

報告 こぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着の梁主筋定着性能に関する実験結果の考察

石橋 壇*1, 岸本 一蔵*2, 益尾 潔*3

要旨: 梁主筋の定着をこぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着としたT型接合部の応力状態を模擬した載荷実験を行った。載荷方法は梁主筋に直接力を加える窪田らの実験方法に倣った。比較対象として一般的に用いられている円形板を主筋に摩擦圧接する機械式定着についても実験を行い、両者の比較を行った。その結果、こぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着は、円形平板圧接による機械式定着と、耐力、主筋抜け出し量およびひび割れ幅等ではほぼ同等の性能を示した。また、耐力については既往の側面剥離定着耐力算定式(益尾・窪田式)により算定できることを示した。

キーワード: 機械式定着, こぶ付き鋼管を用いた機械式定着, 側面剥離定着耐力, ひび割れ幅, 柱・梁接合部

1. はじめに

近年、材料の高強度化や鉄筋の太径化に対する要求により、接合部内での配筋が過密になる傾向がある。梁、柱主筋は接合部内で折り曲げ定着が行われるのが一般的であるが、上記の理由から同手法による定着が困難なケースが発生している。この問題を解消する有効な方法として、折り曲げ定着の代わりに主筋端部に主筋径よりも大きな定着具を設け、機械的な作用により主筋を定着する機械式定着が開発されてきている。

筆者らは機械式定着手法の一つとしてこぶ付き型定着板(写真-1, 図-1)を用いた機械式定着(以下 こぶ付き型)による梁主筋定着とした部材実験を行い、従来一般的に用いられている円形平板を主筋に摩擦圧接する機械式定着(以下 平板圧接型)との比較を行った。その結果について報告する。

2. 実験概要

本実験は、梁・柱部材の接合部を検討の対象として、梁主筋定着に機械式定着を用いた試験体に対し加力実験を行った。試験方法は、窪田らの実験¹⁾と同様、T形接合部を模擬した梁主筋に引抜き力を加えることにより行った。なお、本実験の目的は以下の3点である。

- 1) 既往の耐力算定式 式(1)¹⁾で算定される耐力(益尾・窪田による主筋側面剥離定着耐力式)を満足することを確認する。

$$T_{au} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot \sigma_{auo} \cdot A_p \quad (1)^{1)}$$

σ_{auo} : 側面剥離基本支圧強度 k_1 ; 支圧面積比 (α_p) による補正係数, k_2 ; 定着長さ比 (la/d_b) による補正係数, k_3 ; ストラット勾配 (la/j) による補正係数, k_4 ; 側面かぶり厚さ比 (C_o/d_b) による補正係数, k_5 ; 接合部横補強筋比 (p_{jw}) による

補正係数, k_6 ; 定着筋直径 (d_b) による補正係数, $\alpha_p = A_p/a_t$, A_p ; 支圧面積, a_t ; 梁主筋の断面積, la ; 定着長さ, j ; 仕口面での梁の応力中心間距離, C_o ; 梁主筋中心からの柱面までの側面かぶり厚さ

- 2) 抜けだし剛性, つまり抜けだし量が平板圧接型と同程度であり, 抜けだし量が過度に大きくならないことを確認する。
- 3) 接合部ひび割れ幅が平板圧接型と同程度であり, ひび割れ幅が過度に大きくならないことを確認する。

2.1 こぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着の概要

「こぶ付きスリーブ鋼管」とは、末端部をこぶ状に成形したスリーブ鋼管のことで、以下、「こぶ付き型」と称する。こぶ付き型を用いた機械式定着は、こぶ付き型定着板の成形後、鉄筋との圧着加工によって作製される。表-1に本実験に用いたこぶ付き型の諸元を示す。図の $\phi 1$ は約 $2.5d_b$ (d_b : 鉄筋の直径), T は約 $0.7d_b$ である。 $\phi 1$ は、JASS5の鉄筋間隔を満足するように、直径の2.5倍、全長 $T+L$ は、2.7倍とした。 T は、こぶ加工が可能な値とし、 L は、直径の約2倍としている。鉄鋼製品は、機械構造用炭素鋼管(JIS G 3445, STKM13A)である。

表-1 こぶ付き型及び平板圧接型

呼び径	こぶ付き型				平板圧接型	
	$\phi 1$	T	$\phi 2$	L	ϕ	T
D22	56	16	34	46	55	18
D25	64	18	38	53	60	20
D29	72	20	43	59	75	24

単位はmm



写真-1 こぶ付き型

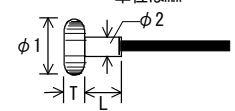


図-1 こぶ付き型の寸法

2.2 試験体概要

図-2, 3に試験体概要, 表-2に試験体一覧を示す。

*1 近畿大学大学院 総合理工学研究科 環境系工学専攻 大学院生 (正会員)

