

論文 特殊定着金物を用いた RC 造梁主筋定着法に関する実験的研究

小西 覚*1・加藤 友康*2・別所 佐登志*3

要旨：高層RC造建物の外柱梁接合部を対象に、特殊定着金物を用いた梁主筋の定着性能を把握するため、その接合部を想定した部分モデルの実験を行った。変動因子は定着長さ、コンクリート強度、接合部横補強筋量等である。その結果、本定着法は $F_c=300\sim F_c600\text{ kg/cm}^2$ の範囲で、適当な定着長を確保すれば、従来のU型定着以上の耐力を確保した。

キーワード：高強度材料、外柱梁接合部、プレート定着

1. はじめに

著者らは、RC造建物の外柱梁接合部における、梁主筋の定着法の合理化を目的に、特殊定着金物（以降本金物）とネジ鉄筋を用いた定着法（以降T型定着）を考案した [1]。本研究の目的は、高層RC外柱梁接合部を想定した部分モデル試験体を用いて正負の繰返し加力実験を行い、T型定着の定着性能を把握することである。

2. 試験体

試験体は図-1に示すように、外柱梁接合部とその上下に連続する柱の一部に相当する反力用柱から構成される。ここでは、梁主筋1本の定着性状を明確にするため、主筋1本分に対応する柱断面幅を18 cmと仮定しモデル化している [2]。縮尺は実物の骨組に対して1/1.2倍とした。

全試験体とも柱主筋はD22 (SD685) 横補強筋はD10 (SD785) を用いた。変動因子は定着形式 (T型：プレート式鉄筋定着法、U型定着)、コンクリート強度 ($F_c300\sim F_c600$)、定着梁主筋強度 (SD490、SD685相当)、直線部

表-1 試験体一覧

No	試験体名	タイプ	定着長 l_s	F_c (kgf/cm^2)	定着 主筋 強度	接合部 横補強筋比 %
1	T-F3-S5-15	T型	15d	300	SD490	0.53 (3-D10)
2	T-F3-S5-10		10d			
3	T-F3-S10-15		15d		SD685 相当	0.17 (1-D10)
4	T-F3-S10-10		10d			
5	T-F3-S10-15D		15d			
6	T-F3-S10-10D		10d	600		
7	T-F6-S5-15		15d			
8	T-F6-S5-10	U型	10d	300	SD490	0.53 (3-D10)
9	U-F3-S5-15		15d			
10	U-F3-S5-10		10d			

注) T-F3-S10-15D

タイプ … T:定着板型 U:U型
コンクリート強度 … F3:300 F6:600 (kgf/cm^2)
定着主筋強度 … S5:SD490 S10:SD980相当
定着部直線長さ l_s … 15:15d 10:10d
横補強筋量 … D: 1-D10(0.17%)

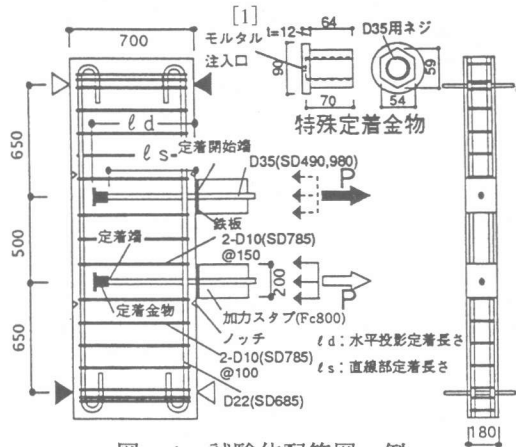
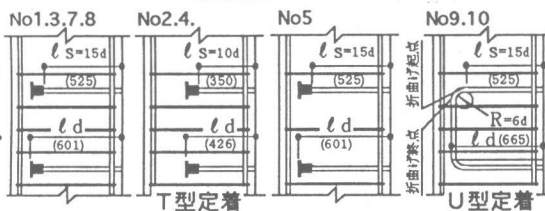


図-1 試験体配筋図一例



*1 鹿島建設技術研究所 第三研究部研究員 (正会員) *2 同 主管研究員
*3 同 専門部長 (正会員)

