

# [151] せん断補強筋末端部の各種フック形状の定着性能に関する 実験的研究

正会員 ○ 亀田登与三郎 (明治大学工学部)

正会員 小倉弘一郎 (明治大学工学部)

## 1. まえがき

本研究では、鉄筋コンクリート部材におけるせん断補強筋果的配筋法を確立するための検討資料を得る目的で、補強筋末端定着部に注目し、あばら筋末端のフック形状を変化させたはゞ実大断面寸法の梁の曲げせん断試験を行なった。

測定はあばら筋定着部のすべり性状に重点をおいている。

実験結果より耐力・変形に及ぼすフック形状の影響、あばら筋定着部の主筋と直交方向のすべり挙動について比較検討した。また既往実験〔文献1,2〕によるあばら筋定着部を想定した引抜定着試験との比較検討を行なった。

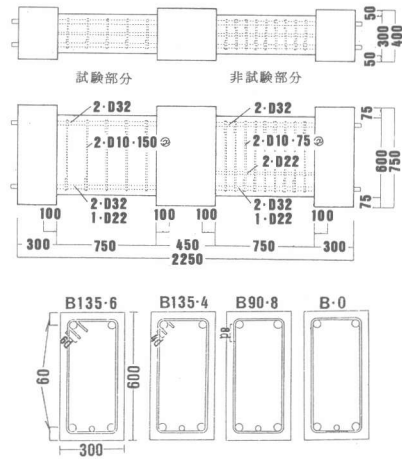
## 2. 実験の概要

### 2.1 試験体

図1に試験体形状と各種試験体種試験体配筋断面を示す。

試験体は中央スタブより一方を試験部とし、他方を非試験部とした。梁断面は巾30cm×丈い60cmで、スタブ間は7cm (a/d=1.39)である。主筋は上端2-D32、下端には2-D32、1-D22 (Pw=12.2%, r=0.8)を用い、かぶり厚さ(主筋の芯より)は6cmとした。あばら筋は2-D10-15.5cm $\phi$  (Pw=0.32%, n=5本)で、あばら筋の末端定着部は梁断面の一方の側に集中させ、中央スタブ側の3本は上端に、端部スタブ側2本は下端にそれぞれ設けた。これは定着部が梁の圧縮と引張ゾーンにそれぞれある場合を想定したものである。非試験部では主筋、あばら筋とも増配筋をして補強している。これらは全試験体共通で、試験体は曲げ降伏耐力とせん断耐力がほぼ同じになるように計画してある。試験体種別は、あばら筋の定着仕様をパラメーターとしたもので、折曲げ内径を4dとし、135 $\circ$ フックでは余長を6dと4d (B135-6, B135-4)、90 $\circ$ フックは余長8d (B90-8)とし、末端部を溶接して閉鎖形 (B-0)としたものを含めて4種類で、試験体個数は各1体合計4体である。

使用したコンクリートは目標強度180 $\text{kg/cm}^2$ のレディミクストコンクリート (20mm 砕石、5mm 混合砂、W/C=64%, スランプ21cm) で、試験体は打設後、試験時まで屋外養生とした。表1に試験時のコンクリート強度及び使用鉄筋の機械

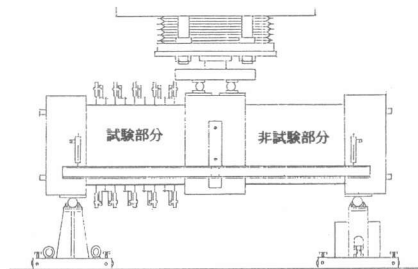


スタラップ筋: D10 斜線部分は10cmラップさせ溶接した折曲げ内径: 4d

図1 試験体形状・寸法及び種別記号

表1 使用材料の性質

試験体	コンクリート			鉄筋			
	Fc kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_B$ %	Ec 10 <sup>10</sup> kg/cm <sup>2</sup>	種別	$\sigma_y$ kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_y$ %	Es 10 <sup>10</sup> kg/cm <sup>2</sup>
B135-6	18.5	0.25	2.02	D10	367.0	0.20	1.83
B135-4	19.3	0.30	2.06	D22	357.0	0.20	1.82
B90-8	18.6	0.30	2.03	D32	354.0	0.19	1.85
B-0	17.4	0.25	1.96				



加力サイクル

サイクル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
制御方法	QA	1.5QA	Qmax or R=1/75	R=1/50	R=1/40	R=1/30	δ	4δ												
	P=31.0	P=46.5	R=1/100 (δ=8.5)	δ=11.3	δ=17.0	δ=21.3	δ=28.3	45.0												

