

# 論文 柱主筋を圧接コブ定着とした RC 架構の力学性状に関する研究

宮内靖昌<sup>\*1</sup>・佐々木照夫<sup>\*2</sup>・鴻野良太<sup>\*2</sup>・村井和雄<sup>\*3</sup>

**要旨：**鉄筋の先端に圧接コブを設ける圧接コブ定着法を柱主筋に適用した RC 造架構の力学性状を T 形および L 形骨組実験を行い検討した。実験の結果、柱主筋を圧接コブ定着とした架構は、従来のフック定着と同等の力学性能が得られた。また、定着部柱主筋の付着応力度および圧接コブの支圧応力度の推移状況が明らかとなり、圧接コブ定着の定着機構が明らかになった。

**キーワード：**圧接コブ定着、柱主筋定着、付着応力度、支圧応力度、T 形骨組、L 形骨組

## 1. はじめに

RC 造建物の最上階における柱主筋の柱梁接合部への定着は、通常、図-1 (a) に示すように 180° フック定着としているが、2 方向の大梁主筋と錯綜し、配筋精度の確保、コンクリートの密実な打設が困難である。本研究では、図-1 (b) に示すように、短い定着長さで十分な定着耐力を確保できる圧接コブ定着法を、柱主筋の定着に採用した。

鉄筋先端に設けた圧接コブを図-2 に示す。圧接コブは圧接コブ形成装置を用いて製作し、直径は  $\sqrt{5d}$  ( $d$ : 鉄筋呼び径) とした。定着のメカニズムは、図-2 に示すように、鉄筋の付着力と圧接コブの支圧力の和である。本論は、柱主筋を圧接コブ定着とした T 形骨組および L 形骨組の力学性状について検討した結果を報告するものである。

## 2. T 形骨組実験

### 2.1 実験計画

表-1 に試験体の一覧を示す。試験体は、柱主

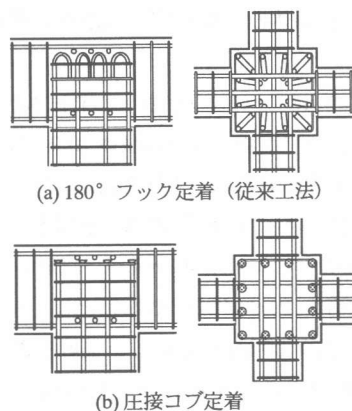


図-1 柱主筋の定着法

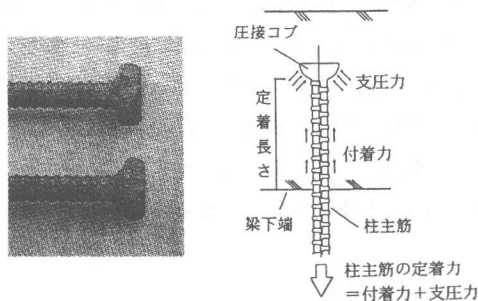


図-2 圧接コブおよび定着機構

表-1 試験体一覧 (T 形実験)

| 試験体 | 定着方法     | 柱           |                  |                     |            | 柱主筋定着部           |                     |           |    |
|-----|----------|-------------|------------------|---------------------|------------|------------------|---------------------|-----------|----|
|     |          | 断面<br>B × D | 引張主筋<br>(Pt)     | 帯筋<br>(Pw)          | 柱主筋<br>かぶり | 定着<br>長さ         | 接合部内<br>帯筋 (Pwj)    | コブ<br>補強筋 | 付着 |
| TCU | 180° フック | 400 × 400   | 3-D16<br>(0.37%) | 2-D6 @80<br>(0.20%) | 30 mm      | 320 mm<br>(20 d) | 2-D6 @80<br>(0.20%) | なし        | あり |
| TCK | 圧接コブ     |             |                  |                     |            |                  |                     | 2-D10     |    |

\*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 技術開発部 (正会員)