定着長さ (ℓ s: 15d, 10d) 及び接合部横補強筋比 (jPw : 0.53, 0.17%) である。試験体一覧を表-1に、使用材料の力学的性質を表-2に示す。

3. 実験方法

加力は、地震時に作用する力を想定し、反力用柱の両端をピンローラー支持し、梁主筋に直接引張力を、また、これと同等な圧縮力を梁危険断面の圧縮領域 (圧縮領域の長さは20cmと仮定) に加力スタブを介し作用させる方法で行った。載荷手順は表-3に示す正負繰返し加力とした。実験状況を写真-1に示す。計測は、作用荷重、主要点の変形、主筋の拔出し、主要点の鉄筋の歪、ひび割れ進展状況について行った。

4. 実験結果

図-2に各試験体の最大荷重を、その時の主筋の歪を用いて、主筋の荷重-歪曲線上に示す。主な試験体のひび割れの記号及び状況をそれぞれ図-3、4に示す。

4.1 実験経過と破壊状況

T型定着試験体に関しては、No.1では、引張力が作用している主筋に沿った付着割裂ひび割れ (B) の発生後、主筋の定着開始端付近で微細に放射状せん断ひび割れ (S1) が発生し、定着開始端より30cm位置付近から圧縮加力スタブへ向かい放射状せん断ひび割れ (S2) が発生した。これに前後し曲げひび割れ (F) が発生し、加力柱側へ向かう放射状せん断ひび割れ (S3)、定着端から圧縮域へ向かう接合部せん断ひび割れ (DT) の順に発生した。DTの発生後は、このひび割れ幅が拡大する以外に、顕著なひび割れの進展はみられなかった。No.2はDTの発生が曲げひび割れの発生よりも先行した。SD685相当を用いたNo3、4はNo1、2とほぼ同様であり、接合部横補強筋量をNo3、4の1/3 ($jPw=0.17\%$) にしたNo5、6は、DTのひび割れ幅が他の試験体より大きく、集中した。No6は他の試験体に比べ、S3の発生が多かった。コンクリート強度を F_c600 としたNo7、8は、定着端付近で微細に発生する放射状せん断ひび割れ (S1) があまりなく、接合部内と加力柱側に発生するS2、S3と接合部せん断ひび割れ (DT) に明快に集中する傾向であった。

一方、U型定着に関しては、No9では加力柱側に発生するS3の発生までは、No1と同様に進展したが、DTが最大耐力時に発生した。

表-2 使用材料の力学的性質

試験体 No	(コンクリート)		
	圧縮強度 σ_B (kgf/cm^2)	割裂強度 σ_t (kgf/cm^2)	ヤング率 $E_{1/3}$ (10^5 kgf/cm^2)
1~6	338	26.8	2.75
7,8	634	39.5	3.63
9,10	330	27.3	2.71

径及び材質	(鉄筋)		
	降伏点 σ_y (kgf/cm^2)	引張強さ σ_t (kgf/cm^2)	伸び率 (%)
D10(SD785)	8831	10594	15.9
D22(SD685)	7071	8992	12.6
D35(SD490)	5318	7231	15.7
D35(SD685相当)	7730*	9962	3.75

注) *SD490の熱処理材、0.2%オフセット法で求めた値

表-3 加力サイクル

サイクル	± 1	± 2	$\pm 3 \sim \pm 4$	± 5	± 6
荷重 P (tf)	Py/3	2Py/3	0.95Py	$P=Py$ $\epsilon=10000$ [65]	$P=1.25Py$ [90]

注) Py: D35(SD490) 鉄筋の降伏耐力 ($Py=50.9\text{tf}$)