QA=b $\cdot$ J $\cdot$ ( $\alpha$  $\cdot$ f<sub>s</sub>+0.5 $\cdot$ w $\cdot$ f<sub>t</sub>·(Pw=0.002))

図2 試験装置及び加力方法

的性質を示した。

## 2.2 試験及び測定

試験は図2のように両端ローラー支持、中央2点集中荷重で一方向繰返し加力で行なった。繰返し加力の方法は図中に示す加力サイクルを原則とし、短期許容耐力(Qa)で1回、その後は各3回の繰返し加力を行ない、部材角R = 1/100以降では変形で制御した。

変形の測定は、加力点と支点との相対たわみ及び梁の側面でせん断変形をそれぞれ変位計を用いて計測した。

あばら筋のすべり測定は図3のように折曲げ起点に溶接した6mm筋を梁上面、下面に突出させ、その先端のずれを変位計(ストローク25mm, 精度500μ/mm)で測定した。変位計を固定するアンカーボルトは、その先端にアンカー筋を溶接し、アンカー筋は主筋の内側に主筋に直交させて結束した。あばら筋すべり測定は試験部にある全あばら筋について、定着部を含む4つのコーナーで行なった。また、主筋及びあばら筋の図4に示すa, b, c点では歪度を測定している。

## 3. 実験結果及び検討

### 3.1 破壊状況

図5に各試験体の実験終了時のひびわれ図を示す。

90°フック定着としたB90-8を除く他の3体は5サイクル時(R=1/100)で主筋が引張降伏し、135°フックで余長4dのB135-4は8サイクル(R=1/75)でせん断破壊をしている。溶接閉鎖形(B-0)と135°フック余長6d(B135-6)は17サイクル(R=1/30)で圧縮側のコンクリートが圧潰して最大耐力を示し、20サイクル時にせん断きれつが顕著となり耐力低下を起した。B90-8は5サイクル時に主筋降伏以前にせん断破壊を生じ、その後の加力時では他の3体に較べて耐力低下が顕著で、14サイクル(R=1/40)前後にフック余長のはね上り現象が起因と思われるコンクリートの剥落がみられた。以上のことから破壊性状に及ぼす定着仕様による影響が認められた。

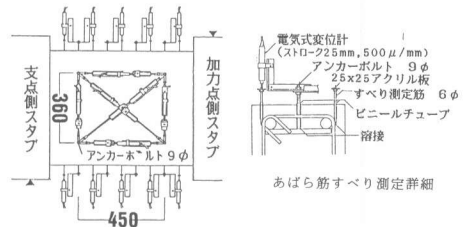


図3 測定装置

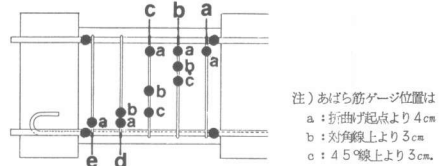


図4 あばら筋すべり及び歪度測定位置

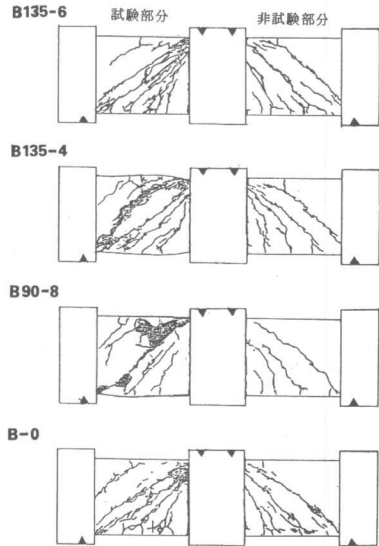


図5 各試験体最終ひびわれ状況

表2 実験結果及び計算値との比較

試験体	F <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	α	引張			引張			引張			実験値/計算値						
			TQ <sub>mc</sub> (t)	δ <sub>mc</sub> (mm)	C <sub>y</sub>	TQ <sub>sc</sub> (t)	δ <sub>sc</sub> (mm)	C <sub>y</sub>	TQ <sub>max</sub> (t)	δ <sub>max</sub> (mm)	CQ <sub>mc</sub> (t)	CQ <sub>sc</sub> (t)	CQ <sub>su</sub> (t)	CQ <sub>my</sub> (t)	TQ <sub>mc</sub> cQ <sub>mc</sub>	TQ <sub>sc</sub> cQ <sub>sc</sub>	TQ <sub>max</sub> cQ <sub>sc</sub>	TQ <sub>max</sub> cQ <sub>my</sub>
B135-6	1.85	1	7.0	0.21	5	30.0	3.25	17	44.9	27.14	7.30	19.2	38.6	38.9	0.96	1.56	1.16	1.15
B135-4	1.93	1	6.0	0.18	2	20.0	1.42	8	41.4	11.30	7.46	19.5	39.1	38.6	0.80	1.03	1.06	1.07
B90-8	1.87	1	8.0	0.36	2	20.0	2.16	5	36.9	6.54	7.34	19.3	38.7	38.5	1.10	1.04	0.95	0.96
B-0	1.75	1	6.0	0.28	2	19.0	2.14	17	42.5	28.61	7.10	19.0	37.9	38.5	0.85	1.00	1.12	1.10

