングを溶接してある。

主筋のかぶり厚さは5cm(9ϕ 、D10)および5.5cm(12ϕ 、D13)の2種類で、主筋のないものも用意した。

本実験では、あばら筋末端フックの定着性能を明確にするためにフック折り曲げ起点よりコンクリート下端面までの直線部分では、鉄筋をビニールチューブ内に挿入してコンクリートとの付着を取りのぞいた。供試体のパラメーターとしては、あばら筋形状、使用鉄筋径・種類およびフック部曲げ角度、余長の長さ主筋の有無をえらび、表1に供試体種別・記号、あばら筋形状など一覧で示した。供試体は全部で36体である。

2.2 使用材料の性質

鉄筋：あばら筋にはSR24の普通丸鋼(9ϕ 、 12ϕ)とSD30のヨコシタイプの異形鉄筋(D10、D13)を使用し、引張試験結果を表2に示す。また、仮想の主筋にはD22を使用し、供試体の割裂防止のために2-4 ϕ -50@メッシュを用いた。

表1 供試体種別・記号一覧

使用鉄筋	タイプ	主筋有無	余長	供試体記号	あばら筋形状	末端フック形状
9ϕ	A	有	4d	29 A 4		Aタイプ
			6d	29 A 6		
			8d	29 A 10		
	B	有	4.6d	29 B 4		Bタイプ
			6.8d	29 B 6		
			8.10d	29 B 8		
	C	有	6d	29 C 6		Cタイプ
			8d	29 C 8		
			10d	29 C 10		
	D	有	6d	29 D 6		Dタイプ
			8d	29 D 8		
			10d	29 D 10		
12ϕ	A	無	4d	09 A 4		Oタイプ
			8d	09 A 6		
			10d	09 A 8		
	C	無	6d	09 C 6		Cタイプ
			8d	09 C 8		
			10d	09 C 10		
	A	無	4d	212 A 4		Dタイプ
			6d	212 A 6		
			8d	212 A 8		
	C	有	6d	212 C 6		Cタイプ
			8d	212 C 8		
			10d	212 C 10		
D10	A	有	4d	2D10A 4		Dタイプ
			6d	2D10A 6		
			8d	2D10A 8		
	C	有	6d	2D10C 6		Cタイプ
			8d	2D10C 8		
			10d	2D10C 10		
D13	A	有	4d	2D13A 4		Dタイプ
			6d	2D13A 6		
			8d	2D13A 8		
	C	有	6d	2D13C 6		Cタイプ
			8d	2D13C 8		
			10d	2D13C 10		

曲げ内径
9 ϕ 、D10
 $R=30$
($\pm 3d$)
12 ϕ 、D13
 $R=40$
($\pm 3d$)

コンクリート：コンクリートはレミコンを使用した。試験時の所要圧縮強度としては250kg/cm²程度を予定したもので、使用材料、調合表を表3に示した。

また、試験時の圧縮強度試験結果を表4に示す。供試体の養生は、打込後は1日2回の散水を行ない屋外空中養生とした。

2.3 試験方法 図3(a)に示す加力装置を100ton万能試験機にセットし、加力レバーを介してL筋およびR筋を同時に加力する。加力の方法は一方向くり返し加力で、荷重ステップは原則としてあばら筋の長期・短期許容引張応力時、0.9σ_y時およびσ_y時(σ_yは公称降伏点応力)の4段階で、各ステップ毎に5サイクル行なった。その後、最大耐力またはあばら筋の降伏点を確認して除荷した。測定はコンクリート下端面より突出したあばら筋に電気式変位計(500μ/mm)を固定して、コンクリート面からの鉄筋の抜け出し量を測定した。また、図3(b)に示す鉄筋の各位置でS.W.Gによる歪度の測定を行なった。

3 実験結果と考察

3.1 最大耐力 各供試体はいづれも定着部のすべり破壊を起して耐力を失なった。各供試体の最大荷重、最大荷重時のL筋およびR筋の負担荷重、鉄筋抜け出し量および破壊状況を一概として表5に示した。負担荷重はL、R筋の測定歪ε_{LO}、ε_{RO}より次式で求めた。

$$P_L = P_{max} \times \varepsilon_{LO} / (\varepsilon_{LO} + \varepsilon_{RO}), P_R = P_{max} \times \varepsilon_{RO} / (\varepsilon_{LO} + \varepsilon_{RO})$$