[] 内は SD980 試験体においての目標荷重

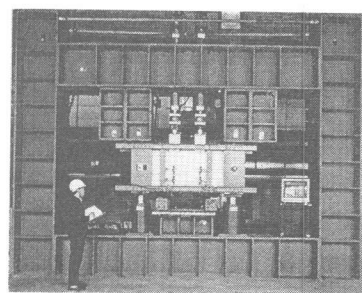


写真-1 実験状況

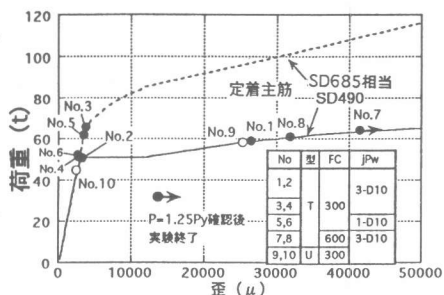


図-2 各試験体の破壊荷重及び定着主筋の歪

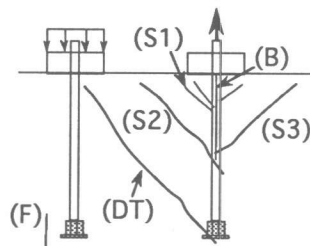


図-3 ひび割れ記号

一方、No10は、最大耐力までにDTが発生し、ひび割れの進展順序もほぼNo2と同様であった。

以下に、破壊性状の概要を記述する。T型定着としたNo1～6及びNo8は定着端近傍の横補強筋（接合部内）が降伏し、試験体側面のコンクリートが剥離し破壊した（以降側面剥離破壊、SF破壊）。代表例としてSF破壊したNo.8の破壊状況を写真－2に示す。ここで、No5は横補強筋が降伏せず側面剥離破壊し、一方、No6は加力柱側と接合部内の横補強筋が降伏していた。

Fc600、 $\ell_s=15d$ としたNo7は荷重が主筋降伏荷重の1.25倍に達しても耐力の低下を示さず実験を終了した(RU)。

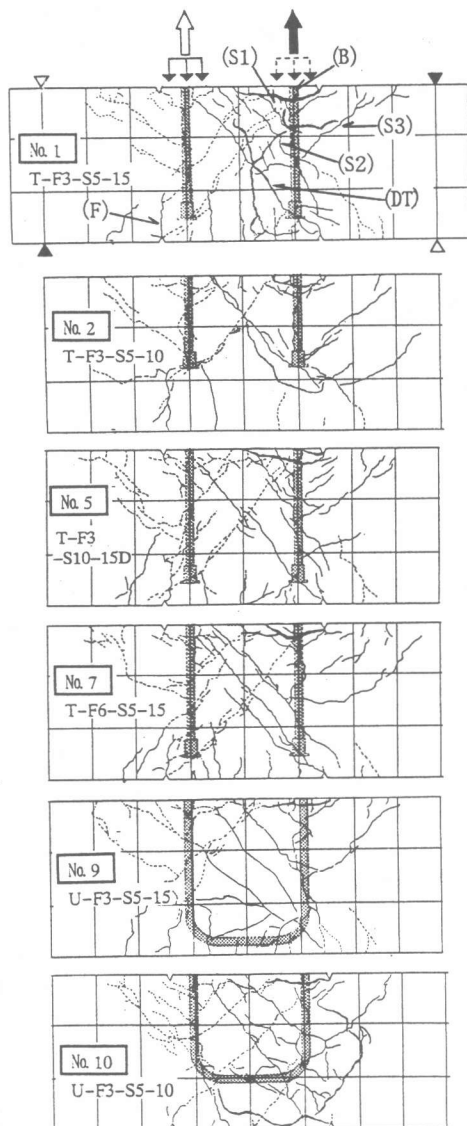
U型定着としたNo9は、No1の最大荷重近くに達した時DTが発生し耐力が低下するとともに、折曲げ加工部から発生するひび割れの数が増加しており、接合部を割裂くように破壊した。No10は主筋降伏前に折曲げ加工部周辺が顕著に剥離した（側面剥離破壊したT型定着の破壊と区別しBF破壊と呼ぶ）。

4.2 主筋の拔出し

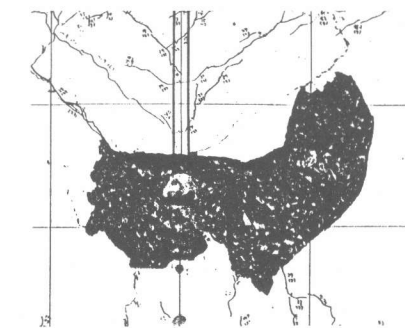
接合部からの梁主筋の拔出しは、主筋直線部ののび量と定着端の滑り量との和と考え、図－5にT型定着（No.1、2）とU型定着の荷重－拔出し及び定着端の滑り関係の包絡線を示す。この図によると、定着端の滑りは主筋の拔出しに比べその割合は非常に小さい。主筋降伏時のT型定着の拔出し量は、定着長の長い場合は1mmでU型定着と同じ程度であるが、定着長の短い場合は2mm程度で大きかった。また、定着端の滑りは、No.1が主筋降伏荷重を超えた最大荷重の直前から増加し、その他は主筋降伏前から増加した。拔出しと同様に定着長の短いT型定着が最も大きかった。