注 B-0 引張降伏後圧潰時せん断破壊  
 B135-6 同上  
 B135-4 引張降伏後せん断破壊  
 B90-8 せん断破壊  
 $cQ_{mc} : 1.8\sqrt{F_c \cdot Z_e} / L$  (曲げきれつ発生耐力)  
 $cQ_{sc} : (0.085 \cdot K_c (500 + F_c)) / (M/Qd + 1.7) \cdot b \cdot j$  (せん断きれつ発生耐力)  
 $cQ_{su} : ((0.12 \cdot K_u \cdot K_p (180 + F_c)) / (M/Qd + 0.12) + 2.7\sqrt{F_c \cdot U \cdot w_y}) \cdot b \cdot j$  (せん断終局耐力)  
 $cQ_{my} : 2M_y / L$   $M_y$ : e 関数法による

### 3.2 諸耐力実験値及び計算値

表3に各試験体の諸耐力実験値、計算値及び計算値との比を示した。諸きれつ耐力は全般的にみて実験値は計算値との比が $\tau_{Qmc} = 0.93 \pm 0.12$ 、 $\tau_{Qsc}$ が $1.25 \pm 0.12$ でフック形状による有意性はみられない。最大耐力 $\tau_{Qmax}$ はB90-8が主筋降伏以前にせん断破壊しており、大野・荒川式には合致している。曲げ降伏した3体の $\tau_{Qmax}$ は曲げ降伏計算値との比は1.07~1.15で、降伏直後にせん断破壊したB135-4が低い値を示しており余長の影響によるものと思われる。

### 3.3 せん断力-たわみ曲線

図6は各試験体のせん断力 $Q$ と相対たわみ $\delta$ との関係を示した。また図7は斜め変形測定値より求めたせん断たわみ $\delta_s$ をせん断力 $Q$ との関係で各試験体の包絡線を比較して表わした。

図6より全体的にみて曲げ降伏時たわみ $\delta_y$ は5.4~6.8mmで、最大耐力時たわみ $\delta_{max}$ はB135-4が2.8 $\delta_y$ 、B135-6、B-0はそれぞれ4.9 $\delta_y$ 、4.2 $\delta_y$ で、B90-8では $\delta_{max}$ が6.5mm ( $R=1/135$ )となり、135°フック余長6a(標準余長)としたB135-6は閉鎖形B-0と同等以上で、90°フックの場合には変形性能においても他に較べて劣る結果を示している。

### 3.4 あばら筋のすべり性状

定着部を含むあばら筋4隅の折曲げ起点のすべり量について、各コーナーごとにあばら筋5本の平均値を求め、特定サイクル時における平均すべり $S$ を表3に示した。

表中にはせん断力 $Q$ 、相対たわみも示してある。図8は各試験体について各コーナー平均すべり $S$ を相対たわみ $\delta$ との関係で表わしたものである。これらより、定着部すべり1が大きく定着部と対峙する折曲げ部すべり2も大きく生じており、定着部すべりを上回る場合がみられる(B135-6, B-0)。定着部すべり1をフック形状で比較するとB135-6に対する比はB135

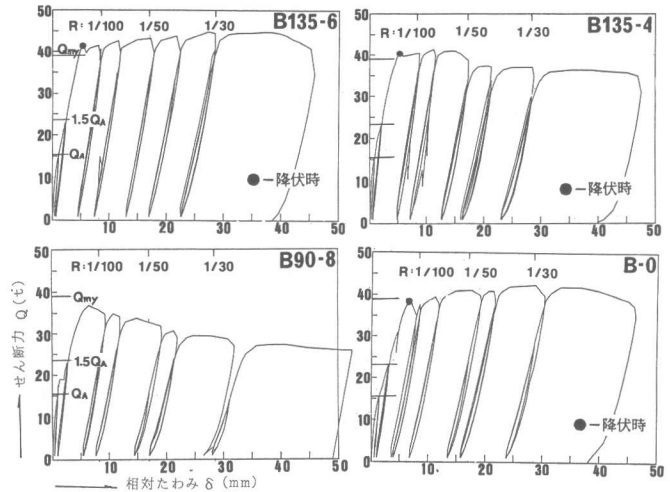


図6 各試験体せん断力(Q)-相対たわみ(δ)曲線

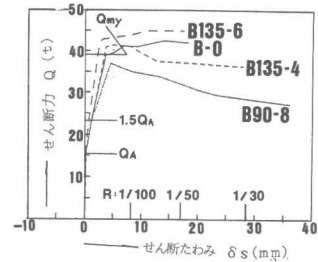
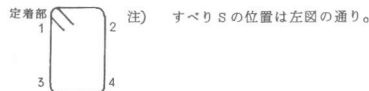


