

論文

[2063] 柱梁接合部の付着劣化性状に関する実験研究

正会員○菊田繁美（戸田建設技術研究所）

正会員 千葉 脩（戸田建設技術研究所）

1. はじめに

鉄筋コンクリート建築物の高層化にともない、高強度コンクリートおよび太径の高強度鉄筋が使用されている。この種の建築物は、終局時において、柱・梁接合部に作用するせん断応力度レベルが高くなり、かつ柱・梁接合部内を通し配筋される梁主筋の付着応力度レベルが高くなることから予想される。従って、柱・梁接合部のせん断破壊および付着劣化の危険性が高くなるため、接合部内におけるこれらの性状を把握することが重要となる。本報告では、高層鉄筋コンクリート建築物の開発にともない行われた中柱梁接合部を対象とする実験結果をもとに接合部の付着劣化性状に関して検討した。

2. 試験体

試験体形状および試験体一覧を図1、表1に示す。試験体は、中柱架構を対象とした縮尺 1/2 の柱梁部分架構模型である。各試験体とも部分プレキャスト梁を用いており、プレキャスト部とその他の部分のコンクリートの鉛直打ち継ぎ部には、プレキャスト梁せいの中央位置に段差を設けている。水平打ち継ぎ位置は梁上端二段筋の下端位置であり、鉛直打ち継ぎ位置はプレキャスト梁せいの上半分が 5mm、下半分が15mm柱に入り込んだ位置である。各試験体とも柱および梁主筋にはネジ節系鉄筋を用いており、梁上端主筋に対する引張鉄筋比 (Pt) はHRPC1試験体では1.55%、HRPC試験体では1.43%、HRPC3試験体では1.71%である。接合部のせん断補強筋は、HRPC1, 2試験体においては二重の外周フープ、HRPC3試験体においては一重の外周フープである。HRPC3試験体には部分プレキャストの直交梁とスラブが付いているが、プレ

表1 試験体一覧

| 試験体名 | HRPC1 | HRPC2 | HRPC3 | |
|------------------------|--------------------|---------------|---------------|-------------|
| 対象階 | 8階 | 15階 | — | |
| Fc kgf/cm ² | 406(PC) 421 | 356(PC) 355 | 359(PC) 357 | |
| 柱 | b×Dcm | 45.0×45.0 | 42.5×42.5 | 42.5×42.5 |
| | 主筋 | 16-D19 | 16-D19 | 16-D19 |
| | Pg % | 2.27 | 2.54 | 2.54 |
| | Hoop | 4-D8 @50 | 4-D8 @50 | 4-D8 @50 |
| 梁 | Pw % | 0.89 | 0.94 | 0.94 |
| | b×Dcm | 32.5×42.5 | 30.0×40.0 | 30.0×42.5 |
| | 上二段筋 | 2-D22+2-D19 | 4-D19 | 2-D22+2-D19 |
| | 上二段筋 | 2-D16 | 2-D13 | 2-D16 |
| | 下二段筋 | 2-D22+2-D19 | 4-D19 | 2-D22+2-D19 |
| | 下二段筋 | — | 2-D13 | 2-D16 |
| | Pt % | 1.55 | 1.43 | 1.71 |
| 接合部 | Stirrup | 4-D8 @62.5 | 4-D8 @50.0 | 4-D8 @50.0 |
| | Pw % | 0.98 | 1.33 | 1.33 |
| 直交梁 | Hoop | 4x2-D8 ダブル | 4x2-D8 ダブル | 5x2-D8 |
| | Pw % | 0.59 | 0.69 | 0.41 |
| 直交梁 | b×Dcm | — | — | 30.0×42.5 |
| | 主筋 | — | — | 4-D19 |
| | Pt % | — | — | 0.94 |
| スラブ | Stirrup | — | — | 4-D8 @100 |
| | Pw % | — | — | 0.66 |
| スラブ | ts cm | — | — | 7.5 |
| | タテ | — | — | D6@100 |
| | ヨコ | — | — | D6@100 |
| 軸力 | N tonf | 150 | 100 | 100 |
| | σ _o /Fc | 0.18 | 0.16 | 0.16 |

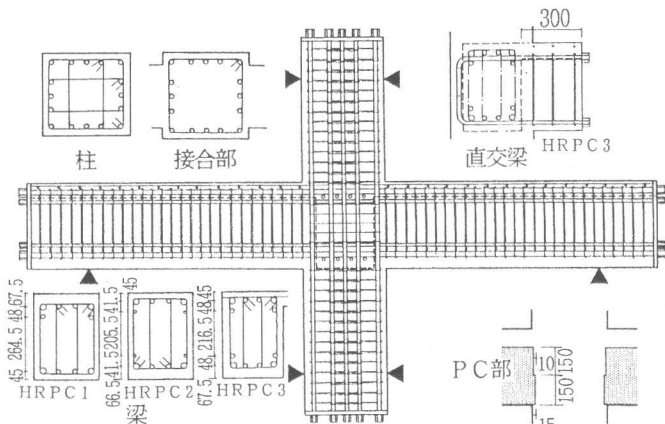


図1 試験体形状

キャスト直交梁の鉛直打ち継ぎ部に硬性潤滑油を塗布し後打ちコンクリートと縁を切っている。柱梁接合部内の梁主筋の付着に関しては、付着強度 ($\tau_u = 4\sqrt{F_c}$) に対して、引張側主筋の応力度が $1.1\sigma_y$ 、圧縮側主筋の応力度が $0.33\sigma_y$ として求めた柱幅内の平均付着応力度 (τ) の割合 (τ/τ_u) を、HRPC1, 2 試験体では 0.89、HRPC3 試験体では 1.02 としている。HRPC1 試験体は、梁上端主筋が二段配筋で下端主筋が一段配筋であり、HRPC2 試験体と HRPC3 試験体は、梁上端下端主筋とも二段配筋である。梁の反曲点間距離は、HRPC1, 3 試験体で 257.5cm、HRPC2 試験体で 232.5cm であり、柱の反曲点間距離は各試験体とも 145cm である。