*2 近畿大学 建築学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 (一社) 建築構造技術支援機構 代表理事 工博 (正会員)

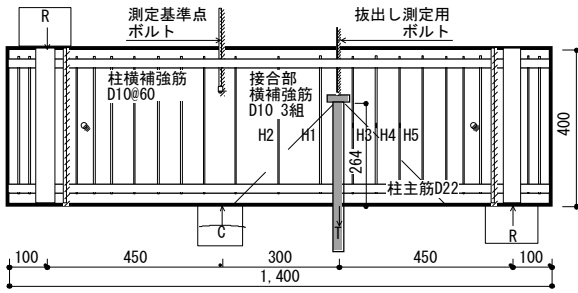


図-2 試験体形状寸法および配筋例

変動因子は、定着長さ、かぶり厚さ、横補強筋である。各試験体ともに、梁主筋間寸法=240mm、梁主筋中心までの側面かぶり厚さ $C_s=3d_b$ (d_b : 主筋の直径)、接合部横補強筋 2-D10-3 組 (p_{jw} (接合部横補強筋比) =0.38%または 0.36%)とし、柱全高さ $H=1200\text{mm}$ とした。また、接合部と隣接する柱部の横補強筋は、柱部のせん断破壊および梁主筋掻き出し破壊の防止のために、梁主筋 D22 試験体では 2-D10@60mm ($p_w=0.64\%$)、梁主筋 D25, D29 試験体では 2-D10@40mm ($p_w=0.91\%$ または 0.89%)とした。試験体のコンクリートは梁主筋が水平になるような方向で打設した。従って、打設時に上側の主筋はブリージングの影響を受けている。なお、作業のし易さのため、打設は横打ちとし、図-3 に示すように、この時に上側あるいは下側に位置する梁主筋をそれぞれ上端筋、下端筋と呼ぶ。

2.3 荷重方法

図-4 に示すように、荷重は柱両端の支点を、一方を上部から、他方を下部から支持し、引張側梁主筋 2 本の末端部を鉄骨荷重梁にナットで固定しつつ、梁曲げ圧縮合力位置に油圧ジャッキ(最大容量 2000kN)で下方から荷重を加えて行った。本荷重方法によると、梁曲げ圧縮合力位置での加力に伴い、梁主筋 2 本に引張力が発生し、試験体中央の柱梁接合部および両端の柱部に逆対称曲げモーメントが発生する。本荷重では、柱部両端の支点位置に、支点ごとにセンターホール油圧ジャッキ(最大容量

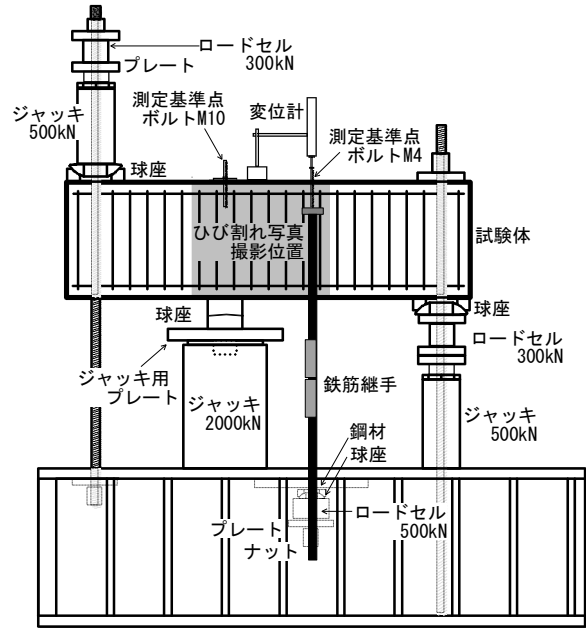


図-4 実験装置

500kN)を設置し、それらを連通管でつないだ。また、梁主筋 2 本の引張力を個別に測定するため末端部にそれぞれロードセル(最大容量 500kN)を配置した。梁主筋の抜け出し量は、図-4 に示すように、各梁主筋末端に溶接した測定点ボルト(M4)と梁曲げ圧縮合力位置に埋め込んだ基準点ボルト(M10)の間の相対変位として測定した。横補強筋ひずみは、図-2 に示すように、梁主筋に隣接した接合部横補強筋(2 点: H1, H2)と柱部横補強筋(3 点: H3~H5)のひずみを箔ひずみゲージにより測定した。なお、添付位置は横補強筋の中央位置に各 2 枚(柱断面コア側とかぶり側)である。

