

円形定着板を用いた機械式定着工法の開発 - 外周部柱梁接合部実験 -

服部 覚志* 竹内 博幸**

要 旨

本開発では、鉄筋コンクリートや鉄骨鉄筋コンクリート構造物の配筋作業の省力化を目的として、柱梁接合部における主筋端部などの定着工法として、鉄筋の形状に左右されない形式の機械式定着工法の開発を行っている。開発対象は、鉄筋の端部にネジを摩擦圧接し、そのネジに円形の定着板を取り付ける工法である。

本報では、上記機械式定着工法に関して、外周部柱梁接合部を模擬した部分架構造実験の結果について報告する。実験は、コンクリート強度、定着長、定着工法、破壊形式を実験因子とした試験体を7体製作し、正負交番の繰返し加力とした。その結果、円形定着板を用いた梁曲げ降伏先行型の試験体においては、急激な耐力低下を伴う脆性的な破壊はなく、最大耐力も計算値を上回った。また、梁主筋の柱梁接合部内における定着長を $2/3D$ (D :柱せい)とした場合の結果は、定着長を $3/4D$ とした場合と比較して、ほぼ同等の性能を有することが確認された。

なお、本実験は4社共同研究会「機械式定着工法の開発」ワーキンググループにおいて、当社が実施を担当した実験である。

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物の外周部柱梁接合部(以下、ト形接合部)への梁主筋の定着は、90度折り曲げ定着が主に採用されており、また、上端筋と下端筋を端部でU字型に繋いだ状態としたU字定着もある。これらの定着方法は、鉄筋を折り曲げるのみのため非常に簡便な定着方法である。しかしながら、一般に接合部内の配筋は複雑であり、太径鉄筋を用いた場合や配筋量が多い時には、納まらない事例が生じる。

このような問題を解決することを目的として、近年、主筋端部に定着金物を取り付ける機械式定着工法に関する研究開発が行われ、実用化されている。現在、建築工事において主に採用されている機械式定着工法は、ネジ節鉄筋に、定着具として方端が鉤形状のナットを取り付ける工法がある。上記工法では、使用出来る鉄筋の形状が限定されていることや定着具を固定するためにグラウトを注入することが必要で手間がかかるといった問題がある。

本研究では、広く流通している竹節形状の鉄筋にも適用できる機械式定着工法として、定着する主筋端部にネジを摩擦圧接し、中央部にネジを切った円形定着板を手締めにて締め込む工法を対象として、開発を行った。

本報では、この機械式定着工法を梁主筋に用いたト形接合部の、靱性能やせん断耐力の検証を行うことを目的として行った、約1/2縮小モデルの構造実験について報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体一覧を表-1に、試験体形状を図-1に示す。試験体は、RC造における外周部の柱梁接合部を模擬した形状で、7体製作した。断面形状はすべて同一で梁: $B \times D = 350 \times 450$ 、柱: $B \times D = 400 \times 400$ とした。実験因子は、コンクリート強度・定着方法・梁主筋の定着長・破壊形式とした。0-1~0-5を梁主筋降伏先行型シリーズ、0-6、7を接合部せん断破壊型シリーズとし、それぞれの基準試験体は0-1、0-6である。基準試験体である0-1、0-6は、目標コンクリート強度 42N/mm^2 、定着長 267mm ($2/3D$: D は柱せい)である。梁主筋降伏先行型シリーズでは、目標コンクリート強度を 60 (0-2)及び 21N/mm^2 (0-3)と変化させ、0-4では定着長を 300mm ($3/4D$)、0-5はU字定着とした。ここで定着長は、機械式定着の

表-1 試験体一覧

	梁主筋		目標コンクリート強度 (N/mm^2)	定着長 (mm)	破壊形式	せん断余裕度	実験因子
	鋼種	本数・径					
0-1	SD390	3-D25	42	$267=10.6d$ $=2/3 \cdot D$	梁曲げ 降伏先行	1.52	基準試験体
0-2	SD490		60			1.55	Fc大
0-3	SD345		21			1.06	Fc小
0-4	SD390		42	$300(3/4 \cdot D)$ $267(2/3 \cdot D)$		1.71	定着長大
0-5						1.52	U字定着
0-6	SD685	4-D25	42	$267(2/3 \cdot D)$	接合部 せん断破壊	0.62	基準試験体
0-7			60			0.80	Fc大