4.3 接合部の変形

T型定着（No.1、2と5、6）とU型定着試験体の荷重－柱梁接合部せん断変形角（ γ ）関係の包絡線を図－6に示す。T型定着は、U型定着に対し正加力での変形は大きい、負加力ではその差はほとんどない。T型定着試験体で、接合部横補強筋量を少なくすると（No.5、6）、それが多い場合（No.1、2）よりも変形量は増大し、横補強筋量は接合部の変形に影響を与えた。



図－4 ひび割れ状況（代表例）



写真－2 側面剥離破壊の状況（No.8）

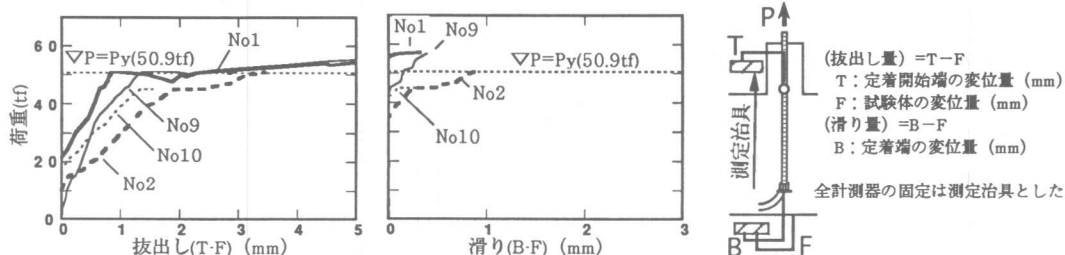


図-5 荷重-拔出し及び定着端滑り関係

4.4 接合部横補強筋の歪分布

図-7に、T型定着 (No. 1、2) とU型定着試験体の各加力のピーク時の接合部横補強筋の歪分布を示す。T型定着は接合部せん断ひび割れ上の横補強筋に歪が集中し、定着端近くの補強筋は局部的に降伏した。U型定着は特定の鉄筋に歪が集中する傾向はなく、歪の大きかった鉄筋に関しても、降伏歪に対して6割程度であった。U型定着の場合には、ひび割れが分散していたためと思われる。