また、ひび割れ幅については、ひび割れが発生した時点でひび割れ幅が最も大きい箇所を目印をつけ、以後同点のひび割れ幅をデジタルマイクロスコープを用いて測定した。

表-2 実験計画

No.	試験体名称	F _c (N/mm ²)	T _{cu} /T _{ey}	梁主筋						柱				接合部 横補強筋			
				呼び名	定着金物 種別	付着 有無	lag (mm)	lag /db	lag /D	C _s (mm)	C _s /db	幅 B (mm)	せい D (mm)		引張 主筋	dt (mm)	横 補 強 筋
1-1, 2	D22-こぶ付きスリーブ-有-1, 2	24	1.05	2-	こぶ付き スリーブ	有	264	0.66	65	3.0	370	400	3-	D22	40	2-D10 @60 p _w =0.64%	2-D10 -3組 (D22)
2	D22-こぶ付きスリーブ-無		1.05														
3-1, 2	D22-摩擦-有-1, 2		1.05	2-	摩擦 圧接型	有	300	0.75	75	3.0	390	450	3-	D25	45	2-D10 @40 p _w =0.91%	(D25, D29) p _{jw} =0.36%
4	D22-摩擦-無		1.05														
5	D25-こぶ付きスリーブ-有		1.04	2-	こぶ付きスリーブ	有	348	0.77	80	2.8	400	450	3-	D29	45	2-D10 @40 p _w =0.91%	(D25, D29) p _{jw} =0.36%
6	D25-摩擦-有		1.04	2-	摩擦圧接型	有											
7	D29-こぶ付きスリーブ-有		0.95	2-	こぶ付きスリーブ	有	348	0.77	80	2.8	400	450	3-	D29	45	2-D10 @40 p _w =0.91%	(D25, D29) p _{jw} =0.36%
8	D29-摩擦-有		0.95														

【記号】 F_c: コンクリートの目標圧縮強度、lag: 梁主筋定着長さ、C_s: 梁主筋中心の側面かぶり厚さ、db: 梁主筋直径、dt: 柱主筋中心かぶり厚さ

【鉄筋鋼種】 梁主筋: SD490、柱主筋: SD345、柱横補強筋: SD295、接合部横補強筋: SD295

(注) 1) 各試験体ともに、柱断面幅方向の梁主筋中心間距離b-2C_sは、すべて240mmとする。

2) 試験体D22-FA-有-1, 2, D22-摩擦-有-1, 2は、それぞれ同一配筋の試験体とする。

表-3 材料試験結果

(a) コンクリート		(b) 鉄筋					
圧縮強度 σ _B (N/mm ²)	割裂強度 σ _t (N/mm ²)	使用部位	鋼種	呼び名	σ _y (N/mm ²)	σ _u (N/mm ²)	伸び (%)
21.9	2.29	梁主筋	SD490	D22	554	736	19.1
				D25	560	748	22.7
				D29	508	695	22.9
		柱主筋	SD345	D22	380	561	23.0
				D25	374	558	25.1
				D29	365	553	27.0
		横補強筋	SD295A	D10	364	512	26.9

(注) σ_y: 降伏点、σ_u: 引張強度、試験値: 3本の平均値

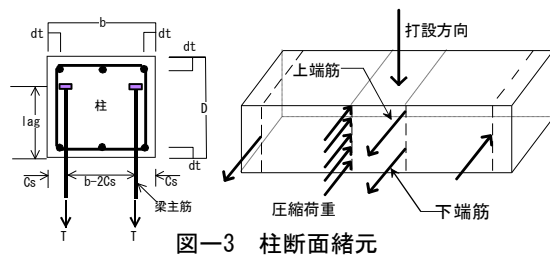


図-3 柱断面緒元

3.実験結果

3.1 荷重-変形関係および破壊性状

各試験体の梁主筋引張応力 (σ_t) - 抜け出し変位 (δ_t) 関係を図-5に示す ($\sigma_t = T_t / a_t$; T_t : 梁主筋の引張力, a_t : 梁主筋の断面積)。同図中には、梁主筋側面剥離定着耐力 T_{au} 時の梁主筋引張応力 σ_{au} の値を併記した。図-5に示すように、打設時の下端筋 (以下 下端筋) は、主筋部分の付着を除去した試験体 (No.2, No.4) を除けば、全ての試験体で計算耐力を上回った。一方、打設時の上端筋 (以下 上端筋) は、ブリージングの影響を受けたため、多くの試験体で計算耐力を下回った。

No.2 (こぶ付き型) と No.4 (平板圧接型) では主筋部分の付着を除去しているため、両者の比較は端部機械式定着部の性能の違いを示している。こぶ付き型では上端筋と下端筋の耐力に差が出たが、平板圧接型では両者の差はほとんどなかった。ただし、上端筋と下端筋の平均値は両試験体でほぼ同じ (350N/mm^2) であり、耐力的には、平板の方がやや大きい、それほど差はない。

