

[2101] 各種フック形状のせん断補強筋末端部の定着耐力, 剛性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

RC部材のせん断補強筋は、部材のせん断きれつ発生以後のせん断力伝達に大きな役割を持つが、最近のRC造の構造設計の考え方として、部材の終局時のぜい性的破壊を防ぐ役割もせん断補強筋に期待している。この観点から、補強筋末端部の定着仕様が大きく影響するものと思われるが、この問題に関する研究資料が少ないのが現状である。

本研究は、現行の学会規準や標準仕様書で規定しているせん断補強筋末端のフック定着仕様について根本的な見直しのために、引き抜き形式による定着性能試験を行いフック折り曲げ内径、フック角度、余長をパラメータとして定着強度、剛性及び定着部すべり性状などを実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2.1 定着試験鉄筋及び埋め込みRC部材

2.1.1 定着試験鉄筋(定着筋)の形状・寸法及び種別記号・個数

通常、せん断補強筋として多く用いられるD10, D13を使用し、末端部のフック定着仕様は折り曲げ内径を3d, 4dの2種類、フック角度は180°、135°、90°の3種類、余長は4d, 6d, 8d, 10d, 12dの5種類をとりあげ、これらの組み合わせによる定着筋種別記号を表1に示した。

定着筋を埋め込こむRC部材は図1に示す様に断面寸法は定着側の幅が30cm(D10)、40cm(D13)、加力側では装置の関係でそれぞれ10cm増で、丈いは30cm、全長210cmである。主筋はD22を用い補助筋にはD10を30cm間隔にフープ筋とした。定着筋はRC部材のせん断補強筋に見たてフープ筋の間に断面の両側に入れており、フック部を主筋に掛けコンクリートとのかぶり厚さを3cmとしている。

定着筋はフック定着部の性能を明確にするために、すべてフック折り曲げ起点より加力側までの直線部分ではコンクリートとの付着を取り除いている。試験体個数は同じ定着仕様としたもの各3本とし、ほかに各フック角度で標準余長としたもので、余長部分までコンクリートとの付着を取り除いたもの各1本

表1. 定着試験体の種別記号

使用鉄筋	曲げ内径	曲げ角度	余長	定着筋記号				
				4d	6d	8d	10d	12d
D10	3d	180°	103A4	103A6	103A8	—	—	
		135°	103B4	103B6	103B8	103B10	—	
		90°	—	103C6	103C8	103C10	103C12	
	4d	180°	104A4	104A6	104A8	—	—	
		135°	104B4	104B6	104B8	104B10	—	
		90°	—	104C6	104C8	104C10	104C12	
D13	3d	180°	133A4	133A6	133A8	—	—	
		135°	133B4	133B6	133B8	133B10	—	
		90°	—	133C6	133C8	133C10	133C12	
	4d	180°	134A4	134A6	134A8	—	—	
		135°	134B4	134B6	134B8	134B10	—	
		90°	—	134C6	134C8	134C10	134C12	

註) 試験体は各種3~4本とした。

表2. 使用材料の機械的性質

公称	素 材 鉄 筋			塑 性 加 工 鉄 筋				
	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	ϵ (%)	σ_{yo} (t/cm ²)	σ_{maxo} (t/cm ²)	ϵ_o (%)	E_s 10 ⁶ (kg/cm ²)	註) 加工鉄筋の強度のバラツキ σ_{yo} : 4.24~4.80 (t/cm ²)
D10	3.52	4.83	17.4	4.71	5.95	15.9	1.75	
D13	3.54	5.33	19.9	4.95	5.68	16.6	1.71	
D22	3.55	5.41	18.9					

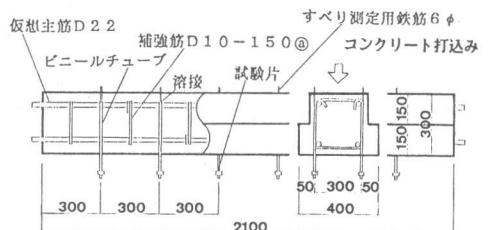
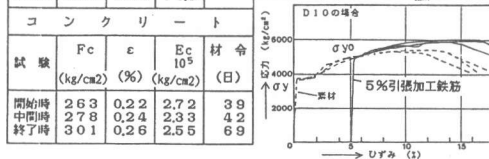