せん断余裕度 = $\frac{\text{建築学会略算式による梁主筋降伏耐力計算値}^1}{\text{靱性保証型指針式による接合部せん断耐力計算値}^2}$

《共通》柱主筋:12-D22(SD490)、柱せん断補強筋:2-D10@100(SD785)、梁せん断補強筋:2-D10@60(SD785)、側面かぶり厚さ:75mm($3d_s$)、接合

**技術研究所 *東京支社 建築支店

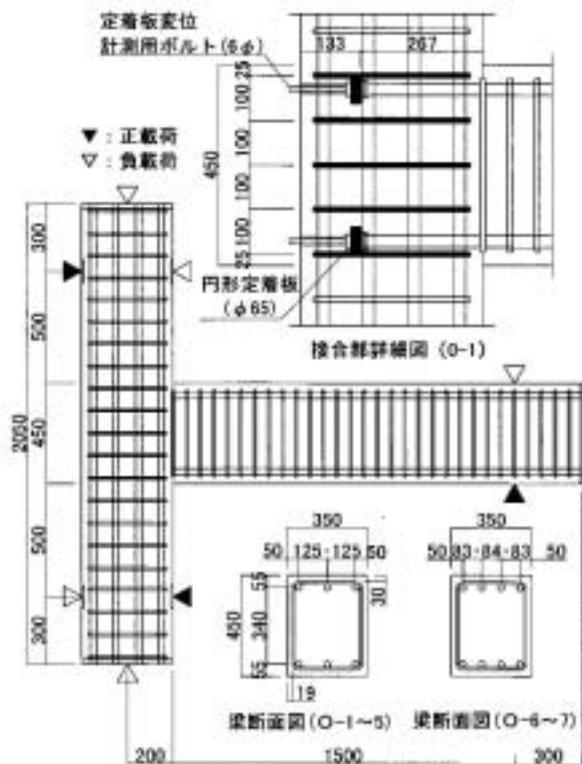


図 - 1 試験体形状

場合、梁危険断面から定着板内側までの距離、U字定着の場合、接合部内定着部の水平投影長さとする。

また、接合部せん断破壊型シリーズにおいては、0-7の目標コンクリート強度を 60N/mm^2 とした。

2.2 使用材料

試験体を使用したコンクリートの試験結果と鉄筋の試験結果を表 - 2、3に示す。また、図 - 2に梁主筋に使用した鉄筋の応力 ひずみ曲線を示す。

コンクリートの圧縮試験結果は、想定したコンクリート強度にほぼ近い値となった。梁主筋に使用した D25の鉄筋の応力 ひずみ関係は、すべての鋼種において降伏だなが明確に確認された。

2.3 実験方法

加力装置を図 - 3に示す。

加力は、反力フレームの試験体上部より試験体柱に一定軸力（使用コンクリート強度の $1/10$ ）を加力した状態で梁端部へ上下方向に正負交番の繰り返し荷重を与えた。加力方向は、梁を引き上げる方向を正加力、梁を押し下げる方向を負加力とした。加力の制御は、梁反曲点位置（加力位置）にて変位制御で行い、層間変形角（ R ） $1/400\text{rad}$ 、 $1/200\text{rad}$ を各1回、 $1/100\text{rad}$ 、 $1/67\text{rad}$ 、 $1/50\text{rad}$ を各3回、 $1/33\text{rad}$ 、 $1/25\text{rad}$ を各1回繰り返し返した後、正側に $1/20\text{rad}$ までとした。

層間変形角の測定は、上下の柱反曲点位置にあらかじめ打ち込んだボルトに計測フレーム（上側をピン支持、下側をローラー支持）を取り付け、同様に梁反曲点位置に打ち込んだボルトの計測フレームからの鉛直方向の

表 - 2 コンクリート試験結果

	目標強度 (N/mm^2)	最大強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	割裂強度 (N/mm^2)
0-1	42	44.1	32.5	2.99
0-2	60	60.9	38.2	3.54
0-3	21	24.3	26.7	1.98
0-4	42	44.1	32.5	2.99
0-5	42	44.1	32.5	2.99
0-6	42	44.4	33.3	3.29
0-7	60	62.1	38.3	3.51