各試験体のひび割れ状況写真を写真-2に示す。同写

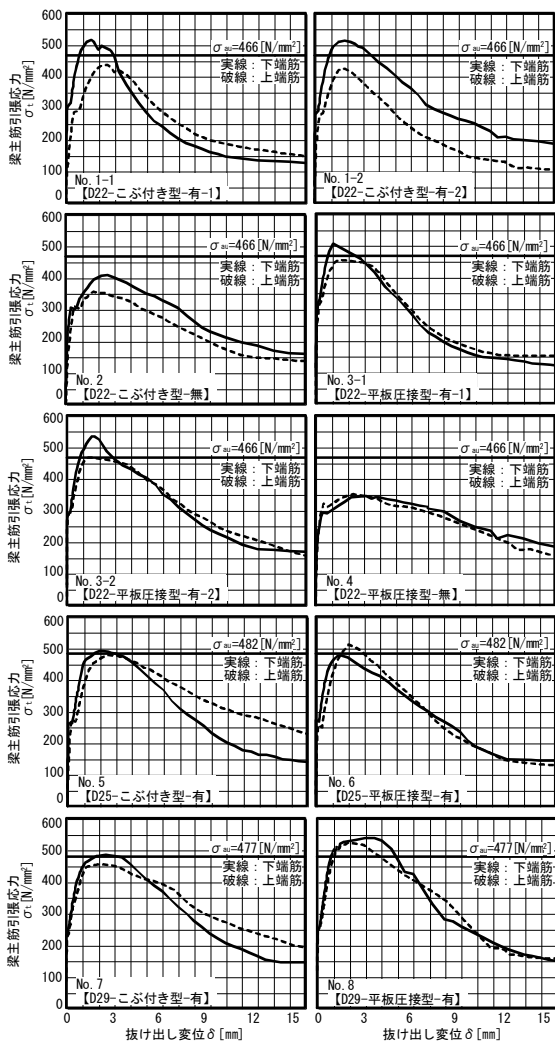


図-5 梁主筋引張応力 σ_t - 抜け出し変位 δ 関係

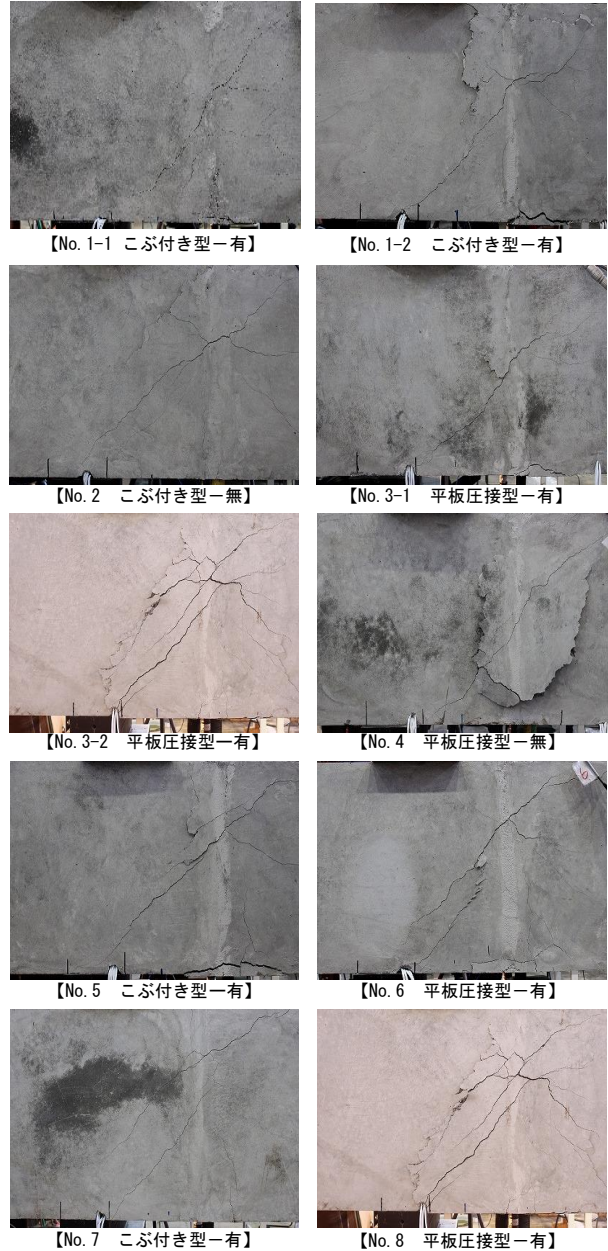
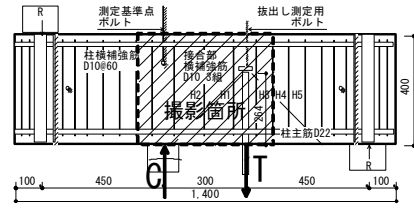