図1. RC埋め込み部材の配筋 (D10用)

を加え、合計144本である。

2. 1. 2 使用材料の性質

鉄筋：埋め込みRC部材に使用したD22、D13、D10はSD30級の横フシタイプの異形棒鋼である。定着筋には高応力時までの定着性能を調べるため、予め塑性引張加工（伸び率約5%）して降伏耐力を4.5 t/cm²程度まで高めたものを用いた。

コンクリート：呼び強度210 kg/cm²、スランプ19 cmの普通レディミクストコンクリート（砕砂：20mm、混合砂）を使用した。埋め込み部材のコンクリート打ち込みは、定着部が上端となる方向より行い、打設後は撒水しビニールシートで覆い試験時まで屋外気中養生とした。表2に使用材料の機械的性質を示した。

2. 2 試験

加力装置及び加力方法：埋め込み部材より突出した定着筋の末端にリングを溶接し、図2に示す様にチャックにはめ込みテンションバーに接続して油圧ジャッキで加力した。加力方法は一方向の繰り返しとし、原則として定着筋の引張応力 $\sigma = 3, 3.5, 4$ t/cm²時及び降伏耐力時のそれぞれで5回行った。

測定装置及び測定方法：本実験では定着筋の引張力をロードセルで検力している。定着部のすべりは図3に示す様にフック折り曲げ起点に6 mm筋を溶接しコンクリートとの付着を取り除き、その先端の動きを定着起点すべりとみなし変位計で測定した。

3. 実験結果

3. 1 実験結果の一覧表

表3に各定着筋の特定すべり時（0.5, 1, 2 mm）の定着起点応力（引抜力/鉄筋公称断面積：以下、定着応力と呼ぶ）、特定定着応力時（2, 3, 4 t/cm²）の定着起点すべり（以下、定着部すべりと呼ぶ）及び最大荷重時の定着応力とすべりを3本の平均値で示した。