\*2 (株) 竹中工務店 大阪本店 設計部

\*3 (株) 竹中工務店 大阪本店 技術部

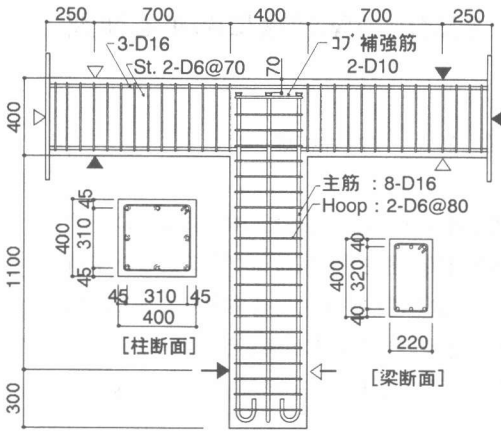


図-3 試験体の形状・配筋（試験体 TCK）

筋を従来の 180° フック定着とした試験体 TCU、および圧接コブ定着とした試験体 TCK の 2 体である。主筋の定着法以外の構造諸元は同一である。

図-3 に試験体 TCK の形状・配筋を示す。柱断面は  $B \times D = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 、柱主筋は 3-D16（引張鉄筋比  $P_t = a_t / BD = 0.37\%$ ）とし、柱主筋のかぶり厚さは 30 mm である。定着長さは 320 mm (20d) とした。柱および柱梁接合部内の帯筋は 2-D6@80 ( $P_w = 0.2\%$ ) とし、圧接コブの直下にはコブ補強筋を配筋した。直交梁は設けていない。表-2, 3 にコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を示す。加力は柱の部材角  $R$  を制御変位として、正負繰り返し加力とした。ここで、柱の部材角は  $R = \delta / h_o$  ( $\delta$ : 柱加力点での水平変位,  $h_o$ : 柱の加力点から柱梁接合部中心までの距離) とした。

## 2.2 実験結果

図-4 に荷重-変位曲線を示す。図中には柱の曲げ降伏耐力の計算値  $cQ_{cu}$  を示す。圧接コブ定着の試験体 TCK と 180° フック定着の試験体 TCU は、同様なひび割れ発生状況および荷重-変位関係を示した。部材角  $R = 6 \sim 7 / 1000 \text{ rad.}$  で柱主筋が曲げ引張降伏し、最大耐力は同じであった。最大耐力後、柱梁接合部のせん断ひび割れおよび接合部内の梁上端主筋に沿った付着割裂ひび割れが進展し、柱主筋の定着劣化も生じ耐力低下した。

図-5 に試験体 TCK の柱主筋 (C4) のひずみ

表-2 コンクリートの材料試験結果（T形実験）

| 養生方法  | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 現場封かん | 19.2                      | 22400                      | 2.25                      |

表-3 鉄筋の材料試験結果（T形実験）

|       | 降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> ) | 引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| D16 * | 347                        | 182000                     | 492                        |
| D10   | 338                        | 188000                     | 465                        |
| D6    | 344                        | 189000                     | 510                        |

\*: 柱・梁主筋

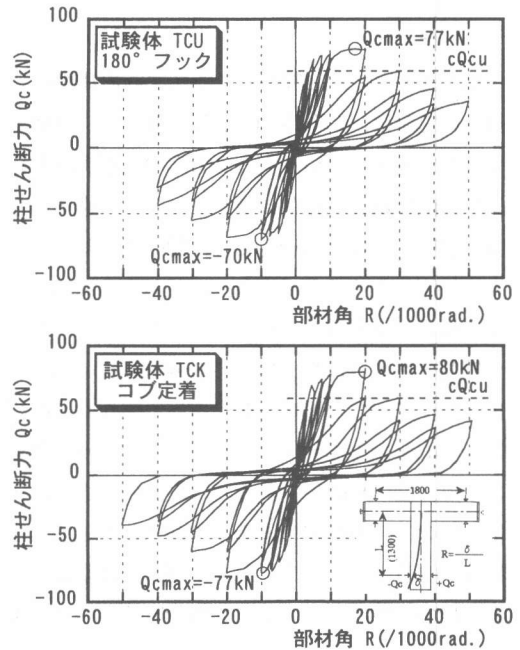


図-4 荷重-変位曲線（T形実験）

状況を示す。梁下端の定着始端 B 点における柱主筋のひずみは、最大耐力時には降伏ひずみ  $\epsilon_y$  に達し、その後も増大した。このことより、柱主筋を圧接コブ定着としても降伏引張応力度までの定着強度を確保できることが明らかとなった。