写真-2 上端筋側ひび割れ写真

真は最大荷重から耐力が 2/3 に低下した時点での状況である。いずれの試験体も、「引張主筋の端部位置 (写真右上側) から圧縮力作用位置 (写真左下側)」へのせん断ひび割れと、引張主筋に沿った縦方向のひび割れが発生しており、また引張主筋端部位置を中心に剥離が発生している。剥離の程度は、D22 試験体の場合、D25, D29 の試験体に比べて大きかったが、これは接合部内の横補強筋の違い (前者で 2-D10@60, 後者で 2-D10@40) によるものと推察される。また、いずれの試験体でも剥離の発生

表-4 各試験体の計算耐力と実験値の比較

試験体		σ_B (N/mm ²)	計算耐力					最大引張力実験値			実験値/計算値					
			T_{gy} (kN)	T_{au} (kN)	T_{au}/T_{gy}	T_{cu} (kN)	T_{cu}/T_{gy}	T_{max1} (kN)	T_{max2} (kN)	T_{max} (kN)	T_{max1}/T_{au}	T_{max2}/T_{au}	T_{max}/T_{au}	T_{max1}/T_{gy}	T_{max2}/T_{gy}	T_{max}/T_{gy}
No.	記号															
1-1	D22-こぶ付き型-有-1	21.9	205	180	0.88	215	1.05	199	168	184	1.10	0.93	1.02	0.97	0.82	0.82
1-2	D22-こぶ付き型-有-2		205	180	0.88	215	1.05	198	164	181	1.10	0.91	1.00	0.97	0.80	0.80
2	D22-こぶ付き型-無		205	180	0.88	215	1.05	158	137	148	0.88	0.76	0.82	0.77	0.67	0.67
3-1	D22-平板圧接型-有-1	21.9	205	180	0.88	215	1.05	195	176	186	1.08	0.98	1.03	0.95	0.86	0.86
3-2	D22-平板圧接型-有-2		205	180	0.88	215	1.05	206	181	194	1.14	1.00	1.07	1.00	0.88	0.88
4	D22-平板圧接型-無		205	180	0.88	215	1.05	133	135	134	0.74	0.75	0.74	0.65	0.66	0.66
5	D25-こぶ付き型-有	21.9	269	244	0.91	279	1.04	248	242	245	1.02	0.99	1.00	0.92	0.90	0.90
6	D25-平板圧接型-有		269	244	0.91	279	1.04	241	257	249	0.99	1.05	1.02	0.90	0.96	0.96
7	D29-こぶ付き型-有	21.9	340	306	0.90	324	0.95	311	291	301	1.02	0.95	0.98	0.91	0.85	0.85
8	D29-平板圧接型-有		340	306	0.90	324	0.95	344	335	340	1.12	1.09	1.11	1.01	0.98	0.98

【記号】 σ_B : コンクリート実圧縮強度、 T_{gy} : 梁主筋引張降伏耐力、 T_{au} : 側面剥離定着耐力、 $T_{cu}^{1)}$: 掻き出し定着耐力、 T_{max1}, T_{max2} : 梁主筋1,2の最大引張力、 $T_{max}=(T_{max1}+T_{max2})/2$
 【破壊形式】各試験体ともに、側面剥離定着破壊

は最大耐力前後であった。

3.2 梁主筋定着耐力の検討

(1) 計算耐力と実験耐力との比較

各試験体の計算耐力と実験耐力との比較を表-4に、また、こぶ付き型と平板圧接型の付着有試験体の梁主筋呼び名別の T_{max}/T_{au} (T_{au} は益尾・窪田式による側面剥離定着耐力¹⁾、 T_{max} は両主筋の平均値)を図-6に示す。計算耐力は、益尾・窪田式に既往の論文¹⁾より下限値の値(T_{au} は0.8、 T_{cu} は0.7)をかけたものとし、材料試験結果の値を用いて算定した。これらによると、梁主筋の付着有の場合、梁主筋の径によらず、 T_{max}/T_{au} は、平板型の方が大きい、それほど大きな差はなく、ほぼ同等と言える。

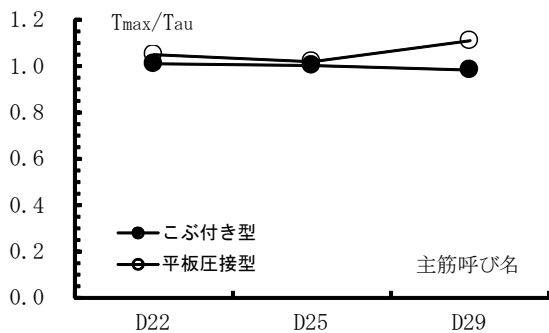


図-6 T_{max}/T_{au} -主筋呼び名関係

(2) 実験耐力と既往の実験との比較

本実験と既往実験との比較を図-7に示す。同図中、 σ_{max} は、梁主筋側面剥離定着耐力実験値 T_{max} を益尾・窪田式による補正係数 $k_1 \sim k_6$ と定着金物の支圧面積 A_p の積で除した最大耐力時の基本支圧応力であり、 σ_B はコンクリートの実圧縮強度である(式(2)による)。また、本実験の σ_{max} は上端側と下端側の平均値とした。

$$\sigma_{max} = T_{max} / (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot A_p) \quad (2)$$