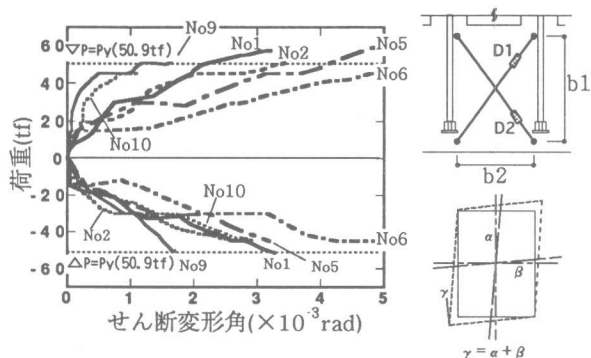


図-6 荷重-接合部せん断変形角 (γ) 関係

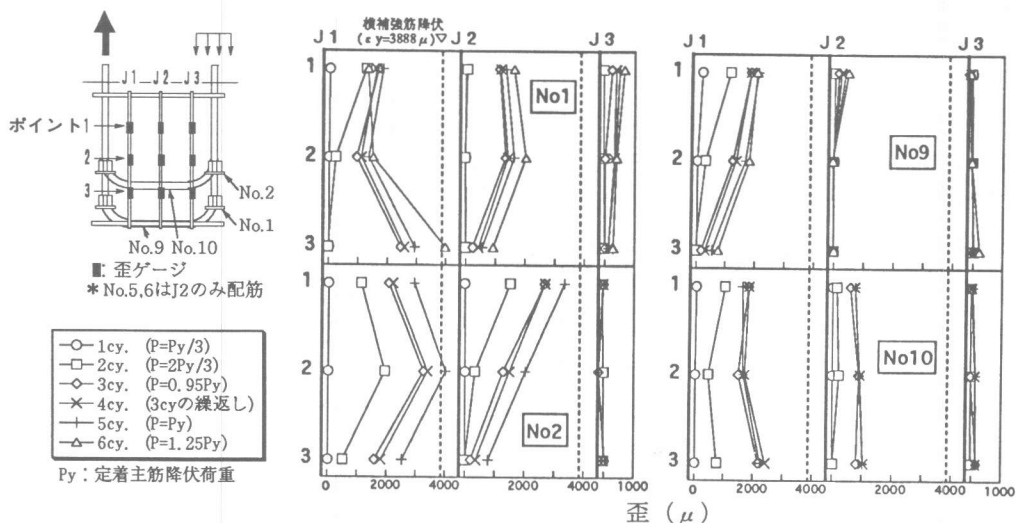


図-7 荷重-接合部横補強筋歪関係

5. 実験結果の検討

5.1 最大耐力の検討

各試験体の最大耐力の実験値と既往耐力算定式による計算値の比較を表-4に示す。

最大耐力実験値に関し、T型定着としたNo. 1、2を対象として、各因子のみを変えた試験体を比較する。No. 1、2 (Fc300) の最大耐力は、従来のU型定着としたNo. 9、10に比べ同等以上であった。梁主筋を降伏棚のない高強度鉄筋を用いたNo. 3、4の定着耐力は降伏棚のあるNo. 1、2に比べ

定着長が長い場合に上昇する傾向にあった。また、高強度コンクリート (Fc600) とした No. 7、8 の耐力は主筋降伏後も十分な耐力が得られた。次に、接合部横補強筋量のみを変えた No. 3、4 と No. 5、6 を比べると、耐力は定着長が長い場合に上昇する傾向であった。また、破壊した試験体について定着長のみ違い (ℓ_s : 15d、10d) を見ると、長い場合は、短い場合に対し1割~3割上昇した。

T型定着に関し、想定したコーン破壊面 (表-4 解図参照) より得られるコンクリートのみのコーン破壊耐力の計算値は、実験値を過小評価し、また、想定したコーン破壊面状にひび割れが発生した後の定着耐力の負担は横補強筋が受け持つと考え算定した横補強筋の降伏時の定着耐力の計算値は、実験値を過大評価する傾向にあり、最大耐力は両者の計算値の中間にあった。一方、U型定着に関し、別所式 [3] による計算値は実験値によく対応し、藤井・森田式 [4] による計算値は実験値を過小評価した。

以上より、破壊したT型定着の試験体が側面剥離破壊時に耐力を失っていることから、最大耐力は、試験体のコンクリートの負担できる剥離破壊の耐力 (以降剥離耐力) に依存していると考えられる。剥離耐力の大きさが、その時に定着端の負担した力の大きさと対応していると考え、鉄筋の歪から算出した定着端の負担力 (BP) の値を表-4に示す。BPは、剥離破壊した試験体についてみると、定着長 (ℓ_s) が長いほど、コンクリート強度 (Fc) が大きいほど、接合部横補強筋量 (jPw) が大きいほど、大きい傾向にあった。このような ℓ_s 、Fc、 jPw によるコンクリートの拘束は剥離耐力に影響することがわかる。

5.2 付着定着性状の検討

表-5に、主筋降伏時と最大耐力時の、全荷重に対する直線部付着力の比 (以降分担率)、直線部平均付着応力度 (τ_a) 及び支圧応力度比を示す。

分担率は、T型定着に関し、主筋降伏時に直線部の負担する割合は、Fc300で、 $\ell_s=15d$ は5割、 $\ell_s=10d$ は2割、Fc600で、 $\ell_s=15d$ は6割、 $\ell_s=10d$ は5割負担していた。破壊したT型定着についてみると、最大耐力時にプレート部は7割以上の定着力を負担していた。U型定着についてみると、直線部の負担する定着力の割合はT型定着に比べ、主筋降伏時と最大耐力時ともに、小さ