図7 せん断力(Q)-せん断たわみ(δs)包絡線

表3 各試験体の特定サイクル時におけるあばら筋各折曲げ部すべり(5本の平均)

試験体	Cy 荷重階	特定サイクル時							
		1	2	5	8	11	14	17	20
B-0	Q (t)	15.5	23.0	38.9	39.4	41.1	41.0	42.5	42.0
	δ (mm)	1.34	2.88	6.82	11.19	17.44	21.35	28.61	33.03
B135-6	1	0.00	0.04	0.46	0.65	0.86	1.00	1.43	1.79
	2	0.00	0.10	0.58	0.79	0.99	1.11	1.47	1.78
	3	0.00	0.04	0.05	0.08	0.23	0.36	0.56	0.69
	4	0.00	0.00	0.07	0.11	0.24	0.37	0.59	0.77
B135-6	Q (t)	15.5	23.0	41.8	42.8	43.4	43.9	44.9	44.8
	δ (mm)	1.08	2.17	5.47	11.64	17.22	21.68	27.16	37.01
B135-4	1	0.00	0.00	0.17	0.28	0.44	0.65	0.90	1.74
	2	0.00	0.04	0.38	0.47	0.66	0.93	1.19	1.93
	3	0.00	0.00	0.04	0.07	0.29	0.42	0.70	0.87
	4	0.01	0.00	0.13	0.09	0.38	0.56	0.84	1.05
B135-4	Q (t)	15.5	23.0	40.9	41.4	40.9	37.4	37.0	36.3
	δ (mm)	0.82	1.96	5.42	11.30	15.04	20.62	28.46	38.82
B90-8	1	0.00	0.04	0.72	1.38	1.97	4.58	7.31	14.45
	2	0.00	0.01	0.50	0.91	1.38	3.55	6.06	10.97
	3	0.00	0.05	0.17	0.20	0.29	0.38	0.39	0.42
	4	0.00	0.00	0.06	0.09	0.16	0.21	0.25	0.36
B90-8	Q (t)	15.5	23.0	36.9	34.9	33.7	30.7	29.4	27.3
	δ (mm)	1.00	2.58	6.54	10.82	14.90	21.32	24.70	40.70
B90-8	1	0.00	0.09	1.21	3.46	5.85	9.90	12.70	24.25
	2	0.00	0.10	0.97	2.35	3.65	5.87	7.46	15.53
	3	0.00	0.14	0.03	0.05	0.13	0.17	0.00	0.00
	4	0.00	0.32	0.07	0.08	0.17	0.23	0.25	0.30



4は4.3、B90-8が12.5 (R=1/50)、R=1/30時ではそれぞれ8.1、14.1となり定着仕様による影響が顕著にみられる。

### 3.5 あばら筋定着部すべり $S_H$ と定着起点応力 $\sigma_H$

表4は特定サイクル時における各試験体あばら筋定着部すべり  $S$  と定着起点近傍(折曲げ起点より4cm)の歪より求めた引張応力  $\sigma_H$  を示した(図9の図中に示す○印の平均値)。また図9は各試験体の定着部すべり  $S_H$  と定着起点応力  $\sigma_H$  を部材の相対たわみ  $\delta$  との関係で示したものである。全体的にみて最大耐力時の定着部すべりは1.4~2.8mm程度で、定着起点応力は2.9~3.7t/cm<sup>2</sup>程度となっている。B90-8、B135-4ではせん断破壊後に  $S_H$  が急増する傾向を示しており、またB90-8は最大耐力以降に  $\sigma_H$  が低下する現象がみられ、あばら筋挙動に定着仕様の影響があらわれている。

### 3.6 引抜形式による定着試験との比較

筆者らは一組のあばら筋を想定した引抜形式によるフック定着性能試験を行なっている(文献1, 2)。図10は定着試験による  $\sigma_H-S$  曲線を[文献3]より引用し、図中に本実験による各試験体ごとにあばら筋5本の平均  $\sigma_H-S_H$  曲線を比較図示した。図より最大耐力時の応力レベルでみると定着部すべり量はほぼ近似していることが認められる。