同図中には、本実験値と主にネジ節鉄筋型定着金物を用いた既往実験値²⁾を示すとともに、益尾・窪田式による梁主筋側面剥離定着耐力時の基本支圧強度 σ_{au}/σ_B (太実線)およびその ± 0.2 の計算値(点線)を併示した。基本支圧強度 σ_{au} は、益尾・窪田式による梁主筋側面剥離定着耐力 T_{au} を補正係数 $k_1 \sim k_6$ と定着金物の支圧面積 A_p の積で除した値である。ただし、本検討では、既往実験値と同様、梁主筋側面剥離定着耐力 T_{au} を求めた。同図に示すように、こぶ付き型を用いた本実験値は、概ね、既往実験値の範囲と同様であることがわかる。以上より、こぶ付き型についても、梁主筋側面剥離定着耐力は、平板圧接型、ネジ節鉄筋型定着金物と同様、本実験に用いたコンクリートの設計基準強度 (24N/mm²)について、益尾・窪田式によって算定すれば下限値(式による値の0.8倍)として概ね安全側評価できると考えられる。

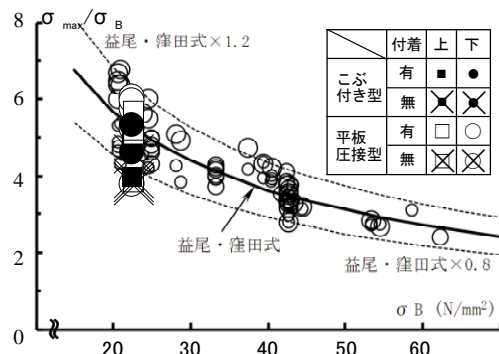


図-7 本実験と既往実験との比較

3.3 横ひずみ補強筋

図-8は、横補強筋ひずみの推移をNo.1-1試験体を例に示したものである。 $\sigma_{gy}=530\text{N/mm}^2$ の横線は、計算による梁主筋の降伏ラインで、梁主筋が降伏していないことがわかるように、グラフ上に示している。これによると、

補強筋ひずみは梁主筋より接合部側の直ぐ横に配置される H1 補強筋 (図-2参照) が最も大きくなっていることがわかる。この傾向は全ての試験体について同様であった。そこで、図-9(a)~(c)に梁主筋径別に横補強筋 H1 のひずみの推移を示す。同図中有の○印は最大耐力時の値を示す。これらの図より、D22、D29 の試験体では多くの試験体が、最大耐力時に横補強筋が降伏に至っていることがわかる。ただし、いずれの試験体も接合部内部の横補強筋 (H2) は未降伏であり、接合部のせん断破壊で最大耐力が決定したのではない。従って、より多くの横補強筋量を配すれば耐力は上昇する可能性がある。なお、D22 試験体では一部の横補強筋ひずみが途中から小さくなる挙動を示しているが、これはコンクリートの剥離に伴い、横補強筋が外側へはらみ出したため、横補強筋の柱断面内部側では曲げによる圧縮ひずみが生じたためと考えられる。これは、3.1 項で記述したように D22 の試験体では他の径の試験体に比べてコンクリートの剥離程度が大きかったことと一致する。

3.4 荷重とひび割れ幅、引き抜き量の関係

こぶ付き型と平板型とで、壊れ方の違いがないかを調べるために、ひび割れ幅の検討を行った。

図-10は、梁主筋に沿ったひび割れ、せん断ひび割れの幅および梁主筋の引き抜き量を、横軸を主筋の引張荷重 (引張荷重の最大荷重に対する比率 (%)) にとり示したものである。また、同図をもとに、各試験体別に、ひび割れ幅発生時の荷重を比較したものを図-11(a)、最大荷重時および荷重が最大荷重の90%に低下した時点でのひび割れ幅、および最大荷重時の引き抜き量を比較したものを図-11(b)、(c)に示す。

(1) ひび割れ発生時の荷重

ひび割れ発生時の荷重を示す図-11(a)によれば、いずれの試験体でも主筋に沿った縦ひび割れがせん断ひび割れに先行して発生しており、また、こぶ付き型、圧接型の違いによる明確な差はみられなかった。具体的には、例えば D22 (付着有り) の縦ひび割れは、こぶ付き型で最大荷重の 35%、52%、圧接型で 38%、59%、せん断ひび割れでは、縦ひび割れ発生時の荷重から 10~20%程度荷重が大きくなった時点で発生している。D25、D29 の試験体においても D22 の結果と同様の傾向であったが、径が太いほどひび割れ発生時の荷重 (荷重比率) が小さくなることがわかる。