表-4 定着耐力実験値と計算値の比及び最大耐力時定着端力

No.	実験値		計算値1 (2)		計算値2 (3)		最大耐力時		破壊モード (5)
	P_{max} (t)	P_{max}/P_y (1)	P_1 (t)	P_{max}/P_1	P_2 (t)	P_{max}/P_2	B_P (4)	B_P/P_y	
1	57.2	1.12	33.2	1.72	87.5	0.65	46.5	1.36	SF
2	50.9	1.00	26.9	1.89	62.5	0.81	42.0	1.28	SF
3	65.8	1.29	33.3	2.00	87.5	0.75	45.6	1.33	SF
4	51.5	1.01	27.2	1.89	62.5	0.82	39.4	1.17	SF
5	61.9	1.22	33.1	1.87	68.2	0.91	41.5	1.22	SF
6	52.3	1.03	27.1	1.92	50.0	1.05	43.0	1.28	SF
7	64.3	1.26	45.7	1.41	87.5	0.73	28.9	0.45	RU
8	62.9	1.24	36.9	1.70	62.5	1.01	50.9	0.82	SF
9	56.9	1.12	53.1	1.07	43.3	1.31	48.1	1.52	BF
10	45.1	0.89	47.4	0.95	40.4	1.12	32.9	0.96	BF

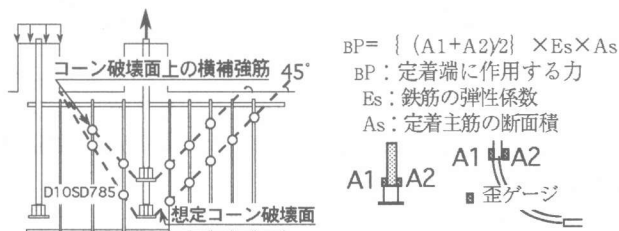
(1) $P_y = s \sigma_y \times A = 50.9 \text{ tf}$

(2) T型定着 (No. 1~8) はコーン状破壊面を想定した破壊耐力の計算値。下図・文献(5)参照 U型定着 (No. 9、10) は別所式による計算値。(3) T型定着 (No. 1~8) はコーン状破壊面上の横補強筋降伏時の定着耐力計算値。 $P_2 = n \times A_s \times \sigma_{wy}$ 下図参照 U型定着 (No. 9、10) は藤井・森田式による計算値。

(4) B_P : 定着端に作用する力 下図参照

(5) SF、RU、BF: 本文参照

※ 接合部せん断耐力 $Q_{ju} = \tau_{ju} \times j_c \times t_p$ $\tau_{ju} = 5.1 \sqrt{F_c}$ 、 j_c : 接合部パネルの有効せい、 t_c : 接合部パネルの有効幅 (ジャッキ荷重 P_{ju}) $= Q_{ju} / 0.722$ P_{ju} の値は、各試験体の代表としてNo. 1は132.1t、No. 2は94.7t、最大耐力の実験値に対し大きく上回り試験体の接合部せん断耐力には十分余裕がある。



い傾向にあった。

直線部平均付着応力度 (τ_a) は、T型定着の破壊した $\ell s=15d$ の試験体は、主筋降伏時の τ_a は、試験体のコンクリート強度の実強度 (平均値 $Fc338$ 、 $Fc634$) を用いて算定した建築学会式 [6] の短期許容付着応力度 (f_a) (その他の鉄筋) の値、 $f_a=40.5$ 、 58.3 kg/cm^2 に対して、1割以上これを上回った。また、主筋降伏時の τ_a の大きさは、最大耐力時に低下する傾向にあった。

プレート部の支圧応力は、 $Fc300$ の試験体では、主筋降伏時に $\ell s=15d$ では $1.3F_c$ 程度、 $\ell s=10d$ では $2F_c$ 以上となり、最大耐力時は $\ell s=15d$ の場合でも $2F_c$ を超えた。

