

## 論文 梁主筋に機械式定着を用いた外柱-幅広梁接合部の構造性能

藤原 篤茂<sup>\*1</sup>・足立 智弘<sup>\*2</sup>・松井 智哉<sup>\*3</sup>・倉本 洋<sup>\*4</sup>

要旨：本研究は、梁幅が柱幅よりも大きい部材で構成される骨組の外柱梁接合部において梁主筋を機械式定着とした場合に、柱幅外の領域での梁主筋の定着性能を実験的に検討することを目的としたものである。実験では外部柱梁接合部5体について、主筋の定着方法、定着部補強の有無、直交梁幅および梁幅の影響を検討した。その結果、直交梁コア外に配筋された上端主筋は直交梁コア内に配筋された下端主筋に比して応力伝達能力が低いことを明らかにした。

キーワード：機械式定着、外部柱梁接合部、幅広梁、定着性能

## 1. はじめに

近年、施工の合理化を目的として梁主筋端部の定着形式を機械式定着とした工法の研究開発が数多く行われてきており、当該工法を用いた梁は在来型の折曲げ定着とした場合と比較して同等以上の耐力と変形性能を有することが報告されている<sup>1)</sup>。また、近年の高層建築物における基礎構造の設計では、工期短縮および残土処分低減等を意図して、建物根入れ深さを低く抑えるために基礎梁せいを小さくし、その反面、所定の曲げ耐力を確保するために梁幅を柱幅よりも広くする事例が増えてきている。しかしながら、上記のような、梁幅が柱幅を上回る、いわゆる幅広梁を有する柱梁接合部を対象とした研究はほとんど無く、その構造性能は明らかにさ

表-1 実験変数

	柱	梁	直交梁	定着部補強筋
P1	B×D =400×400 主筋 12-D25 横補強筋 4-D10@100	B×D=800×400 主筋 14-D22 横補強筋 4-D10@80	B×D=400×400 主筋 8-D22 横補強筋 2-D10@100	無
P2			B×D=250×400 主筋 4-D22 横補強筋 2-D10@100	有
P3		B×D=400×400 主筋 8-D25 横補強筋 4-D10@60	B×D=400×400 主筋 8-D25 横補強筋 2-D10@100	有
U1				無
P4				有

れていない。

そこで本研究では、梁主筋を機械式定着とした外柱-幅広梁接合部をモデルとした静的載荷実験を実施し、直交梁による定着部の拘束効果、柱幅外における補強筋使用による定着性能の改善効果、直交梁幅、梁幅および梁主筋定着性能に及ぼす影響等を検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体

実験に用いた試験体は、図-1に示すような外

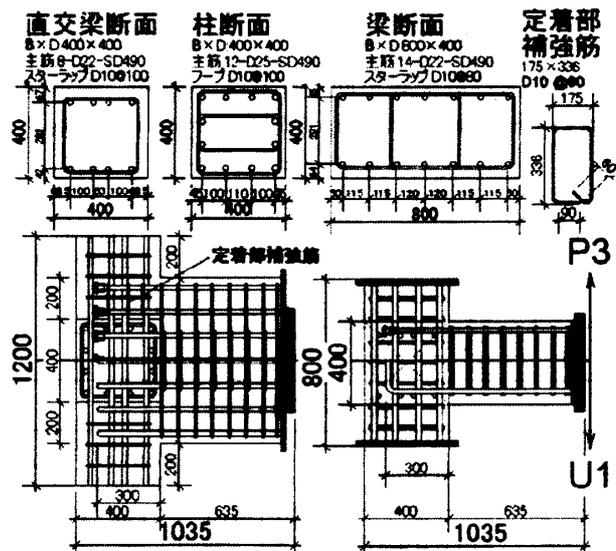


図-1 試験体 P3, U1 配筋状況

\*1 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

\*2 東京鐵鋼株式会社 開発企画部 修士 (工学) (正会員)

\*3 豊橋技術科学大学 工学部建設工学系助教 博士 (工学) (正会員)

\*4 豊橋技術科学大学 工学部建設工学系准教授 博士 (工学) (正会員)