表 - 3 鉄筋の試験結果

径	鋼種	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	降伏ひずみ度 (%)	使用部位
D25	SD345	377	576	182	0.207	0-3梁主筋
	SD390	445	651	186	0.239	0-1,4,5梁主筋
	SD490	586	812	188	0.312	0-2梁主筋
	SD685	718	920	194	0.370	0-6,7梁主筋
D22	SD490	553	730	187	0.295	柱主筋
	D10	SD295A	327 ^{*1}	505	191	0.171
		SD785	975 ^{*1}	1101	199	柱、梁せん断補強筋

*1: 0.2%オフセット法による

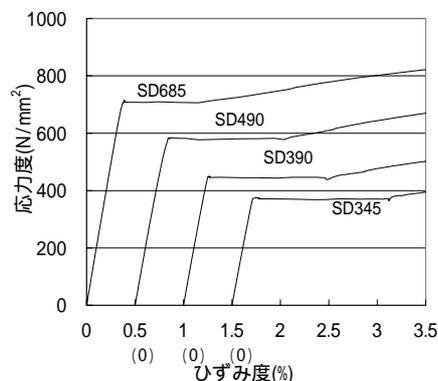


図 - 2 鉄筋の応力ひずみ曲線 (D25)

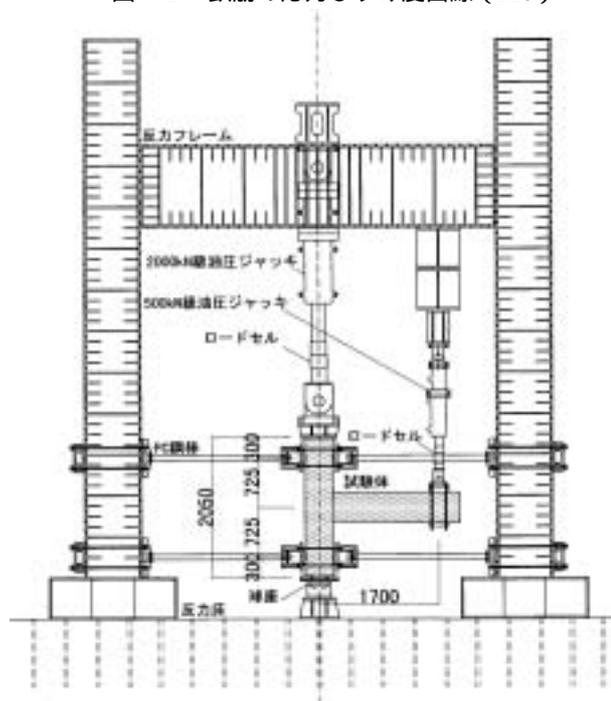


図 - 3 加力装置

変位を計測し、その値を、柱芯から梁加力点までの距離で除すことにより行った。

3. 実験結果と考察

3.1 結果概要

最大耐力の一覧を表 - 4 に、0-1、4、5、6 のひび割れ

状況を図 - 4 に示す。初期のひび割れ状況は、すべての試験体においてほぼ同様であった。R=1/400 までに梁の曲げひび割れが先行し、その後せん断ひび割れが 0-2、0-4 を除いて R=1/200 までに発生した。梁曲げ降伏先行型試験体では、R=1/100 までに梁主筋が降伏し、U 字定着である 0-5 を除き、0-1、0-2 では R=1/33、0-3 で

表 - 4 最大耐力一覧

	B (N/mm ²)	定着長 (主筋径比) (mm)	梁主筋 鋼種	実験結果		梁端荷重計算値						破壊 形式
				梁部材 降伏 降(kN)	最大荷重 実(kN)	梁曲げ耐力		接合部 せん断耐力		側面剥離 破壊耐力		
						計1(kN)	実 / 計1	計2(kN)	実 / 計2	計3(kN)	実 / 計3	
0-1	44.1	267(10.6d _b)	SD390	202	218	188	1.16	259	0.84	258	0.85	B J
0-2	60.9		SD490	238	256	247	1.03	325	0.79	284	0.90	B J
0-3	24.3		SD345	160	170	159	1.06	171	0.99	205	0.83	B J
0-4	44.1	300(12d _b)	SD390	201	229	188	1.22	292	0.78	258	0.89	B J
0-5	44.1	267(10.6d _b)	SD390	194	202	188	1.08	259	0.78	-	-	J
0-6	44.4	267(10.6d _b)	SD685	-	307	406	0.76	260	1.18	345	0.89	J
0-7	62.1		SD685	-	363	406	0.89	329	1.10	381	0.95	J