## 2.3 付着応力度および圧接コブの支圧応力度

図-6 に試験体 TCK の柱主筋定着部の付着による引張応力度の分担の推移状況を示す。縦軸は柱主筋 B 点の引張応力度に対する、A 点、B 点の引張応力度の差（鉄筋の付着により負担される引

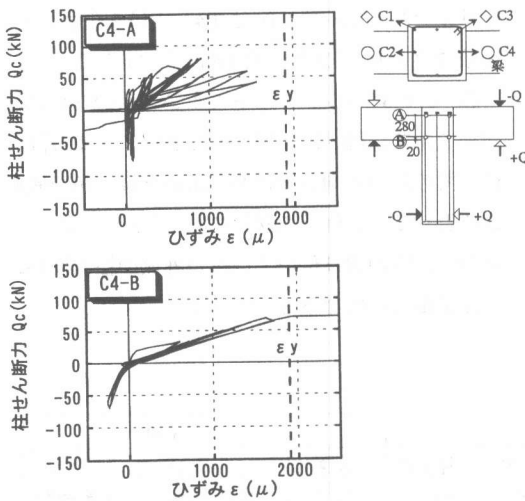


図-5 柱主筋のひずみ状況 (試験体 TCK)

張応力度に相当する)の比を示す。部材角の増大に伴い、付着による引張応力度の分担は低下し、最大耐力時には 50~60% 程度であった。

図-7 (a) に柱主筋定着部における付着応力度  $f_h$  の推移状況を示す。縦軸は付着応力度を日本建築学会 RC 規準の短期許容付着応力度  $s f a$  ( $=2.88 \text{ N/mm}^2$ ) で割った値を、横軸は柱主筋の定着始端 (図の B 点) での引張応力度  $r \sigma b$  ( $\text{N/mm}^2$ ) を示す。ここで、付着応力度  $f_h$  は、A 点、B 点における鉄筋引張力の差を、定着部の鉄筋の表面積で割って求めたものである。

付着応力度の推移状況は、フック定着と圧接コブ定着で大差なく、鉄筋の引張応力度の増大に伴い付着応力度は増大し、降伏引張応力度  $r \sigma b = 347 \text{ N/mm}^2$  では、 $f_h / s f a = 1.0$  程度であった。

図-7 (b) に圧接コブの支圧応力度の推移状況を示す。縦軸は圧接コブの支圧応力度  $f_b$  をコンクリートの圧縮強度  $\sigma B$  で割った値を示す。ここで、圧接コブの支圧応力度は、A 点での鉄筋引張力を、圧接コブの有効支圧面積 (鉄筋断面積の 4 倍) で割って求めたものである。

柱主筋の引張応力度が小さい時には、引張応力度は鉄筋の付着力により抵抗できるため、その時の圧接コブの支圧応力度は小さい。しかしながら、柱主筋の引張応力度が増大し、付着応力度がピー

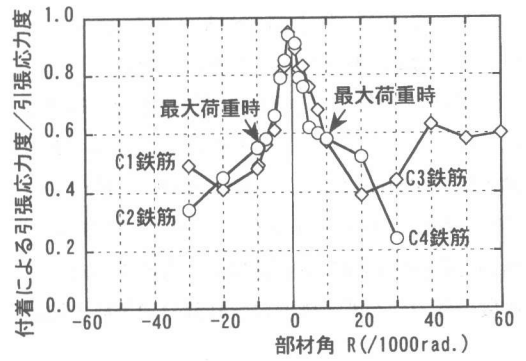


図-6 付着による引張応力分担の推移状況 (試験体 TCK)