柱梁接合部であり、梁主筋の定着方法を在来型の U 字定着とした試験体 U1 と機械式定着とした試験体 P1～P4 の計 5 体である。試験体 P3 および U1 の配筋状況を一例として図-1 に示す。

実験変数には表-1 に示すように、定着形式（試験体 U1 と P3）、定着部補強筋の有無（試験体 P1 と P3）、直交梁幅（試験体 P2 と P3）、および梁幅（試験体 P3 と P4）を選択した。梁断面（B×D）は試験体 P4 を除く全試験体において 800×400mm とし、P4 試験体では梁幅を 1,000mm とした。直交梁断面は試験体 P2 を除き 400×400mm とし、試験体 P2 では 250×400mm とした。定着板内面から柱フェイスまでの距離で定義される定着長  $l_d$  はプレートナット工法設計施工指針<sup>4)</sup>を参考にして決定し、300mm (0.75D<sub>c</sub>, D<sub>c</sub>: 梁せい) で、全ての試験体で共通とした。U 字型定着は U 曲げ背面までの距離を 300mm としている。なお、柱は各試験体共通で 400mm 角とした。表-2 に各試験体の部材耐力計算値を示す。なお、各部材耐力は日本建築学会の RC 基準<sup>2)</sup> および靱性保証型耐震設計指針<sup>3)</sup>により求めた。

2.2 使用材料

表-3 に本実験で使用したコンクリートおよび鉄筋の材料特性をそれぞれ示す。コンクリート設計基準強度  $F_c$  は 24N/mm<sup>2</sup> とし、柱主筋、梁主筋および直交梁主筋の材質は SD490、横補強筋および定着部補強筋の材質は SD 785 級である。

表-2 計算耐力（柱せん断力換算値）(kN)

載荷	試験体	梁曲げ耐力	柱曲げ耐力	接合部せん断耐力
正	P1~3,U1	423.6	434.0	621.6
	P4	544.6		
負	P1~3,U1	400.9	434.0	621.6
	P4	515.5		

表-3 材料特性

	部材	鋼種	サイズ	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )
柱	主筋	SD490	D25	539	701
	せん断補強筋	SD 785 級	D10	893	1087
梁	主筋	SD490	D22	523	677
	せん断補強筋	SD 785 級	D10	893	1087
直交梁	主筋	SD490	D22	523	677
	せん断補強筋	SD 785 級	D10	893	1087
	設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )			実験時圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
コンクリート	24			29.3	

梁主筋の機械式定着には図-2 に示すようなナットと円形板が一体となった部品を使用した。また、定着ナットは主筋との間に硬化剤を注入することにより主筋に固定される。

2.3 載荷方法

実験は図-3 に示す載荷装置を用いて行った。すべての試験体に対して、470kN（軸力比 (N/bDσ<sub>B</sub>): 0.1) の一定軸力下での静的漸増繰返し水平力載荷を行った。水平力載荷は変形制御とし、柱上下端に取付けたピン支承間の相対水平変位 δ と上下ピン支承間距離 h (=1,300mm) で与えられる相対部材角 R (=δ/h) で、0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.03 および 0.04rad. を正負 2 サイクルずつ繰り返した後、0.05rad. まで載荷を行うものとした。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

各試験体の R=0.015rad. における梁主筋定着板付近（直交梁上面）の直交梁上面のかぶりコンクリートの破壊状況を写真-1 に、最終破壊状況を写真-2 に、全試験体で共通のひび割れパターンを図-4 にそれぞれ示す。

試験体 P3 では R=0.005~0.01rad. において梁に曲げひび割れ（図-4 中の①）の発生が確認された。西側面では直交梁付け根からのせん断ひび割れ（同③）が発生した。また、梁主筋の付着割