降：荷重変形曲線より算出した梁部材降伏耐力時層せん断力実験値

実：最大層せん断力実験値

計1：建築学会略算式による梁曲げ耐力を層せん断力に換算1)

計2：靱性保証型耐力式による接合部せん断耐力を梁端荷重に換算2)

計3：側面剥離破壊強度式による梁主筋の定着耐力を梁端荷重に換算3)

B：梁主筋降伏、J：接合部破壊

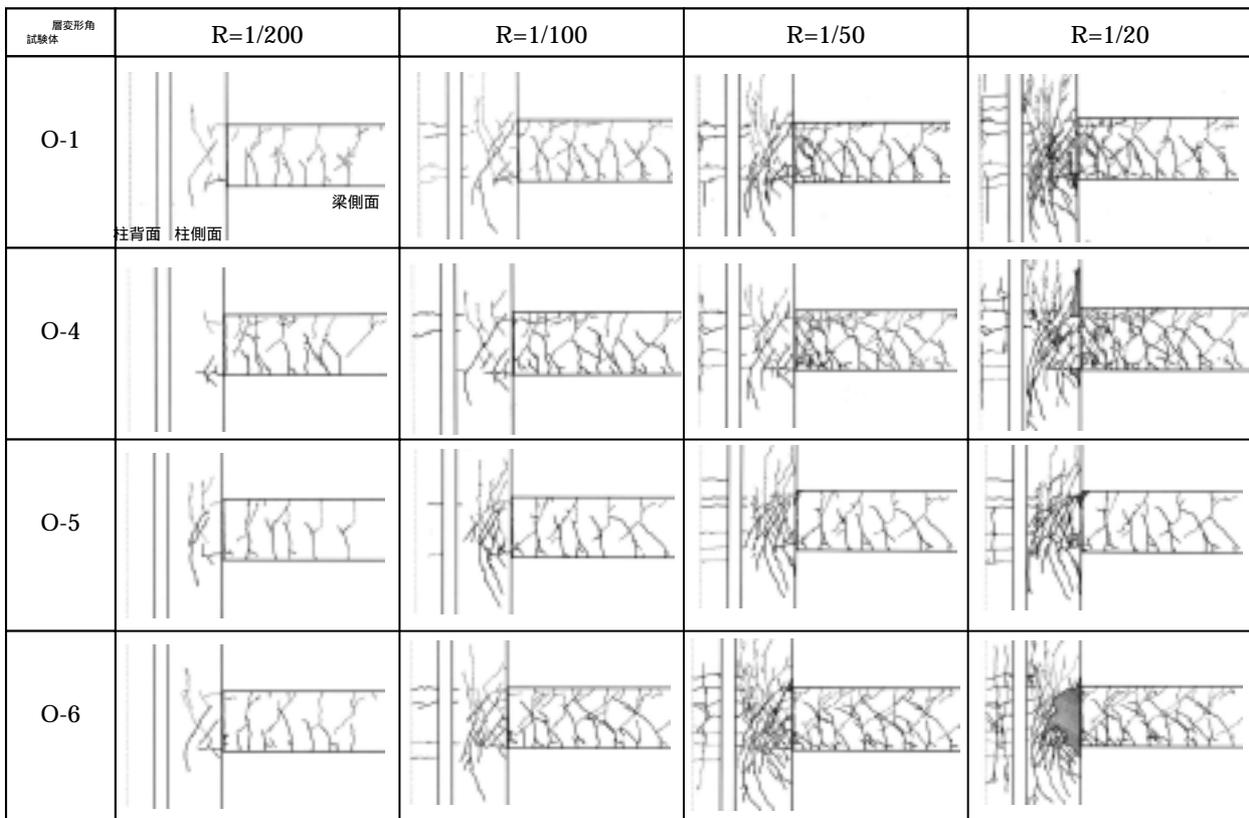


図 - 4 ひび割れ状況

はR=1/67、0-4ではR=1/25の最大荷重後に、せん断ひび割れが進展すると共に緩やかに耐力低下した。接合部せん断破壊型試験体では、R=1/50の負加力時に、せん断ひび割れが急激に進展し、耐力低下した。その後、耐力は徐々に低下した。0-5では、梁主筋が降伏したものの、接合部せん断ひび割れが、梁の取り付いた側の柱支点方向に進展し、梁がもぎ取られるような破壊形状であった。