表5より最大荷重時におけるL筋およびR筋の負担荷重は2.3をのぞけば、ほぼ2分されているものと思われる。鉄筋の抜け出し量は、L側が大きく丸鋼の場合には約8mm以上、異形では4mm以上を示した。なお、異形の場合、最大荷重時にはすべてあばら筋は降伏している。

図4は丸鋼を用いた各供試体のあばら筋形状および余長の長さの変化と最大耐力について示した。表6は最大耐力の鉄筋の実引張降伏点および公称引張降伏点に対する比を示した。

図5よりあばら筋の両端135°フック定着としたAタイプおよび両端90°フック定着としたCタイプでは、余長の長さを増すと耐力は若干高まる傾向がみられる。

一方135°他方90°フック定着としたBタイプおよび他側までのばして90°フック定着としたDタイプは、いずれもAタイプと同等かやや優る結果が得られた。あばら筋に丸鋼を用いた場合あばら筋の公称引張降伏耐力に対する最大耐力の比は全般的にみてAタイプでは1.17~1.62、Cタイプでは余長8d以上で0.8~1.25となり定着性能はAタイプに較べてかなり劣ることがわかる。

主筋の有無による最大耐力に及ぼす影響は主筋のない場合の方が若干高い値を示す傾向がみられる。

表2 使用鉄筋の引張試験結果

	σ _y (t/cm ²)	σ _m (t/cm ²)	ε (%)	E _s (10 ⁶ kg/cm ²)
9φ	3.41	4.71	33.1	1.88
12φ	3.11	4.63	29.9	1.93
D10	3.97	5.82	25.4	1.75
D13	3.81	5.64	30.3	1.79

表3 使用コンクリートの調合表

呼び強度 (kg/cm ²)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	砕砂 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)
240	326	176	798	1025	0.815

川砂利25mm以下：相模川
川砂 5mm以下：相模川、木更津
混和剤：ポリスルホン5L

表4 コンクリートの圧縮試験結果

試験時 材令(日)	F _c (kg/cm ²)	F _c 時ε _m (%)	F _t (kg/cm ²)	E _c (10 ⁶ kg/cm ²)
42~52	273	0.216	25.0	2.74

注) F_t：割裂試験による

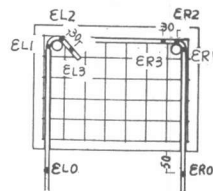
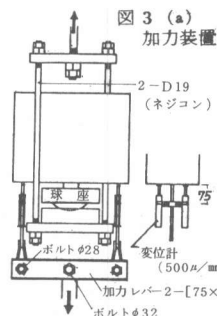


表5 実験結果一覧

供試体 記号	最大荷重 P _{max} (ton)	負担荷重 (ton) 抜け出し量 (mm)				破壊 状況
		P _L	P _R	δ _{LO}	δ _{RO}	
29 A 4	3.64	1.82	1.82	11.07	1.67	NC, S-F
29 A 6	3.83	1.98	1.85	8.18	2.14	N-C, S-F
29 A 8	4.40	2.62	1.78	11.67	2.52	N-C, S-F, Y
29 B 4	5.09	2.96	2.13	21.34	3.88	N-C, S-F, Y
29 B 6	4.13	2.08	2.04	24.52	2.03	**
29 B 8	4.40	2.16	2.24	27.26	1.23	F-B, C, S-F, Y
29 C 6	2.34	1.09	1.25	18.63	0.66	N-C, S-F
29 C 8	2.47	1.35	1.12	18.42	0.84	F-B, C, S-F
29 C 10	2.88	1.35	1.53	11.89	1.02	F, B, C, SF
29 D 6	5.25	2.62	2.63	24.49	22.96	U, C, SF, Y
29 D 8	5.79	2.89	2.90	1.83	2.65	**
29 D 10	4.13	2.00	2.12	24.49	22.96	NC, SF
09 A 4	3.58	1.62	1.76	16.06	1.97	NC, SF
09 A 6	4.14	2.09	2.05	14.70	2.86	FBC, SF
09 A 8	4.96	2.48	2.48	22.98	14.66	FBC, SF, Y
09 C 6	3.04	1.42	1.62	25.76	2.05	FBC, SF
09 C 8	3.33	1.64	1.67	24.21	1.61	FBC, SF
09 C 10	3.29	1.51	1.78	8.25	1.75	FBC, SF
212 A 4	6.60	2.73	3.87	12.95	2.27	UC, SF
212 A 6	6.47	3.32	3.15	15.67	2.02	NC, SF
212 A 8	6.80	3.41	3.39	13.38	2.86	NC, SF
212 C 6	4.80	2.69	2.11	13.16	1.77	NC, SF
212 C 8	4.45	2.17	2.28	14.94	1.01	FB, C, SF
212 C 10	6.80	2.31	4.59	14.00	1.52	F, B, C, SF
2D10A 4	7.60	3.80	3.80	22.27	15.79	F, B, C, SF, Y
2D10A 6	6.03	3.02	3.01	7.65	6.43	NC, SF, Y
2D10A 8	6.00	3.00	3.00	8.24	5.34	NC, SF, Y
2D10C 6	6.00	3.00	3.00	8.23	6.58	NC, SF, Y
2D10C 8	6.01	3.00	3.01	8.20	6.03	NC, SF, Y
2D10C 10	6.00	3.00	3.00	7.21	5.10	NC, SF, Y
2D13A 4	12.21	5.64	6.57	8.50	7.38	NC, SF, Y
2D13A 6	12.22	6.50	5.72	8.90	7.50	NC, SF, Y
2D13A 8	12.22	6.10	6.11	4.14	7.21	NC, SF, Y
2D13C 6	12.20	6.42	5.78	4.70	3.95	NC, SF, Y
2D13C 8	12.21	6.01	6.20	5.82	1.94	**
2D13C 10	12.21	6.11	6.10	9.36	7.52	NC, SF, Y