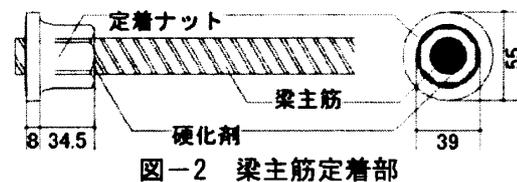


図-2 梁主筋定着部

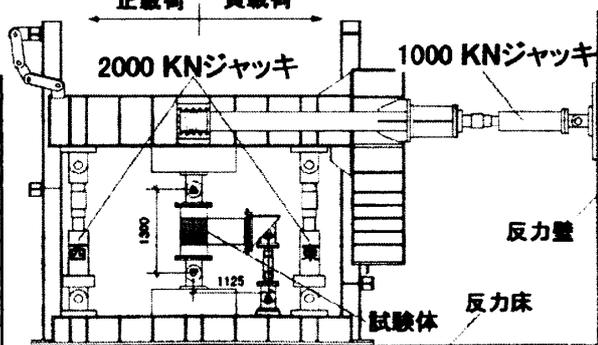


図-3 載荷装置

裂ひび割れ（同②）も確認された。最大耐力を發揮した  $R=0.015\text{rad}$ .以降においては、柱幅外の領域の梁上端主筋定着部でのひび割れが顕著となり、 $R=0.04\text{rad}$ .では、直交梁上面のかぶりコンクリートが破壊（写真-2 中の○印）した。なお、梁下端においては、このような破壊は認められなかった。

柱幅外の領域で梁主筋を拘束する定着部補強筋のない試験体 P1 では、 $R=0.005\sim 0.01\text{rad}$ .で試験体 P3 と同様な傾向を示した。また、前述した柱幅外の梁上端主筋の定着部でのひび割れの発生状況は、主筋拘束に寄与する定着部補強筋がないため、荷重サイクルの増加に伴い試験体 P3 の場合に比べて、より顕著であった。なお、試験体 P3 と同様に梁下端においては、このような破壊は認められなかった。

直交梁幅の小さい試験体 P2 においても、試験体 P3 と同様に荷重サイクルの初期段階では①～③のひび割れの発生が確認された。また、直交梁上面のかぶりコンクリートの破壊も同様に発

生し、試験体 P3 と比較して梁付け根でのひび割れ（写真-2 中の□印）の進展による破壊がより顕著となる傾向が認められた。

在来型定着の試験体 U1 では、 $R=0.001\text{rad}$ .で梁の曲げひび割れおよび梁付け根ひび割れの発生が確認された。その後の荷重サイクルでは他の試験体に発生したような直交梁上面のかぶりコンクリートの破壊は認められなかった。 $R=0.03\text{rad}$ .で梁および西側面（図-4 中の③）でせん断ひび割れの発生が確認された。なお、同サイクルで試験体とピン支承とを繋ぐための鉄板と梁主筋端部の溶接が破断したことにより実験を終了した。

梁幅の大きい試験体 P4 では、試験体 P3 と同様な破壊性状を示した。梁幅の大きさによる破壊性状の違いは顕著には認められなかった。

### 3.2 荷重-変形特性

実験結果一覧を表-4 に、各試験体の荷重-変形曲線を図-5 に示す。なお、図中の●および■印にはそれぞれ上端主筋および下端主筋が最初に降伏した時点を表しており、一点鎖線は梁の曲げ耐力の計算値（柱せん断力換算値）を示す。

試験体 P3 では、正載荷側  $R=0.01\text{rad}$ .の荷重サ

表-4 実験結果一覧

試験体	部材降伏時		最大耐力時		
	Ry(rad.)	Py(kN)	Ry(rad.)	Py(kN)	
P1	正	0.012	336.0	0.010	343.0
	負	-0.012	-309.5	-0.040	-392.0
P2	正	0.010	324.0	0.014	351.0
	負	-0.015	-330.5	-0.030	-369.5
P3	正	0.012	345.0	0.015	382.0
	負	-0.015	-337.5	-0.030	-397.5
U1	正	0.004	388.0	0.025	411.5
	負	-0.012	-315.5	-0.030	-391.5
P4	正	0.013	382.5	0.015	406.5
	負	-0.013	-346.0	-0.030	-414.0

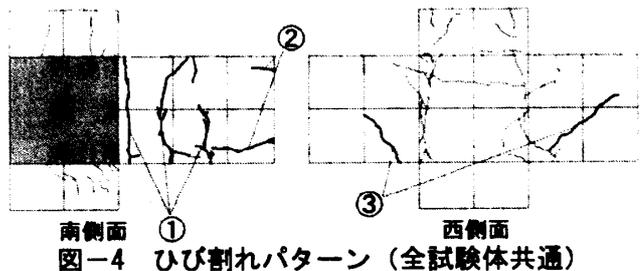


図-4 ひび割れパターン（全試験体共通）



写真-1 直交梁上面のかぶりコンクリートの破壊状況 ( $R=0.015\text{rad}$ .)