最大耐力については、梁曲げ降伏先行型試験体では建築学会の略算式による梁曲げ耐力計算値と、接合部せん断破壊型試験体では、靱性保証型耐力式による接合部せん断耐力計算値のそれぞれ1.03~1.22倍となり、計算値と良く一致した。

3.2 荷重変形関係

層せん断力 - 層間変形角 ($Q_c - R$) 関係を図-5に示す。図中には、接合部にせん断ひび割れ発生、梁主筋降伏、最大耐力の点をそれぞれ示している。

梁曲げ降伏先行型の試験体(0-1~0-5)においては、梁曲げ耐力計算値を最大耐力が上回り、U字定着とした0-5以外の試験体の最大耐力は、R=1/33~1/25で確認され、その後の耐力低下も小さい。また、接合部のせん断破壊型を指向した試験体(0-6,0-7)では、靱性保証型指針式によるせん断耐力計算値を上回り、最大耐力に達している。最大耐力後は、梁曲げ降伏先行型の試験体と比較して耐力の低下が大きい。

コンクリート強度を変化させた0-1~0-3と比較すると、最大耐力以後、0-3は繰返しによる耐力低下が他よりも大きい。これは、コンクリート強度が低く、曲げ耐力時の接合部せん断余裕度が1.03と、せん断耐力と曲げ耐力が近いためであると考えられる。

定着長を変化させた0-1と0-4では、0-4の最大耐力が若干大きい。R=1/20での層せん断力はほとんど変わらない値を示している。

3.3 接合部せん断変形

試験体0-1、4、5、6の接合部せん断応力度 - 接合部せん断変形角 ($p - \theta$) 関係を図-7に示す。図中、接合部せん断強度 (p_u) は、靱性保証型指針式の有効断面積を用い、機械式定着工法の場合は、定着長を有効せいとして算出した。接合部せん断変形角の計測は、接合部4隅(250角)にあらかじめ打ち込んだボルトの対角の長

さ変化を計測することにより行った。

U字型定着である0-5を除いた試験体では、最大耐力の次のサイクルより急激に大きくなった。

定着長を変化させた0-1と0-4では、繰返しによるせん断変形角は0-1が若干大きく、最終時の変形角も大きな値を示している。これは、0-1では定着長が短いため有効断面積が小さく、せん断応力度が0-4と比較してせん断応力度が大きくなっているためであると考えられる。