(2) 最大荷重時および最大荷重 90%時点での梁主筋の引き抜き量

図-11(b)より、最大耐力時の引き抜き量はこぶ付き型、平板圧接型の違いによる明確な差はないことがわかる。具体的には、D22 では全ての試験体で 1.25mm~1.85mm の比較的小さい範囲に値が分布している。

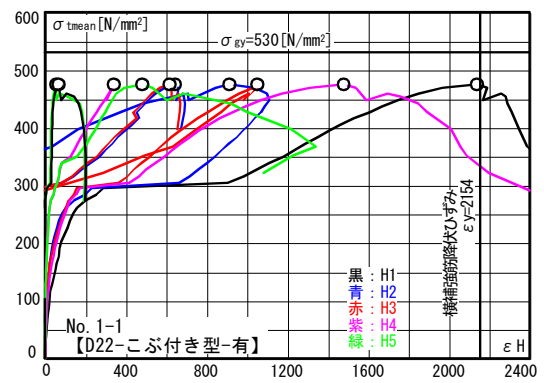
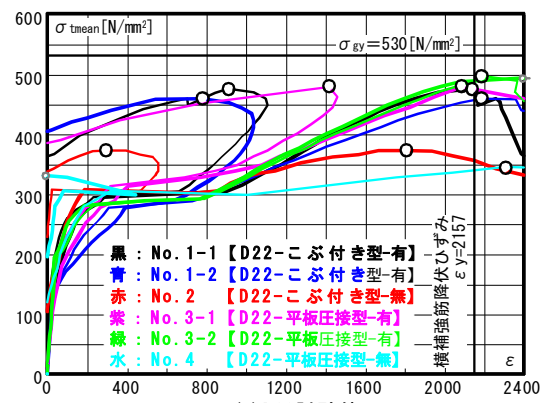
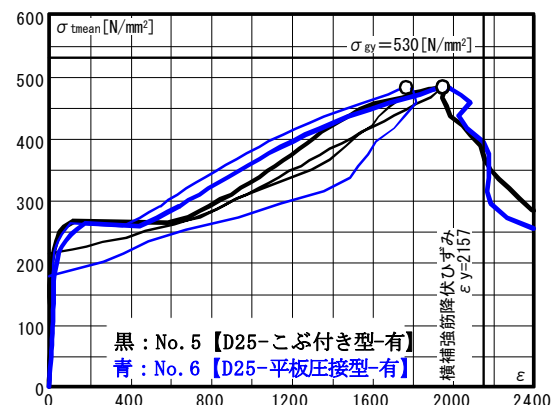


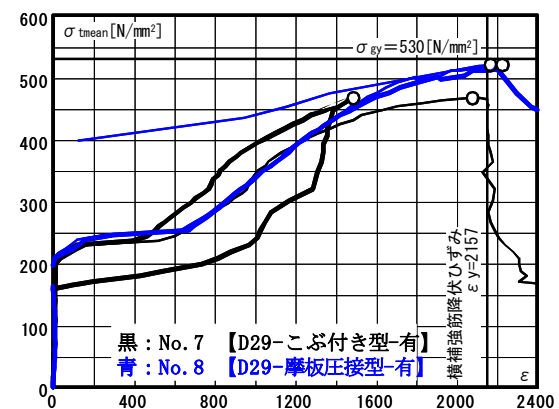
図-8 梁主筋引張応力 σ_{tmean} - 横補強筋ひずみ ε_{H1} 関係