注) SF: フック部すべり定着破壊 U.C: フック上部ひびわれ発生
NC: ひびわれ発生なし Y: 鉄筋降伏
FBC: フック部背面ひびわれ発生 **: 鉄筋曲り加力中止

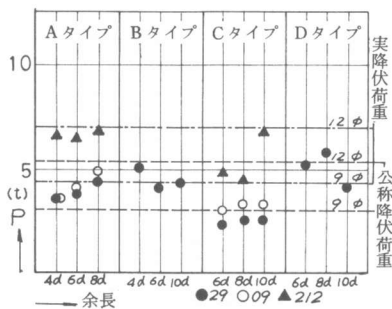


図4 4各供試体の余長の変化と最大荷重の関係

表6 最大耐力の降伏耐力に対する比

タイプ	供試体	余 長			
		4 d	6 d	8 d	10 d
A	29 A	0.84 (1.19)	0.88 (1.25)	1.00 (1.43)	—
	09 A	0.82 (1.17)	0.95 (1.35)	1.14 (1.62)	—
	212 A	0.96 (1.22)	0.94 (1.19)	0.99 (1.25)	—
	2 D 10 A	1.33 (1.78)	1.06 (1.42)	1.05 (1.41)	—
	2 D 13 A	1.26 (1.60)	1.26 (1.60)	1.26 (1.60)	—
B	29 B	—	1.17 (1.66)	0.95 (1.35)	1.01 (1.43)
	29 C	—	0.54 (0.76)	0.57 (0.80)	0.66 (0.94)
C	09 C	—	0.70 (0.99)	0.76 (1.08)	0.76 (1.07)
	212 C	—	0.70 (0.89)	0.65 (0.82)	0.99 (1.25)
	2 D 10 C	—	1.05 (1.41)	1.05 (1.41)	1.05 (1.41)
	2 D 13 C	—	1.26 (1.60)	1.26 (1.60)	1.26 (1.60)
	29 D	—	1.20 (1.71)	1.33 (1.88)	0.95 (1.35)

() は公称降伏点に対する比

3.2 荷重と鉄筋抜け出し量の関係

図5は各供試体の荷重とあばら筋L筋およびR筋の抜け出し量 δ_{LO} , δ_{RO} との関係について一例を示した。図中にはあばら筋の実降伏荷重を示した。また、点線は ε_{LO} , ε_{RO} 値より求めた直線部分の鉄筋の伸び量を示す。

丸鋼の場合L側の鉄筋抜け出しが大きく見られ、また、くり返し加力による挙動は余長の長さの変化により顕著にみられる。あばら筋形状による影響は両端90°フック定着としたCタイプでは長期許容引張応力時のくり返し加力によってかなりの抜け出しが生じており、定着性能が劣る傾向がよくでている。異形の場合 δ_{LO} , δ_{RO} とも丸鋼に較べて小さく、ほぼ近い値を示している。