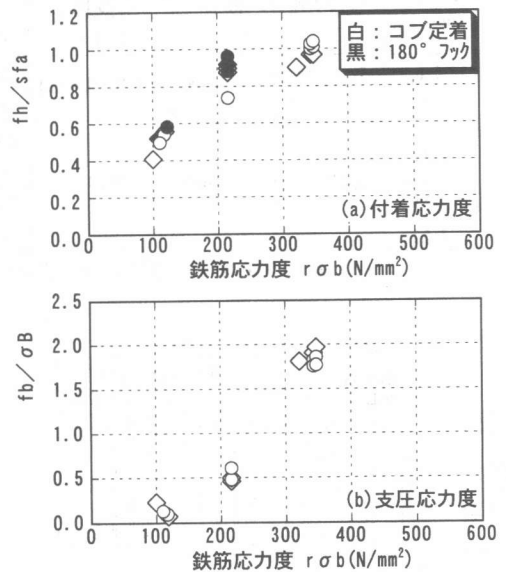


図-7 付着応力度および支圧応力度 (試験体 TCK)

ク近くに達すると、支圧応力度は急増する傾向にある。試験体 TCK では、柱主筋が降伏引張応力度に達した時点の圧接コブの支圧応力度は、 $f_b / \sigma B = 1.8$  程度であった。

### 3. L形骨組実験

#### 3.1 実験計画

表-4 に試験体の一覧を、図-8 に試験体 L31 の形状・配筋を示す。試験体 L1, L2 の柱断面は  $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  である。これに対して、試験体 L31, L41 および L42 の柱断面は  $440 \text{ mm} \times 440 \text{ mm}$  とし、柱主筋の中心間距離は試験体 L2 と同

じにしたままで、柱主筋のかぶり厚さを 50 mm にした。なお、片側に直交梁を設けた。

いずれの試験体も柱の曲げ降伏が先行するように計画した。柱主筋の定着長さは 320 mm (20d) および 400 mm (25d) の 2 種類である。試験体 L31 の柱主筋は 4-D16 (Pt=0.5%) とし、SD490 材を用いて柱主筋の曲げ引張降伏力を大きくした。柱梁接合部のせん断補強筋は、柱部分の帯筋と同量

を基本とし、試験体 L41 と L42 では変化させた。圧接コブの直下にはコブ補強筋を配筋した。

表 -5, 6 にコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を示す。図 -9 に加力方法を示す。加力は、柱と梁の対角方向の変位から求めた部材角を制御変位として、正負繰り返し加力とした。なお、正荷重は、梁の取り付けしていない外側の柱主筋が、曲げ引張応力になる方向である。

表-4 試験体一覧 (L 形実験)

| 試験体番号 | 定着方法     | 柱        |               |                   | 柱主筋定着部  |               |                  |                 |
|-------|----------|----------|---------------|-------------------|---------|---------------|------------------|-----------------|
|       |          | 断面 B × D | 引張主筋 (Pt) (%) | 帯筋 (Pw) (%)       | 柱主筋 かぶり | 定着長さ          | 柱梁接合部内帯筋 (Pwj)   | コブ補強筋           |
| L1    | 180° フック | 400×400  | 3-D16 (0.37%) | 2-D6 @50 (0.32%)  | 30 mm   | 320 mm (20 d) | 2-D6 @50 (0.32%) | —               |
| L2    | 圧接コブ     |          |               |                   |         |               |                  | 2-D10           |
| L31   | 圧接コブ     | 440×440  | 4-D16 (0.50%) | 2-D10 @60 (0.60%) | 50 mm   | 400 mm (25d)  | 2-D10 @60 (0.6%) | 2-D10           |
| L41   |          |          |               |                   |         |               |                  | 4-D6            |
| L42   |          |          |               |                   | 50 mm   | 400 mm (25d)  | 4-D6 @53 (0.6%)  | 4-D6            |
|       |          |          |               |                   |         |               |                  | 2-D6 @80 (0.2%) |

・引張鉄筋比 Pt および帯筋比 Pw の計算は、全試験体とも柱断面を 400mm x 400mm として行った

表-5 コンクリートの材料試験結果 (L 形実験)

| 試験体      | 養生方法  | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| L1, L2   | 現場封かん | 24.0                      | 23000                      | 1.85                      |
| L31      |       | 23.0                      | 23100                      | 2.18                      |
| L41, L42 |       | 27.9                      | 23300                      | 2.38                      |