6. まとめ

外柱梁接合部を対象に、特殊定着金物を用いた梁主筋の定着性能を調べる実験を行った結果、以下の結論を得た。

①T型定着の耐力は、コンクリートの強度を $Fc600$ とし $\ell s=15d$ とした場合、主筋D35 (SD490) の定着を確保した。更に、 $Fc300$ でもその大きさは従来のU型定着以上であった。②破壊性状は、T型定着は側面剥離破壊し、U型定着は接合部を割り裂くような破壊、及び主筋降伏前の側面剥離破壊であった。③耐力は、コンクリート強度が最も大きく影響し、ついで主筋強度及び定着長さが影響を与え、これらが大きくなるほど耐力も大きくなる傾向にあった。接合部横補強量の影響は、これが少ないと若干低下する傾向にあった。④主筋降伏時での主筋の拔出しは、 $\ell s=15d$ のT型定着はU型定着より小さかった。T型定着の接合部の変形は、接合部横補強筋量が少ない場合、若干大きくなった傾向であった。⑤直線部の負担する定着力の割合は、主筋降伏時では、定着長が長いほど、コンクリート強度が大きいほど大きい傾向にあり、U型定着よりも多く負担していた。破壊時にはプレート部がほとんどの定着力を負担した。

表-5 直線部定着分担率、直線部平均付着応力度
及びプレート部支圧応力度比

No.	試験体名	主筋降伏時 (1)			最大耐力時 (2)		
		分担率	τ_a	支圧応力度比	分担率	τ_a	支圧応力度比
1	T-F3-S5-15	0.54	49.0	1.2	0.19	19.4	2.5
2	T-F3-S5-10	0.22	31.0	2.3	0.14	19.3	2.5
3	T-F3-S10-15	0.55	52.7	1.3	0.31	36.7	2.5
4	T-F3-S10-10	0.23	33.6	2.2	0.23	33.6	2.2
5	T-F3-S10-15D	0.52	48.9	1.3	0.33	37.2	2.3
6	T-F3-S10-10D	—	—	—	0.18	25.5	2.4
7	T-F6-S5-15	0.62	56.2	0.5	0.55	63.8	0.8
8	T-F6-S5-10	0.46	65.7	0.8	0.22	30.7	1.5
9	U-F3-S5-15	0.30	26.9	5.9	0.15	15.0	8.0
10	U-F3-S5-10	—	—	—	0.17	17.8	5.1
平均値 (σ) $Fc300$	$\ell s=15d$	0.54	50.2	1.3	0.28	31.1	2.4
	$\ell s=10d$	0.23	32.3	2.3	0.18	26.1	2.4

(1) No.3~6については、SD490の降伏歪 ($\epsilon_y=2724\mu$) を初めて越えるときの値を記載。
 (2) 最大耐力直前の値を記載。(3) 分担率: 定着力の埋め込み直線部の分担率、
 τ_a : 直線部平均付着応力度、支圧応力度比の計算は以下に示す方法によった。
 (分担率) = $(P-BP)/P$ (支圧応力度比) = $BP/(PLA \text{ or } UA)/\sigma_B$
 P : ジャッキ荷重 (tf) PLA : プレート有効面積 (cm^2)
 $\tau_a = (P-BP)/(\psi \times \ell s)$ 円形定着板面積から鉄筋の断面積を
 r_a : 直線部平均付着応力度 (kgf/cm^2) 差し引いた面積 ($54.0cm^2$)
 ψ : 定着主筋の周長 (cm) UA : U型定着法の場合の支圧面積 (cm^2)
 ℓs : 直線部定着長さ (cm) $UA = \sqrt{2r \times db}$
 r : U型定着の折り曲げ半径 (cm)
 db : 主筋径 (cm)
 σ_B : コンクリート強度 (kgf/cm^2)

【参考文献】 1. 加藤、別所ほか、「特殊定着金物を用いたネジ筋鉄筋の引き抜き性状」 日本建築学会大会学術講演梗概集 1994年9月 2. 張、別所ほか、「高強度太径鉄筋を用いたはり主筋定着法に関する実験研究」 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.15, No.2, 1993 P147-152 3. 別所ほか、「高層鉄筋コンクリート造骨組のU型はり主筋定着法に関する研究」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和52年10月9月 4. 藤井・森田ほか、「90° 折り曲げ鉄筋の定着耐力の再評価」 日本建築学会構造系論文報告集 第429号・1991年11月・P65-75 5. 「各種合成構造設計指針・同解説」 6. 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」