3.3 特定時の定着起点の鉄筋ずれと鉄筋引張応力の関係

本実験では定着折曲げ起点における鉄筋ずれを直接測定をしていないが、コンクリート端面で測定した鉄筋抜け出し量 δ_{LO} および δ_{RO} より、直線部分の鉄筋伸び量を差引くことによって求め、各供試体について鉄筋ずれが0.25 mm, 0.5 mmおよび1 mm時の鉄筋引張応力との関係を図6に示した。

3.4 定着降伏強度

定着折曲げ起点における鉄筋の引張応力 σ_L と鉄筋ずれ δ_L より $\sigma-\delta$ 曲線を求めると図7に

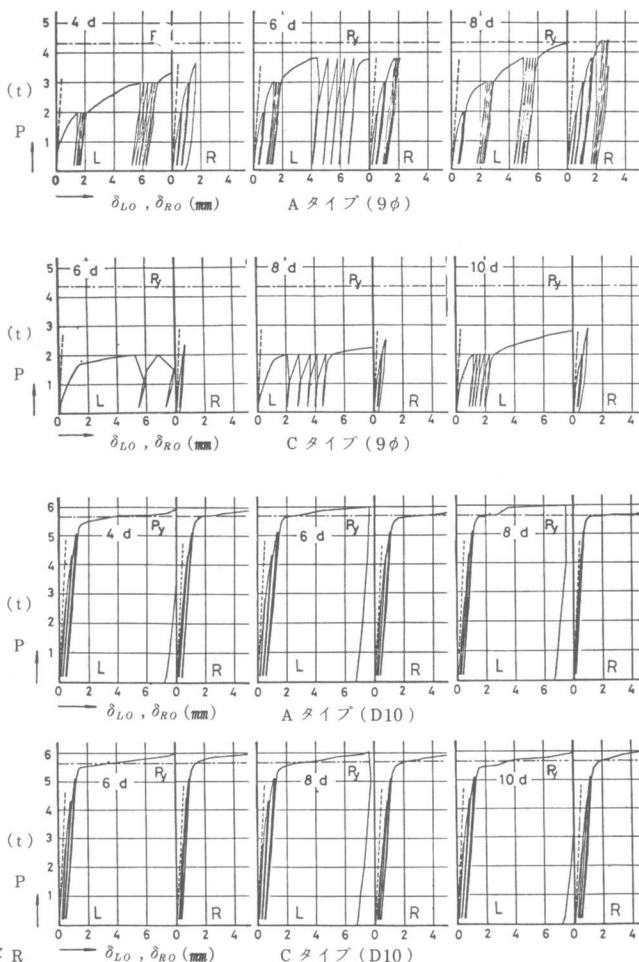


図5 荷重(P) - 鉄筋抜け出し量(δ) 曲線

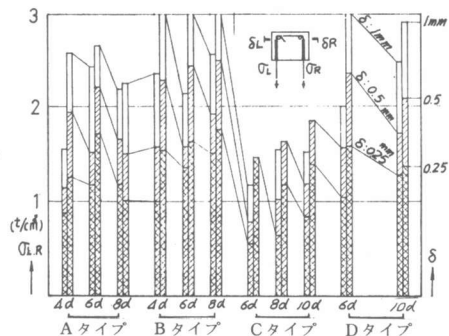


図6 定着起点の特定鉄筋ずれと鉄筋引張応力

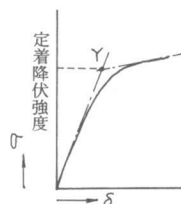


図7

示すようにY点で σ - δ 曲線の勾配が
 変る現象がみられ、この時点で定着
 効果が低下するものとして定着降伏
 点と定義し、各供試体について σ - δ
 曲線より定着降伏強度を求め表7に
 示した。表よりAタイプ余長6d、B、
 C、Dタイプ余長8dについて比較す
 るとAタイプでは約2.3t/cm²でB、D
 タイプは、高く、Cタイプでは30
 %程度Aタイプより低い結果となっ
 ている。

表7 定着降伏強度 (t/cm²)

タイプ	供試体	余 長			
		4 d	6 d	8 d	10 d
A	29A	1.49	2.44	2.40	—
	09A	2.06	2.27	2.88	—
	212A	1.38	2.20	2.43	—
B	29B	—	2.16	2.70	2.79
	09B	—	1.25	1.50	1.70
C	29C	—	1.47	1.65	1.70
	212C	—	1.05	1.59	1.50
D	29D	—	3.32	3.32	2.97