表-6 鉄筋の材料試験結果 (L 形実験)

| 試験体 | 鉄筋径   | 降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L1  | D19   | 496                        | 661                        | 197000                     |
|     | D16*  | 384                        | 589                        | 188000                     |
| L2  | D10   | 353                        | 495                        | 195000                     |
|     | D6    | 372                        | 548                        | 193000                     |
| L31 | D16 * | 532                        | 710                        | 201000                     |
|     | D10   | 361                        | 506                        | 190000                     |
| L41 | D16 * | 453                        | 676                        | 188000                     |
| L42 | D6    | 372                        | 548                        | 193000                     |

\*: 柱主筋

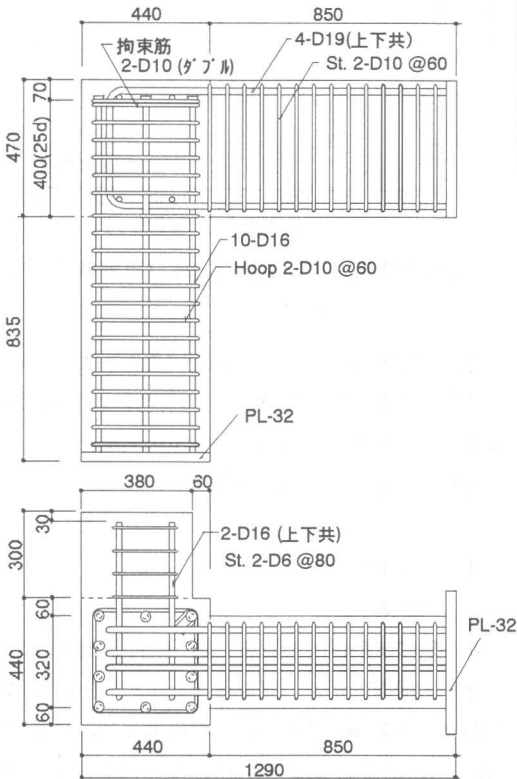
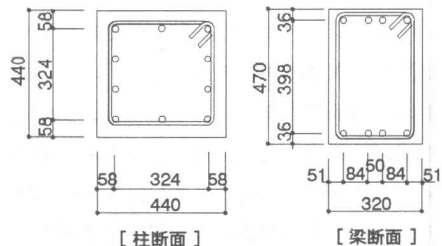


図-8 試験体の形状・配筋 (試験体 L31)



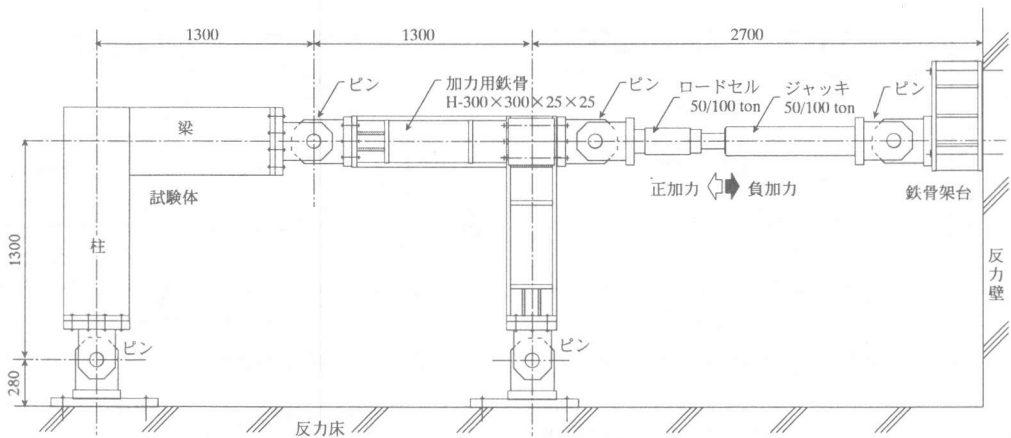


図-9 加力方法 (L形実験)

### 3.2 実験結果

写真-1 に試験体 L2 の部材角  $R=20/1000$  rad 時のひび割れ状況を、図-10 に従来のフック定着の試験体 L1 および圧接コブ定着の試験体 L2 の荷重-変位曲線を示す。縦軸は載荷水平荷重の  $1/2$  とした柱せん断力  $Q_c$  (tonf) を示す。図中には柱の曲げ降伏時せん断力の計算値  $cQ_{cu}$  を示す。