## 4. まとめ

以上、比較的低いコンクリート強度で行なつた本実験の範囲では次のことがいえる。

1) 135°フック定着の場合、規準で示される標準余長(6d)であれば部材の耐力・変形状に及ぼす定着性能は溶接閉鎖形とほぼ同等の結果が得られた。

2) 90°フック定着の場合、標準余長(8d)では135°フック定着に比較して定着性能はかなり劣る結果を示した。

3) フック定着部と対峙する中間折曲げ部のすべりも大きく、定着部とほぼ近いすべり量を生ずることが認められた。

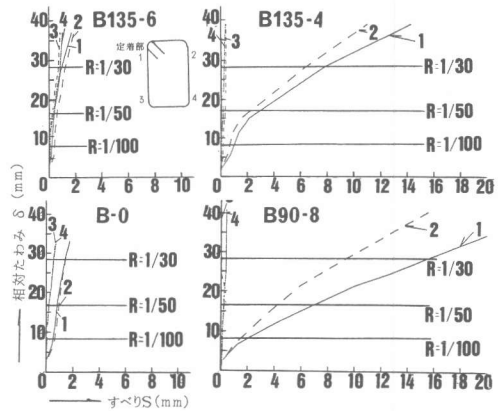


図8 あばら筋各コーナーの平均すべり  $S$  とたわみ  $\delta$  の関係

表4 特定サイクル時のあばら筋定着部の  $\sigma_H, S_H$  値

試験体	Cy	1	2	5	8	11	14	17	20
	荷重階	0a	1.50a	R=1/100	R=1/75	R=1/50	R=1/40	R=1/30	$\delta=45$
B135-6	$\sigma_H$ (t/cm <sup>2</sup> )	0.00	0.42	2.10	2.27	2.98	3.14	3.30	3.60
	$S_H$ (mm)	0.00	0.00	0.25	0.35	0.55	0.80	1.35	2.10
B135-4	$\sigma_H$ (t/cm <sup>2</sup> )	0.02	1.05	2.61	2.87	3.04	3.11	3.07	3.08
	$S_H$ (mm)	0.00	0.06	0.80	1.48	2.52	5.61	10.13	15.58
B90-8	$\sigma_H$ (t/cm <sup>2</sup> )	0.00	1.42	2.95	2.93	2.57	2.10	1.92	1.70
	$S_H$ (mm)	0.00	0.11	1.45	4.17	6.98	11.65	14.37	25.04
B-0	$\sigma_H$ (t/cm <sup>2</sup> )	0.20	1.61	2.81	3.07	3.31	3.51	3.67	3.67
	$S_H$ (mm)	0.00	0.05	0.55	0.77	0.99	1.19	1.60	1.96

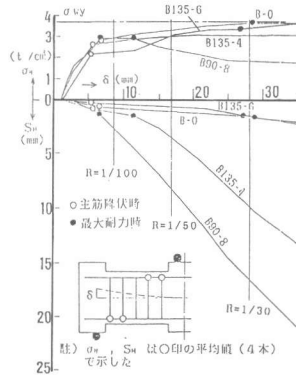


図9 各試験体の  $\sigma_H-S_H$  と  $\delta$  の関係

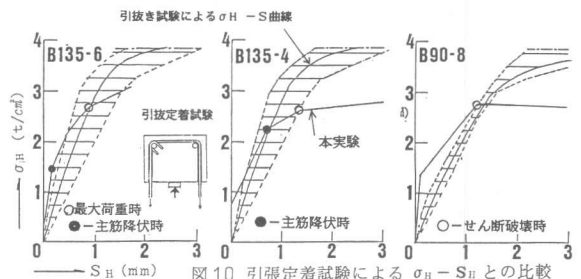


図10 引張定着試験による  $\sigma_H-S_H$  との比較

(謝辞) 本実験に当り大学院生重光信雄氏、学部ゼミ生岡藤雅樹、高橋弘、佐藤昌弘諸君の協力を得た。ここに深謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 亀田登与三郎・小倉弘一郎：RC部材のせん断耐力に及ぼすせん断補強筋末端のディテールの影響 第2回コンクリート工学年次論文集、1980
- 2) " " " "：RC部材のせん断補強に及ぼす補強筋のディテリングに関する実験的研究(その3) 日本建築学会概集、昭55.9
- 3) 亀田登与三郎・小倉弘一郎他：RC部材のせん断補強に及ぼす補強筋のディテリングに関する実験的研究-10, 11- 同上 昭60.10