また同表には破壊モードも表示してあるが全試料の約80%は降伏耐力を越えている。

3. 2 定着応力-定着部すべり曲線

図4は定着筋が降伏耐力を越えたもの及びすべり破壊を生じたものそれぞれについて応力-すべり曲線の一例を示した。

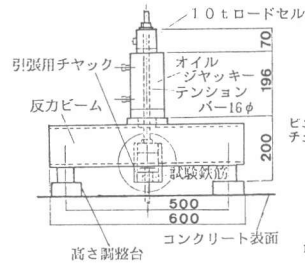


図2. 加力装置

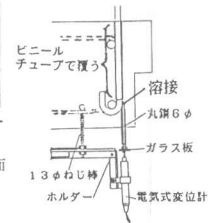


図3. 測定装置

表3. 実験結果一覧表

定着筋 記号	特定すべり時応力			特定応力時すべり			最大荷重時		破
	0.5	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	σ_m	s_m	
103A4	1.56	2.57	3.60	0.71	1.32	2.35	5.14	4.12	Y
103A6	1.58	2.58	4.06	0.69	1.16	1.86	5.11	3.19	Y
103A8	1.89	2.98	4.32	0.56	0.94	1.74	5.10	2.89	Y
103B4	1.81	2.84	4.01	0.58	1.07	1.88	4.86	4.01	YS
103B6	1.94	2.92	3.88	0.52	1.06	2.02	5.11	3.83	Y
103B8	1.93	3.04	4.44	0.53	0.94	1.66	5.02	2.62	Y
103B10	1.90	3.28	4.94	0.50	0.85	1.30	5.00	2.06	Y
103C6	2.07	2.98	3.94	0.50	1.04	2.04	4.75	4.78	S
103C8	1.66	2.61	3.83	0.67	1.36	2.14	5.06	4.01	S
103C10	1.77	2.38	3.80	0.62	1.22	2.02	5.00	3.22	Y
103C12	1.90	3.03	4.40	0.53	0.94	1.62	5.06	3.09	Y
104A4	1.48	2.58	3.76	0.79	1.24	2.11	4.90	3.19	Y
104A6	1.73	2.93	4.14	0.64	1.05	1.81	4.91	2.83	Y
104A8	1.78	3.00	4.41	0.60	0.98	1.67	4.98	2.58	Y
104B4	1.57	2.82	3.86	0.75	1.21	2.13	5.12	4.45	SY
104B6	1.64	2.78	4.06	0.66	1.11	1.95	5.06	3.33	Y
104B8	1.73	2.80	3.79	0.61	1.12	2.10	5.04	3.56	Y
104B10	1.72	2.89	4.22	0.61	1.11	1.82	5.01	2.87	Y
104C6	1.67	2.76	3.86	0.69	1.15	2.21	4.40	2.99	S
104C8	1.58	2.72	3.67	0.70	1.26	2.35	4.93	4.58	SY
104C10	1.61	2.81	3.90	0.68	1.26	2.02	5.07	3.33	Y
104C12	1.86	2.90	4.15	0.61	1.04	1.84	5.10	3.12	Y
133A4	2.21	3.17	4.63	0.41	0.83	1.45	5.23	2.42	Y
133A6	2.40	3.29	4.84	0.37	0.73	1.31	5.22	2.28	Y
133A8	2.53	3.52	5.17	0.32	0.68	1.24	5.15	2.01	Y
133B4	1.90	2.93	4.30	0.53	1.01	1.70	5.16	3.22	Y
133B6	2.05	3.07	4.43	0.47	0.83	1.57	5.13	2.82	Y
133B8	2.41	3.31	4.92	0.35	0.74	1.28	5.23	2.14	Y
133B10	2.57	3.42	4.96	0.31	0.69	1.25	5.23	2.18	Y
133C6	2.62	3.50	4.73	0.27	0.64	1.26	5.19	2.56	Y
133C8	2.37	3.40	4.70	0.39	0.74	1.32	5.25	2.39	Y
133C10	2.44	3.55	4.86	0.37	0.70	1.25	5.08	2.55	Y
133C12	2.53	3.59	5.19	0.33	0.67	1.14	5.22	2.06	Y
134A4	1.94	3.00	4.43	0.51	0.95	1.68	5.17	2.63	Y
134A6	1.99	3.05	4.64	0.49	0.93	1.51	5.13	2.39	Y
134A8	2.10	3.06	4.56	0.46	0.90	1.56	5.12	2.61	Y
134B4	1.44	2.50	3.85	0.75	1.28	2.07	5.08	3.58	Y
134B6	1.88	2.95	4.47	0.53	1.00	1.66	5.28	2.96	Y
134B8	1.97	2.98	4.38	0.49	0.95	1.66	5.07	2.75	Y
134B10	2.08	3.14	4.73	0.47	0.88	1.46	5.18	2.35	Y
134C6	1.85	3.03	4.54	0.54	1.02	1.53	5.08	2.86	Y
134C8	2.09	3.07	4.49	0.45	0.89	1.57	5.10	2.73	Y
134C10	2.39	3.51	4.96	0.37	0.72	1.21	5.21	2.19	Y
134C12	2.23	3.45	—	0.42	0.76	1.21	5.18	1.99	Y

註) 特定すべり時応力：t/cm²、特定応力時すべり：mm
 最大荷重時 σ_m ：t/cm²（最大定着強度）
 s_m ：mm（ σ_m 時すべり）
 破壊状況 Y：3本すべて降伏耐力を越える
 S：3本すべてすべり破壊をした
 YS：3本中1本がすべり破壊した
 SY：3本中2本がすべり破壊した。

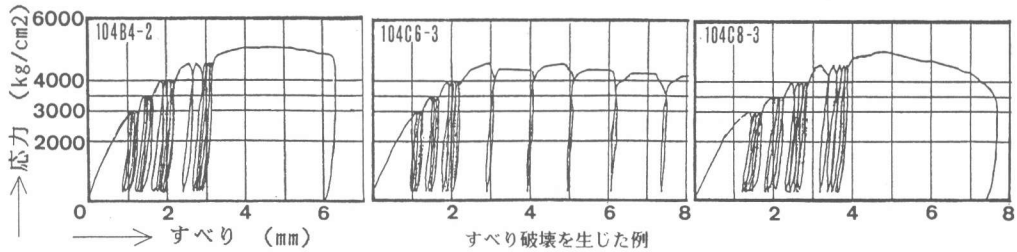
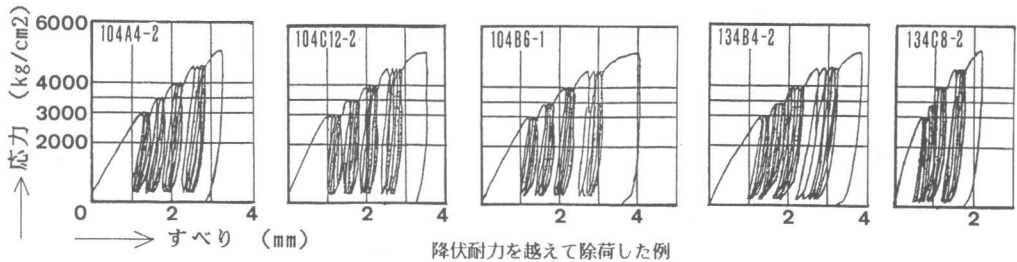