3.5 くり返し加力による定着 部剛性の低下

定着折曲げ起点の鉄筋引張応力 σ
 と定着折曲げ起点の鉄筋ずれ δ より

$K_s = \sigma / \delta$ を求め、 K_s を定着部剛性と定義して、各ステップの初回剛性
 に対する低下率 β を求め、くり返しサイクルと β との関係について一例
 を図8に示した。定着部剛性低下は高応力時に顕著にあらわれる。丸鋼
 の場合、L側に比較してR側では剛性低下は少なく、あばら筋形状によ
 る差異もみられない。異形の場合は高応力時でも剛性低下は少ない。

3.6 他実験との比較

図9はL側の定着折曲げ起点における f_s / f'_{cu} （鉄筋引張応力/コン
 クリート立方体強度）と δ （鉄筋ずれ）の関係で示した。図中太線はG.
 Rhemの実験値(8mm異形鉄筋を使用、定着長さはフック折曲げ起点より10
 d、曲げ内径5dとしてコンクリート中に埋込み、直線部分の付着をの
 ぞいて引抜形式による実験を行なったもの。加力はコンクリート打込方
 向)を示す。

Rhemはコンクリート打込み方向に鉄筋を引抜く場合、135°フックよりも90°フック定着が優ると云われるが、本
 実験では逆の結果を得た。

4 むすび

本研究ではあばら筋末端定着部を含む一組のあばら筋形状で、引抜試験を行ない余長の長さも含めて末端定着
 性能を確認することができた。今後はディテールの問題として分割スタラップ、重ねつき手を有するスタラップな
 どを取り上げ、更に部材実験と関連させて検討して行く予定である。

〔謝辞〕 本研究は明治大学科学技術研究所重点研究の一部として行なったものである。実験に当り明大学生宮沢修、土岐川尚士両君の協力を得た。
 データ解析には明大計算センターUNIVAC1100/21電算機を使用した。関係各位に謝意を表します。

〔引用文献〕 R. Park and T. Paulay: Reinforced Concrete Structures.

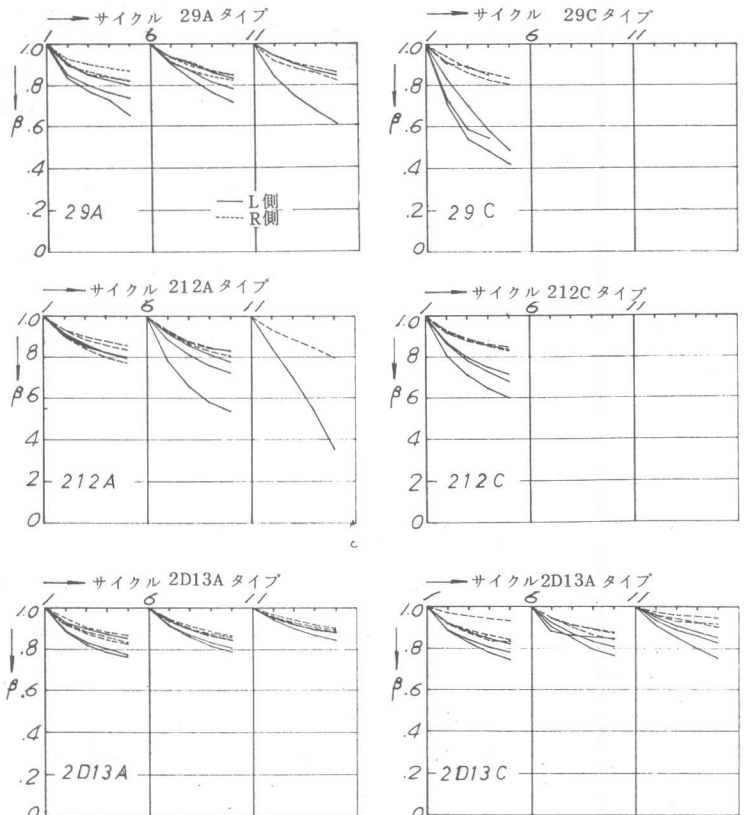


図8 くり返し加力による剛性低下

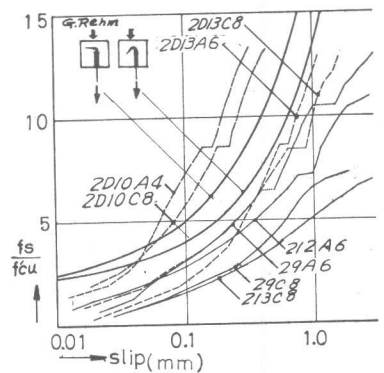


図9 f_s / f'_{cu} と δ_L の関係