写真-2 直交梁上面のかぶりコンクリートの最終破壊状況

イクルまでは主筋は降伏しておらず,  $R=0.015\text{rad}$  で最大耐力  $382.0\text{kN}$  (計算耐力の約 90%) に達した後, 耐力低下がみられた。負荷側では,  $R=-0.03\text{rad}$  で  $397.5\text{kN}$  を記録したが, その後, 正荷側側のような耐力低下は認められず, 主筋の定着位置に起因すると考える。

試験体 P1 では, 正荷側側  $R=0.01\text{rad}$  で最大耐力  $343.0\text{kN}$  (計算耐力の約 80%) を記録し,  $R=0.015\text{rad}$  の 2 サイクル目で大幅な耐力の低下が生じた。その後のサイクルでは耐力低下が鈍化した。なお, 負荷側側では試験体 P3 と同様の挙動を示した。

試験体 P2 では, 正荷側側  $R=0.015\text{rad}$  で, 最大耐力  $351\text{kN}$  を記録した。この値は直交梁幅が  $400\text{mm}$  の試験体 P3 の約 92%であった。耐力低下の割合も試験体 P1 と同様な傾向が認められた。負荷側側では,  $R=-0.003\text{rad}$  で最大耐力  $369.5\text{kN}$  を記録した。その後のサイクルでは, 試験体 P3 と比して耐力低下の割合が高くなる傾向が認められた。結果的には,  $R=-0.04\text{rad}$  ピーク時には  $334.5\text{kN}$  まで耐力が低下している。

試験体 U1 では, 正荷側側  $R=0.025\text{rad}$  で最大耐力  $411.5\text{kN}$  を記録した。なお, 前述したように, 梁主筋中央端の溶接部の破断後に耐力低下を生じたことから, 最大耐力は若干増加する可能性があると言える。また, 負荷側側では, 最大耐力  $R=-0.030\text{rad}$  で  $391.5\text{kN}$  を記録し, 同じ部材断面を持つ試験体 P3 と同様な結果が得られた。

試験体 P4 では, 正荷側側  $R=0.015\text{rad}$  で最大耐力  $406.5\text{kN}$  (計算耐力の約 80%) を記録した。その後は, 直交梁かぶりコンクリートの剥離破壊が卓越したため, 耐力も低下した。

以上を総じて, 機械式定着を用いた試験体では  $R=0.01\text{rad}$  まではほぼ同様の挙動を示したが, 最大耐力後は P1, P2, P3, P4, の順で脆性的な履歴性状を示した。

### 3.3 梁主筋の応力推移状況

図-6 に梁主筋に貼付した歪ゲージの測定値から求めた梁上端主筋の応力分布状況を示す。なお, 応力値は正荷側側ピーク時におけるもので

あり, 直交梁上面のかぶりコンクリート破壊の影響が少ないと考えられる  $R=0.015\text{rad}$  までを検討対象とした。歪測定位置は梁危険断面位置から定着部までの区間であり, 定着板より  $65, 180$  および  $300\text{mm}$  の位置とした。