図4. 各種定着試験体の定着応力-すべり曲線 (一例)

4. 実験結果の検討

4.1 定着強度及び定着部すべり

表3でわかるように最大荷重は全試料の約80%が鉄筋の降伏耐力を越えており、この時点で除荷しているためにこれらについては真の最大定着強度は得られていない。

図5は各種フック定着仕様による定着強度について、定着部すべり1mm、2mm時の定着応力を余長との関係で実験値をプロットして示した。また、図6は定着応力が3t/cm²、4t/cm²時(いずれも繰り返えし加力の初サイクル)の定着部すべりを示した。図中の直線は回帰直線を表わしたものである。実験値はかなりばらついているが回帰直線で見ると、各種のフック形状とも定着性能は余長を長くすることにより高まる傾向を見せている。フック角度の影響については明確な差異は得られなかったが角度が大きくなる程、定着性能は若干高まる傾向が見られた。

図7は、定着性能に及ぼすフック折り曲げ内径の影響を調らべるために、定着応力3,4t/cm²時における曲げ内径による定着部すべりの比(内径3dのすべり/内径4dのすべり)を求め、各種フック定着について示したものである。全体的に見て3dの場合が小さく、フック内の主筋が影響したものと考えられる。

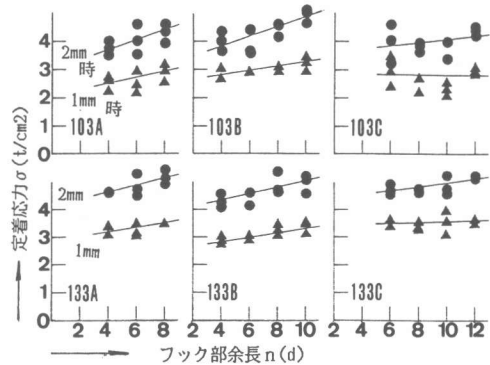


図5. 各種定着試験体の余長と特定すべり時応力

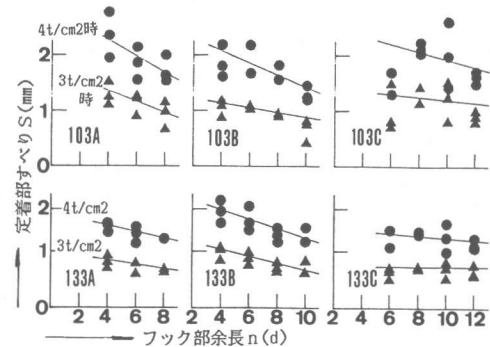


図6. 各種定着試験体の余長と特定応力時すべり

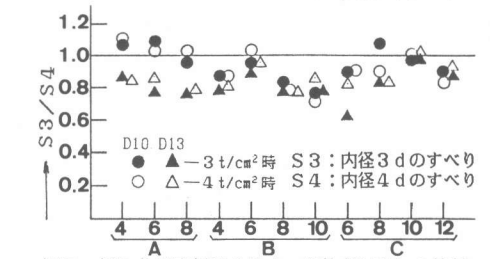


図7. 折り曲げ内径によるすべり比(S3/S4)の比較

4.2 標準フックによる定着性能の比較

規準などで示される標準フック（180°フック余長4d、135°余長6d、90°フック余長8d）について定着性能を比較するために定着剛性 α （定着応力/定着部すべり）を求めて比較した。