U字定着の0-5は、比較的せん断変形は小さい。最大耐力後の耐力低下が著しく、入力せん断力が小さいこともあるが、他の試験体と異なる破壊であると考えられる。

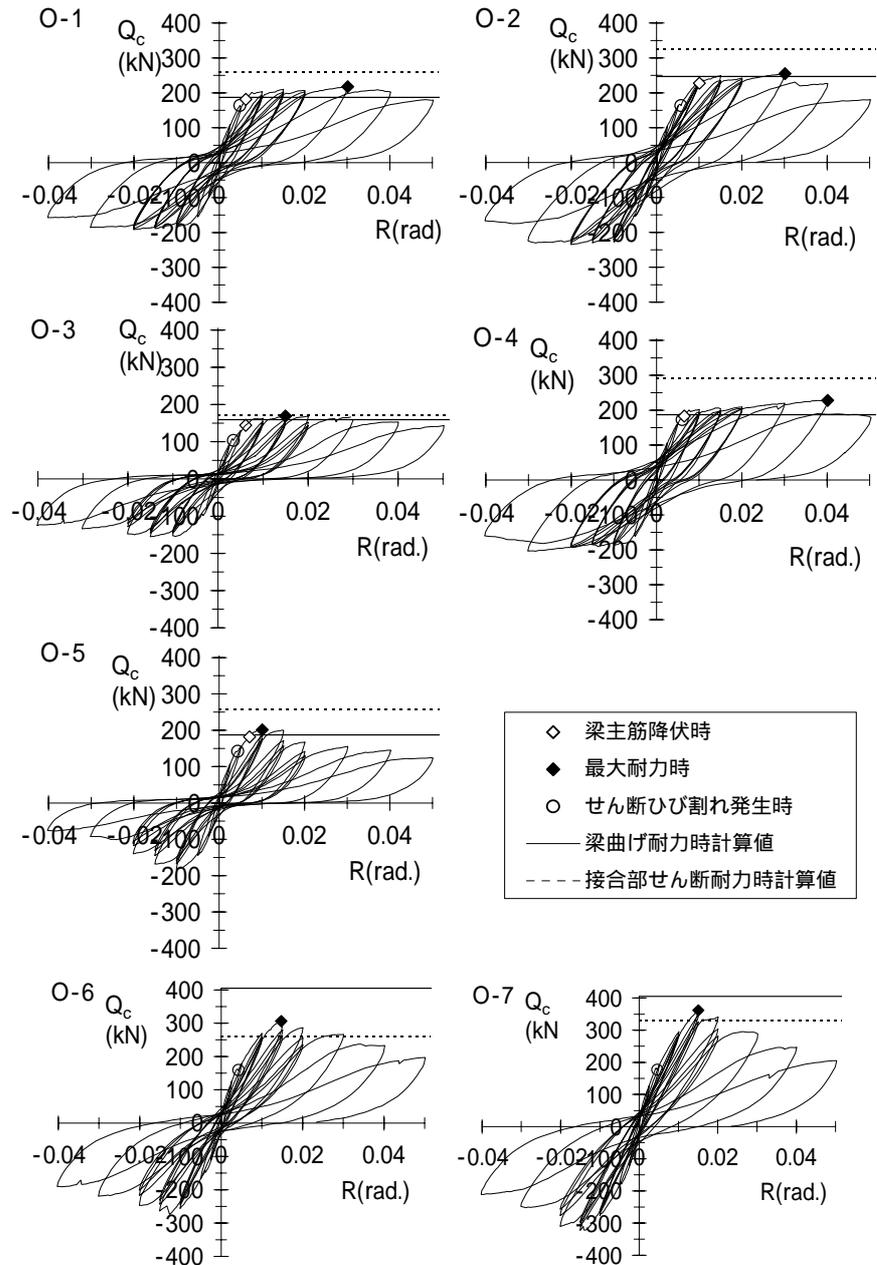


図-5 Qc - R 関係

0-6 では、接合部せん断応力が接合部せん断強度 (pu) を大きく上回り、その後、繰り返しによりせん断変形角がだいに大きくなっており、接合部がせん断破壊したと考えられる。

他の試験体については、梁曲げ降伏先行を指向した 0-2、0-3 は、0-1 に、接合部せん断破壊を指向した 0-7 は、0-6 に類似していた。

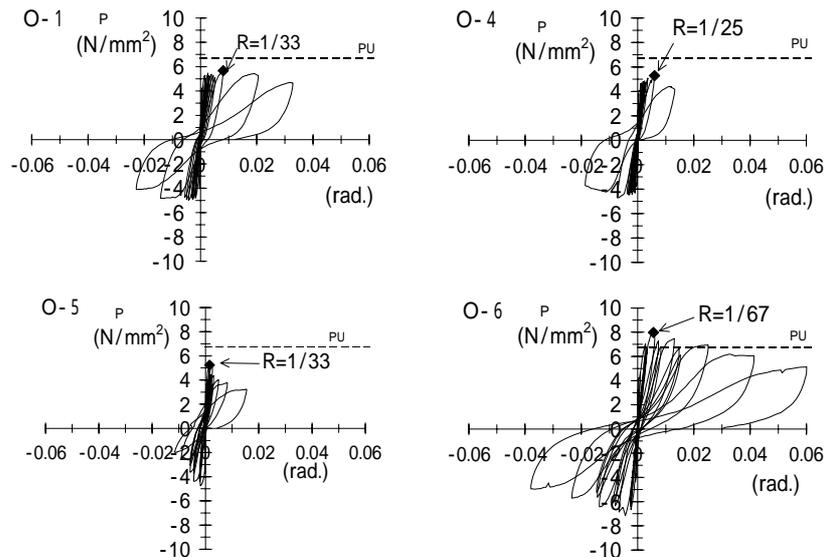
3.4 梁主筋のひずみ分布と平均付着応力度

0-1、0-4、0-5、0-7 の梁主筋のひずみ分布を図 - 7 に、各試験体の梁下端主筋の引張応力 - 平均付着応力度 (Ft - a) 関係の正加力時の包絡線を図 - 8 に示す。図 - 7 (ひずみ分布) では、0-1 において、隅角筋の正加力時 (下端筋主筋) 及び負加力時 (上端主筋) と中間筋の正加力時を示し、0-4、0-5、0-7 は、隅角筋の正加力時を示す。Ft - a 曲線では、0-6、0-7 において、R=1/50 から主筋へ入力される引張応力が小さくなくなると共に付着応力も小さくなったため R=1/50 までの表記とした。なお、平均付着応力度は、梁危険断面の主筋の 応力度から定着板近傍の主筋応力度を差し引いた値を、主筋表面積 (周長 × 計測区間長さ) で除した値とした。ここで、主筋応力度は、鉄筋の引張試験から求めた弾性係数より算出し、降伏の判定は、引張試験より算出した降伏ひずみ度により行った。