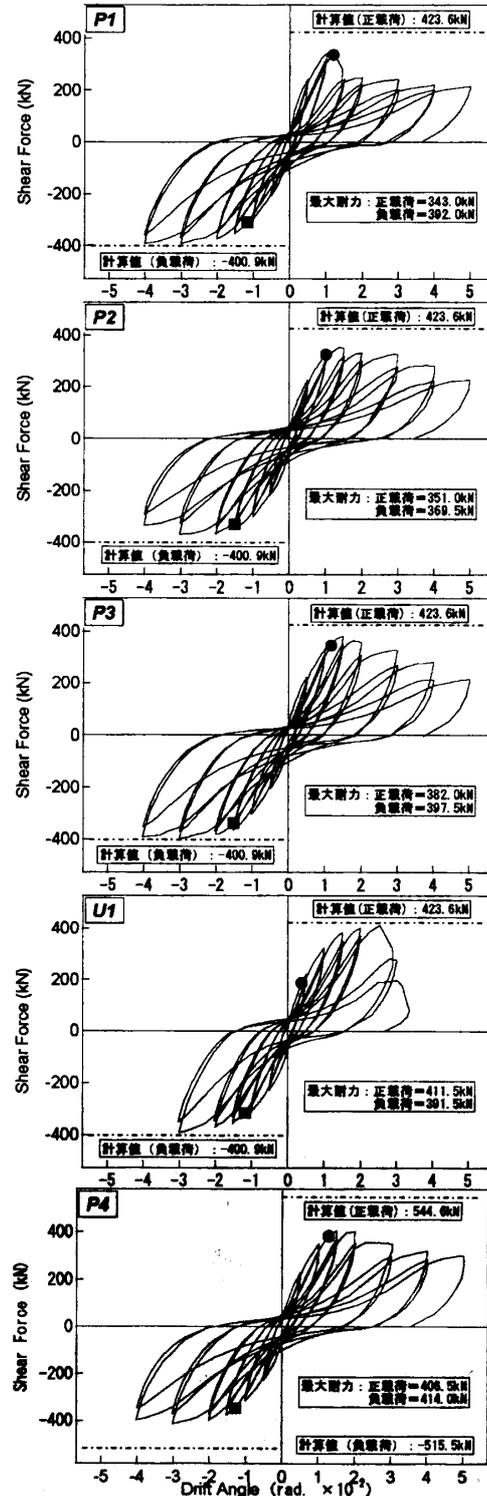


図-5 荷重-変形曲線

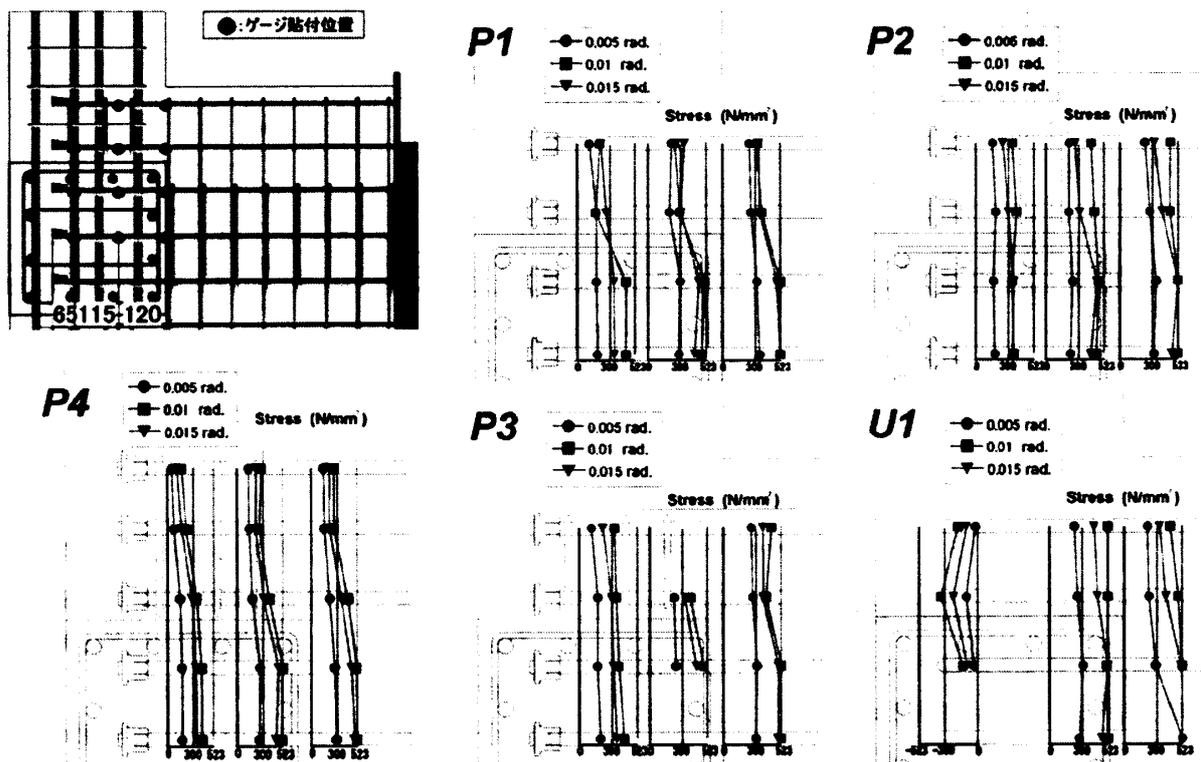


図-6 梁主筋応力分布図

試験体 P3 は、柱内に定着される主筋は梁危険断面位置で  $R=0.012\text{rad}$ . 時に降伏点 ( $\sigma_y=523\text{ N/mm}^2$ ) に達した。また、降伏点時の柱せん断力は  $345.0\text{ kN}$  であり、最大耐力の約 90% であった。なお、直交梁内に定着される主筋は  $R=0.01\text{rad}$ . までの範囲では柱内に定着される主筋とほぼ同等の応力負担性能を有する傾向が認められた。

試験体 P1 は、柱梁接合部内に定着される主筋は  $R=0.01\text{rad}$ . で降伏点に達した。また、直交梁内に定着される主筋は  $R=0.015\text{rad}$ . で最大応力 (約  $360\text{ N/mm}^2$ ) を記録したが、降伏点の 65% 程度であり、柱幅内外で明確な応力負担レベルの差異が認められる。

試験体 P2 は柱内に定着される主筋は梁危険断面位置で、試験体 P3 同様に  $R=0.012\text{rad}$ . で降伏点に達した。ただし、降伏時の柱せん断力は  $324.0\text{ kN}$  で試験体 P3 よりも若干低い値であったが、梁主筋の応力分布からは直交梁幅の影響は顕著には認められなかった。