正荷重時における破壊経過は、フック定着の試験体 L1 では、柱の曲げひび割れ、柱梁接合部のせん断ひび割れが発生し、最終的には柱主筋のかぶりコンクリートがはく落し、定着破壊した。一方、圧接コブ定着の試験体 L2 は、写真に示されるように、柱主筋の定着面に圧接コブからの斜めひび割れが発生・進展し、試験体 L1 と同様に柱主筋の定着破壊となった。試験体 L2 の最大耐力後の耐力低下は、正荷重時には試験体 L1 より大

きになったが、負荷重時では同等であった。

図-11 に試験体 L31 の荷重-変位曲線を示す。ひび割れ発生状況および破壊経過は、試験体 L2 と同様であった。柱主筋は 4-D16 (SD490) であるが、最大耐力時に柱主筋は引張降伏した。

図-12 に柱梁接合部内の帯筋比  $P_{wj}$  を変化させた試験体 L41 および L42 の包絡線を比較して示す。両試験体とも、柱に曲げひび割れ、柱

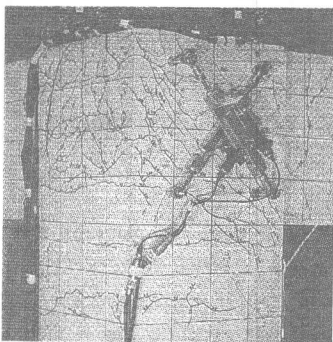


写真-1 試験体 L2 のひび割れ状況 ( $R=20/1000$ rad.)

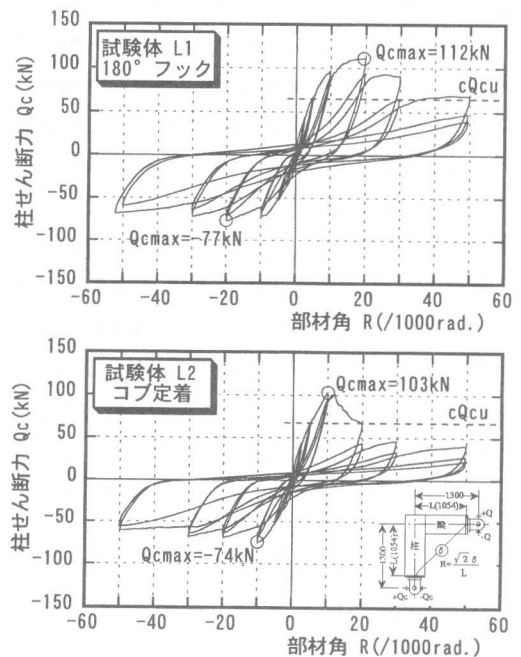


図-10 荷重-変位曲線 (試験体 L1, L2)

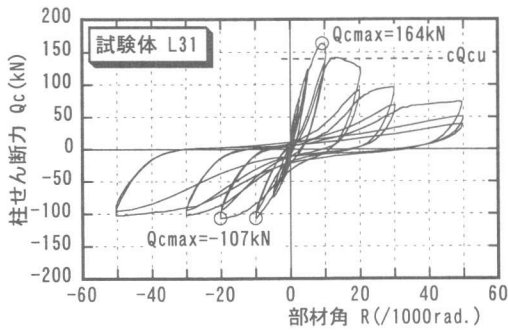


図-11 荷重-変位曲線 (試験体 L31)

梁接合部にせん断ひび割れが発生し、部材角  $R=8/1000 \text{ rad.}$  で柱主筋が引張降伏した。 $P_{wj}=0.2\%$  の試験体 L42 はこの時が最大耐力となり、その後柱主筋が定着破壊した。 $P_{wj}=0.6\%$  の試験体 L41 は、柱主筋が引張降伏した後も耐力は増大し、柱の曲げひび割れが進展した。 $R=18/1000 \text{ rad.}$  で最大耐力に達し、大きな変形性能を示した。