ひずみ分布においては、加力方向の違い、及び梁主筋位置の違いによる差異は確認されなかった。0-1、0-4 は、ほぼ同等の性状を示した。接合部せん断破壊型を指向した、0-7 では、梁主筋の降伏は確認されなかったが、梁危険断面位置の主筋においては、降伏ひずみ度に近いひずみ度となった。

Ft - a 関係において、梁曲げ降伏先行型を指向した 0-1 ~ 0-4 は、梁主筋降伏まで顕著な付着応力の低下は見られなかった。また、正加力と負加力、および、隅角筋と中間筋の差異もほとんどなく、定着板近傍での降伏も確認されなかった。

0-6、0-7 においても最大耐力 (R=1/67) 以後、R=1/50 までは付着応力



PU : 靱性保証型設計指針による接合部せん断強

図 - 6 p - 関係

度の低下は見られず、接合部がせん断破壊した後も、

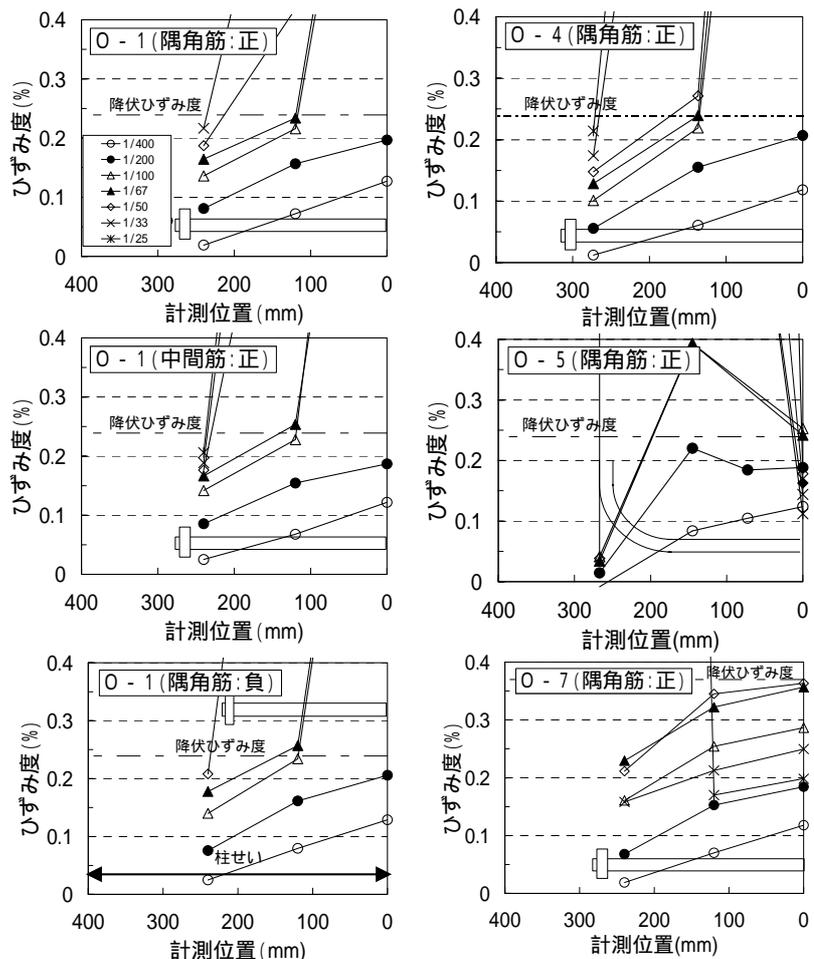


図 - 7 梁主筋ひずみ分布

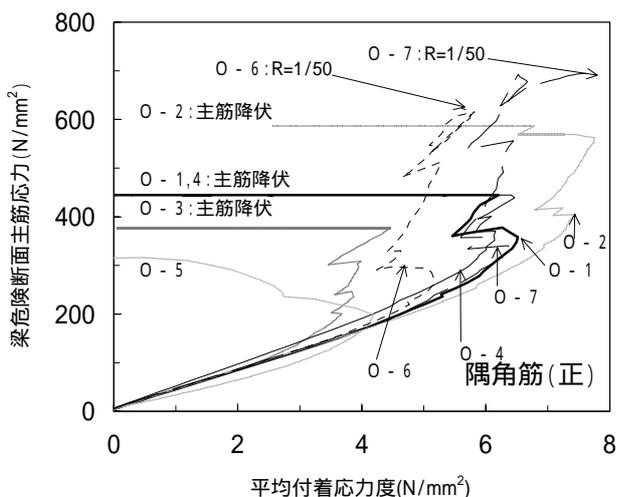


図 - 8 Ft - a 関係

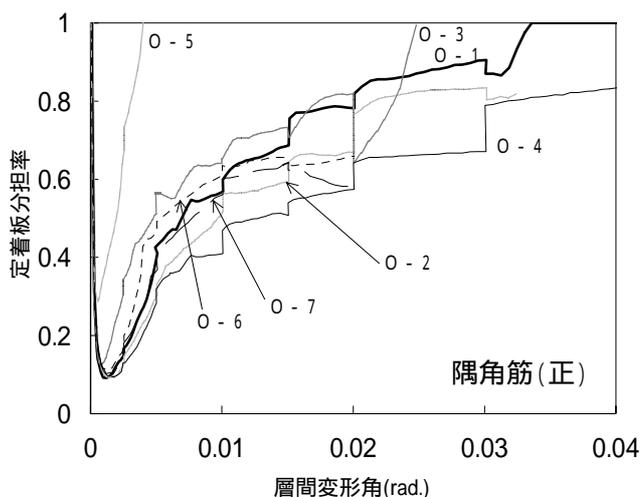


図 - 9 定着板の分担率 - 層間変形角関係

定着耐力を保持していたと考えられる。

4. 定着板の分担率

各試験体の梁主筋下端筋の定着板の分担率と層間変形角の関係の包絡線を図 - 9 に示す。定着板の分担率は、定着板近傍の主筋応力を危険断面の主筋応力で除して算出した。

U 字定着である O-5 を除いたすべての試験体においてほぼ同様の曲線となった。層間変形角の増加と共に定着板の分担率も増加しており、層間変形角 $R=1/100$ では、定着板が約 5 ~ 7 割の主筋応力を負担し、最終時には 8 割以上を負担している。一方、O-5 では、比較的早い段階で折り曲げ定着部の負担率が大きくなる結果となり、層間変形角 $R=1/200$ 付近で折り曲げ定着部がすべての主筋応力を負担する結果となっている。