試験体 U1 は、柱内および直交梁内に定着される双方の主筋の折れ曲がり位置において、圧縮応力を受けている。また、他の試験体とは異な

り、直交梁内に定着される主筋であっても、柱内定着主筋と同程度の応力を負担している。

試験体 P4 では、 $R=0.013\text{rad}$ . で柱内のすべての梁主筋が降伏点に達した。降伏時の柱せん断力は  $382.5\text{ kN}$  であり、試験体 P3 に比して高い値を示した。また、直交梁内に定着される主筋において柱直近の主筋は試験体 P3 のものと同程度の応力負担を示しているが、外端の主筋ほど応力負担性能が劣る傾向が認められ、最外端の主筋は、 $R=0.015\text{rad}$ . 時でも負担応力が  $262\text{ N/mm}^2$  であった。

### 3.4 梁主筋の引抜性状

機械式定着を用いた試験体 P1~P4 について梁主筋の引抜量を測定した。図-7 に梁主筋の引抜性状を示す。引抜の測定方法は図-8 (左) に示すように、予め梁主筋にナットを溶接し、変位計を用いて測定した。また、測定位置は図-8 (右) のように、試験体 P4 を除く試験体では上端主筋が 1~4 および下端主筋が 5~7 とし、試験体 P4 では上端主筋が 1~5 および下端主筋が 6~9 とした。なお、上端筋は正載荷ピーク時、下端筋は負載荷ピーク時を検討対象とした。