### 3.3 付着応力度および圧接コブの支圧応力度

図-13 に試験体 L31 の柱主筋の付着応力度の推移状況を、図-14 に圧接コブの支圧応力度の推移状況を示す。縦軸は柱主筋定着部の付着応力度  $f_h$  を短期許容付着応力度  $s f a$  ( $3.37 \text{ N/mm}^2$ ) で割った値、あるいは圧接コブの支圧応力度  $f_b$  をコンクリートの圧縮強度  $\sigma B$  ( $=23.0 \text{ N/mm}^2$ ) で割った値を示し、横軸は梁下端の定着始端における柱主筋の引張応力度  $r \sigma b$  ( $\text{N/mm}^2$ ) を示す。

定着面に梁が取り付く柱主筋 (SD490 材) は、降伏引張応力度  $\sigma y=532 \text{ N/mm}^2$  に達した。

鉄筋の引張応力度 400 あるいは  $530 \text{ N/mm}^2$  近傍では、定着面に梁が取り付く柱主筋の付着応力度は、 $f_h/s f a=1.0$  程度であった。これに対して、梁が取り付かない柱主筋の付着応力度は、 $f_h/s f a=0.7\sim 0.8$  程度であった。

また、支圧応力度は取り付く梁の有無にかかわらず  $f_b/\sigma B=1.75\sim 2.0$  程度であった。

## 4. まとめ

柱主筋を圧接コブ定着とした T 形骨組実験、L 形骨組実験から、柱主筋を圧接コブ定着としても、

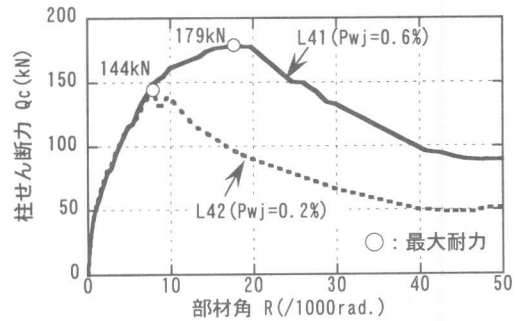


図-12 包絡線の比較 (試験体 L41, L42)

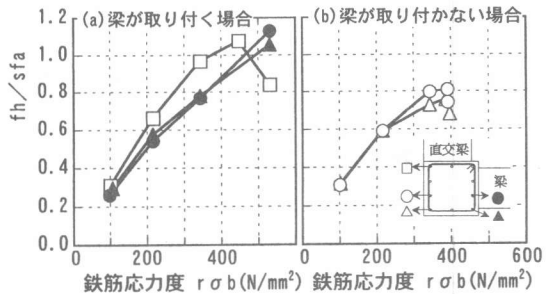


図-13 付着応力度の推移状況 (試験体 L31)

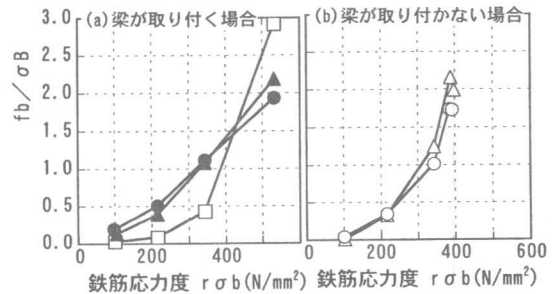


図-14 支圧応力度の推移状況 (試験体 L31)

従来の  $180^\circ$  フック定着と同等の定着性能が得られることが明らかとなった。しかしながら、柱主筋の定着面に梁が取り付く場合と取り付かない場合では定着性能が異なり、L 形骨組の外側の柱主筋のように、梁が取り付かない場合には、より長い定着長さが必要である。また、柱梁接合部内の帯筋が多くなるほど、変形性能は向上した。

## 参考文献

- (1) 鴻野, 佐々木他: 圧接コブを用いた鉄筋の定着性状に関する研究, 日本建築学会大会, 構造 C-2, 1995 年, pp. 741~742
- (2) 村井, 佐々木他: 圧接コブを用いた鉄筋の定着性状に関する研究 (その 2), 日本建築学会大会, 構造 C-2, 1996 年, pp. 595~596