5. まとめ

梁の主筋に機械式定着を用いた外周部柱梁接合部の構造実験を行い、その破壊形状を確認した。

以下に、本実験で得られた知見を示す。

- (1) 梁主筋端部を機械式定着工法とした試験体は、計算による想定破壊形状と良く一致した。
- (2) 梁曲げ降伏先行型の試験体の最大耐力の実験値と建築学会の略算式による計算値の比は、1.03 ~ 1.22 であり良く対応した。
- (3) せん断破壊型の試験体の最大耐力は、靱性保証型設計指針の接合部せん断耐力の計算値を 1 割以上上回った。
- (4) 梁主筋に U 字定着を用いた試験体は、建築学会の梁曲げ耐力を上回ったものの脆性的な破壊をした。
- (5) 機械式定着工法を用いた試験体においては、定着耐力の低下による破壊は確認されなかった。

本実験は、五洋建設(株)、(株)奥村組、合同製鐵(株)、

鉄建建設(株)で組織する、4 社共同研究会「機械式定着工法の開発」ワーキンググループにより行ったものである。

謝 辞

本実験を行うにあたり、御指導を頂いた東京理科大学、松崎教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 日本建築学会：鉄筋コンクリートの構造計算規準・同解説、p145、1999
- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の靱性保証型設計指針(案)・同解説、p125、1997
 - 2) 村上雅英他：引き抜き試験による梁主筋の機械式定着耐力の評価、コンクリート工学論文集、第 8 巻第 2 号、1997