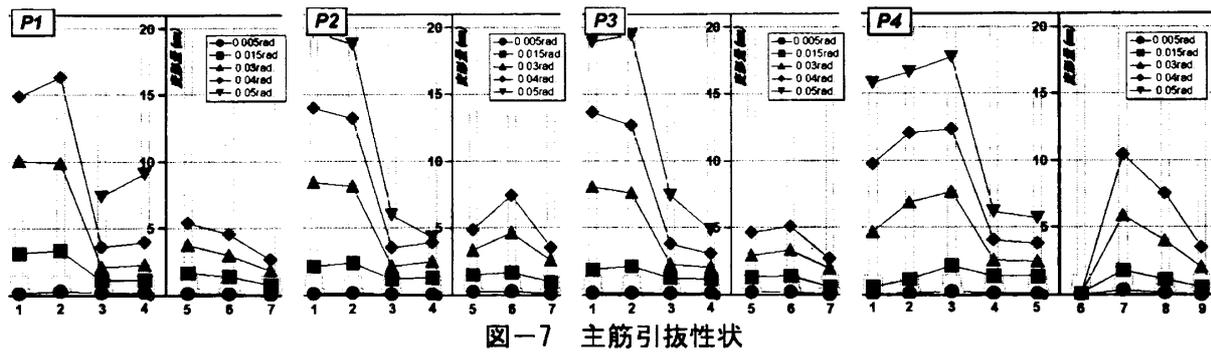


図-7 主筋引抜性状

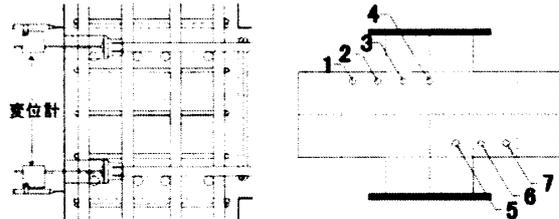


図-8 梁主筋引抜測定方法および測定位置

上端主筋では全試験体に共通して  $R=0.03\text{rad}$  以降、著しく主筋が引抜かれていることが認められる。特に、定着補強筋の無い試験体 P1 においては、直交梁内に定着される主筋 1 および 2 は、 $R=0.05\text{ rad}$  で変位計の許容ストローク (20mm) を超えている。また、試験体 P3 と P2 では同様な傾向を示し、前述した梁主筋の応力推移状況と同じく、直交梁幅の影響は顕著には認められなかった。なお、試験体 P4 では他の試験体と違い、柱幅外では柱直近の主筋が最も引抜かれる傾向が認められ、最外端の主筋は試験体 P3 の最外端主筋の 80% 程度の引抜量であった。最外端の主筋は 3.3 節で述べたように応力負担割合が低いため、柱幅外柱直近の主筋定着部に破壊が集中して生じたものと考えられる。

下端主筋の引抜量は試験体 P1~P3 で、最大耐力後の荷重サイクルにおいても概ね 5mm の範囲以内であった。柱幅外の主筋 7 では、柱幅外の上端筋 1 と異なり、引抜量は僅かであった。下端筋においては、実験変数の顕著な差異は認められなかった。

#### 4. まとめ

幅広梁を有する外部柱梁接合部試験体 5 体を用いて静的加力実験を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 定着位置が直交梁コア外に配筋された上端主筋はコア内にある下端主筋に比して接合部の最大耐力以後における耐力低下が急激である。
- 2) 直交梁コア外に配筋された上端主筋においても直交梁と交差する範囲に定着部補強筋を施すことによって、直交梁の破壊が軽減し、接合部の耐力低下が緩慢になる。
- 3) 接合部の構造性能に及ぼす直交梁幅の影響は顕著には認められない。
- 4) 梁幅をより広くした場合、最外端の梁主筋のせん断力負担割合は他の主筋と比して極めて小さくなる。

#### 謝辞

本研究は (財) 日本建築防災協会に設置された機械式定着工法研究会 (岡田恒男委員長) の研究プロジェクトの一環として実施されたものである。ここに記して関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 例えば、新藤健太、倉本洋、前田匡樹：はり主筋にプレート付ナット定着筋を用いた隅柱-はり接合部の三軸変動加力実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.22, No.3, pp.709-714, 2000.6
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造計算基準・同解説、1991年
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型設計指針・同解説、1987年
- 4) 東京鐵鋼株式会社：プレートナット工法設計施工指針、(財) 日本建築センター一般評価 BCJ-C2280, 1999年