(a) D22 試験体



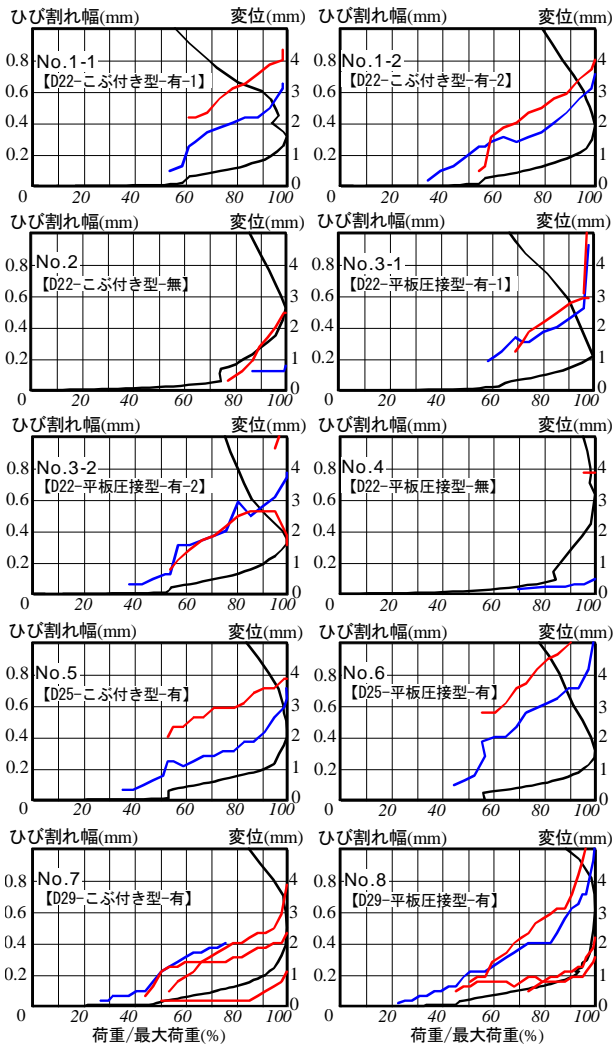
(b) D25 試験体



(c) D29 試験体

図-9 梁主筋引張応力 σ_{tmean} - 横補強筋ひずみ ε_{H1} 関係

また D25 でこぶ付き型は 2.15mm、圧接型は 1.5mm、D29 でこぶ付き型は 2.4mm、圧接型は 3.0mm と、径が大きくな



図一10 ひび割れ幅—荷重/最大荷重 および変位—荷重/最大荷重関係

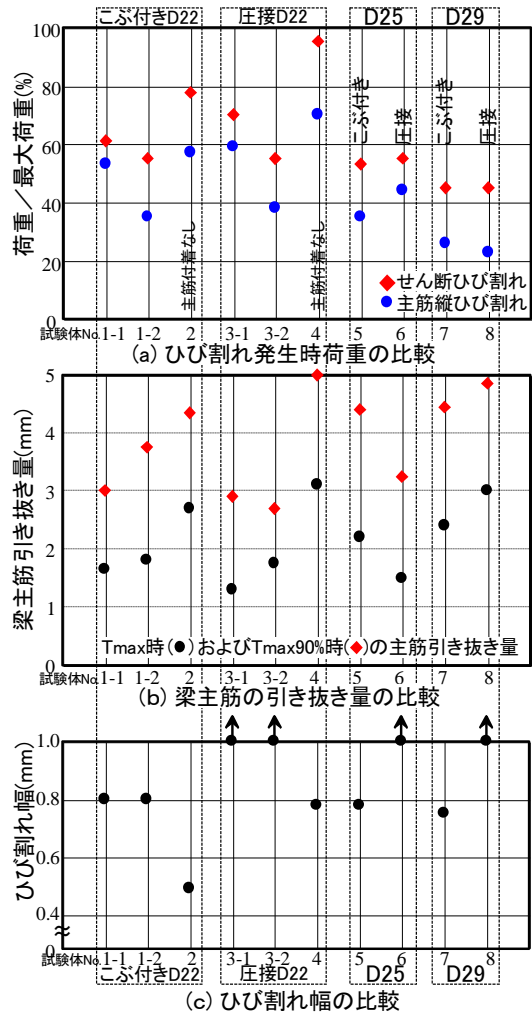
るに従い抜け出し量は大きくなっている。荷重が最大荷重の90%に低下する時点での引き抜き量は最大荷重時の引き抜き量より1~2mm程度大きな値となっており、いずれの試験体でも急激な荷重の低下はみられず安定した荷重—変形関係を示した。

(3) 最大荷重時のひび割れ幅

図一11 (c)は、最大荷重時のせん断ひび割れ幅の大きさを比較したものである。同図によれば、こぶ付き型のひび割れ幅は圧着型に比べて小さく、この傾向はD22, D25, D29のいずれの試験体でも同様であった。以上より、こぶ付き型と平板型とでは、壊れ方にそれほど大きな違いは、見られなかった。

4. まとめ

梁主筋の定着にこぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着を用いたト型接合部の載荷実験を行いその結果について報告した。その結果、こぶ付きスリーブ鋼管を用いた機械式定着は、平板圧接による機械式定着と、耐力、



図一11 引き抜き量、ひび割れ幅等の比較

主筋抜け出し量およびひび割れ幅等でほぼ同等の性能を示した。また、耐力については本実験で用いたコンクリート強度 ($\sigma_B=21.9\text{N/mm}^2$) では既往の側面剥離定着耐力算定式(益尾・窪田式)の下限値によりほぼ安全側評価できることを示した。

謝辞

本研究は、株式会社富士ボルト製作所・(一社) 建築構造技術支援機構・近畿大学の共同研究として行われたものです。また、近畿大学工学部 池田憲彦君, 山根直弥君, 岡根雄一君, 松井直人君に協力を頂きました。ここに、謝意を表します。

参考文献

- 1) 益尾潔, 窪田敏行: 機械式定着工法による RC 造ト型接合部の終局耐力に関する設計条件, 日本建築学会構造系論文集, 第 590 号, pp.87-94, 2005.4
- 2) 例えば小西他 2 名; 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, JCI 年次論文報告集, pp.1195-1200, 1995.6