図8は定着応力が3、4 t/cm²時の定着剛性をプロットしたもので規準で定めた標準余長であれば90°フックの定着剛性は他に較べて特に差はないと思われる。但し、本実験は余長部周辺のコンクリートが健全な状態で行なわれているので、コンクリートに損傷がある場合の検討は更に必要であろう。

4.3 定着性能実験式と実験値の比較

鉄筋径、コンクリート強度を含めて、フック折り曲げ内径、フック角度及び余長をパラメータとして試料132体の実験値より、多変数による重回帰解析を試み、特定応力時すべり算定の実験式を求め、下式が得られた。

定着応力が3及び4 t/cm²時の定着部すべり

S(3)、S(4)は

$$S(3) = 2.74 - 0.102D + 0.107R - 0.00109\theta - 0.035n - 0.00193F_c \text{ (mm)}$$

$$S(4) = 4.03 - 0.167D + 0.166R - 0.00215\theta - 0.071n - 0.00063F_c \text{ (mm)}$$

ここで D：鉄筋径(mm)、R：フック折り曲げ内径(d：鉄筋の倍数)、 θ ：フック角度(°)、n：余長(d：鉄筋の倍数)、F_c：コンクリート強度(kg/cm²)。

また、上式はD=10.13 mm、R=3.4d、 $\theta=90^\circ \sim 180^\circ$ 、n=4~12d、F_c=263~301kg/cm²の範囲で求めた。

図9は上記実験式で求めた計算値と各種フック定着の実験値をそれぞれプロットして比較図示したもので、実験値に対する実験式の相関係数rは0.70~0.75である。

まとめ

無損傷状態のコンクリートで行った本実験の範囲で次のことが言える。

各種のフック定着仕様は規準などで定められた標準余長（180°フック4d、135°フック6d、90°フック8d）であれば定着応力度が4 t/cm²程度の高応力でも定着性能はほぼ同等と思われる。また、フック折り曲げ内径を3dとした場合、定着性能は4dの場合と同等以上の結果を得た。

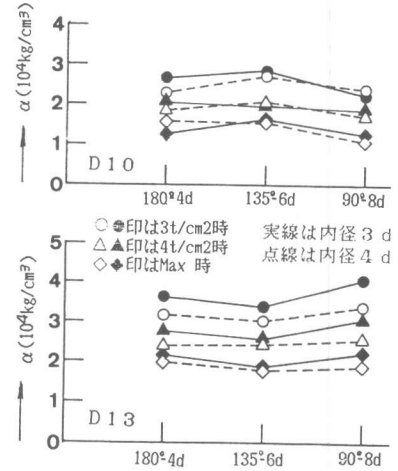


図8. 各種標準フック仕様の定着剛性の比較

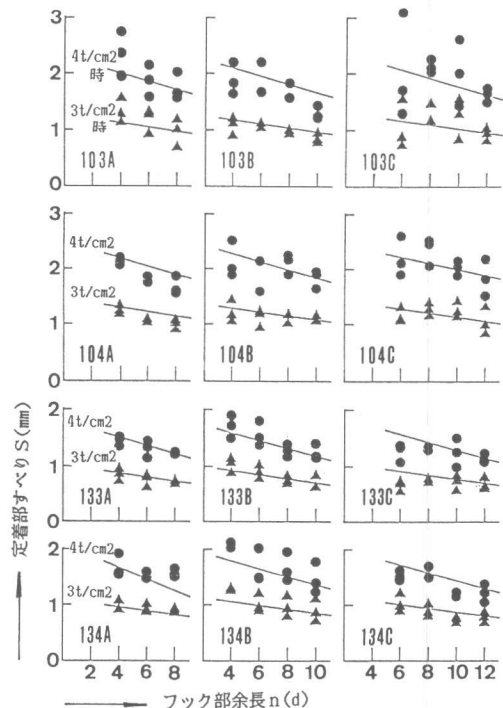


図9. 特定応力時のすべり実験値と実験式計算値

謝辞：本研究はサトースリープエンジニアリング（株）の委託研究費を受けている。実験にあたっては明大大学院生重光信雄、小倉ゼミ学生塩川真、寺西浩司、斉藤秀実、植草博之、毛利成年諸君の協力を得た。ここに深謝の意を表します。