材料試験結果を表 2 に示す。梁主筋と柱主筋は高強度鉄筋(SD390) である。

3. 加力方法

加力装置を図 2 に、加力スケジュールを表 3 に示す。試験体の柱脚をピン支持、梁の支点をピンローラー支持とし、柱に一定軸力を作用させた状態で柱頭に正負繰返し水平加力を行った。柱の軸応力度として HRPC1 試験体に 74kgf/cm^2 、HRPC2, 3 試験体に 55kgf/cm^2 の圧縮応力度を作用させた。

4. 実験結果

荷重-変形関係の実験値を図 3 に、諸強度に関する実験値と計算値の比較を表 4 に示す。

接合部のせん断ひびわれに関しては、HRPC1, 2 試験体においてせん断応力度の実験値が計算値の 1.07、0.79 倍で発生したが、HRPC3 試験体においては、直交梁とスラブのない面に計算値にほぼ一致して発生し、直交梁先端面には約 1/55 の変形角時に計算値の約 1.6 倍の応力度で発生した。1/25 の変形角においては、HRPC1, 2 試験体および HRPC3 試験体の直交梁とスラブのない面の接合部全域に分散したせん断ひびわれが見られた。梁の破壊性状に関しては、各試験体とも約 1/100 の変形角で一段筋と二段筋がほぼ同時に降伏した。コンクリートの圧壊は、HRPC1 試験体では 1/100 の変形角、HRPC2 試験体では約 1/55 の変形角、HRPC3 試験体では 1/75 の変形角で発生した。HRPC1, 2 試験体は 1/50 の変形角で最大耐力を示し、HRPC3 試験体は 1/25 の変形角で最大耐力を示した。各試験体とも梁主筋の降伏強度の実験値は断面分割法による計算値を約 1 割上回ったが、梁の圧壊強度に関しては、下端圧壊の実験値と計算値がほぼ一致し、上端圧壊の実験値は計算値を約 2 割上回った。最大耐力に関しては、各試験体とも実験値は計算値を 1 ~ 2 割上回った。接

表 2 材料試験結果

| コンクリート | | 圧縮強度 kgf/cm ² | 割線剛性 x10 ⁸ kgf/cm ² |
|--------|-----|-----------------------------|--|
| HRPC1 | PC部 | 406 | 2.81 |
| | その他 | 421 | 3.10 |
| HRPC2 | PC部 | 356 | 2.48 |
| | その他 | 355 | 2.75 |
| HRPC3 | PC部 | 359 | 2.55 |
| | その他 | 357 | 2.82 |

| 鉄筋 | 降伏強度 kgf/cm ² | 引張強度 kgf/cm ² | ヤング係数 x10 ⁸ kgf/cm ² |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|---|
| D22 | 4510 | 6300 | 2.05 |
| D19 | 4450 | 6490 | 1.90 |
| D16 | 3650 | 5430 | 1.79 |
| D13 | 3800 | 5470 | 1.85 |
| D8 | 3650 | 4980 | 1.79 |
| D6 | 3920 | 5050 | 1.88 |

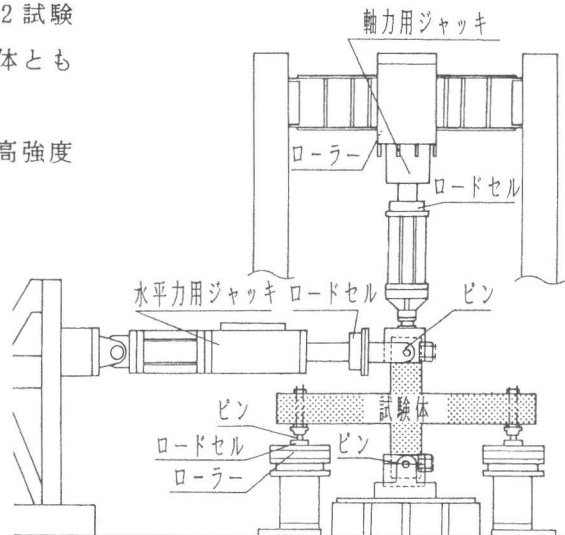


図 2 加力装置

表 3 加力スケジュール

| 層間部材角 | (サイクル数) | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | 1/1000 | 1/400 | 1/200 | 1/100 | 1/75 | 1/50 | 1/25 |
| HRPC1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0.5 |
| HRPC2 | 1 | 1 | 3 | 3 | — | 3 | 0.5 |
| HRPC3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0.5 |

合部の最大せん断応力度をコンクリートの圧縮強度で除した値は、HRPC1試験体で0.17、HRPC2試験体で0.21、HRPC3試験体で0.25であった。

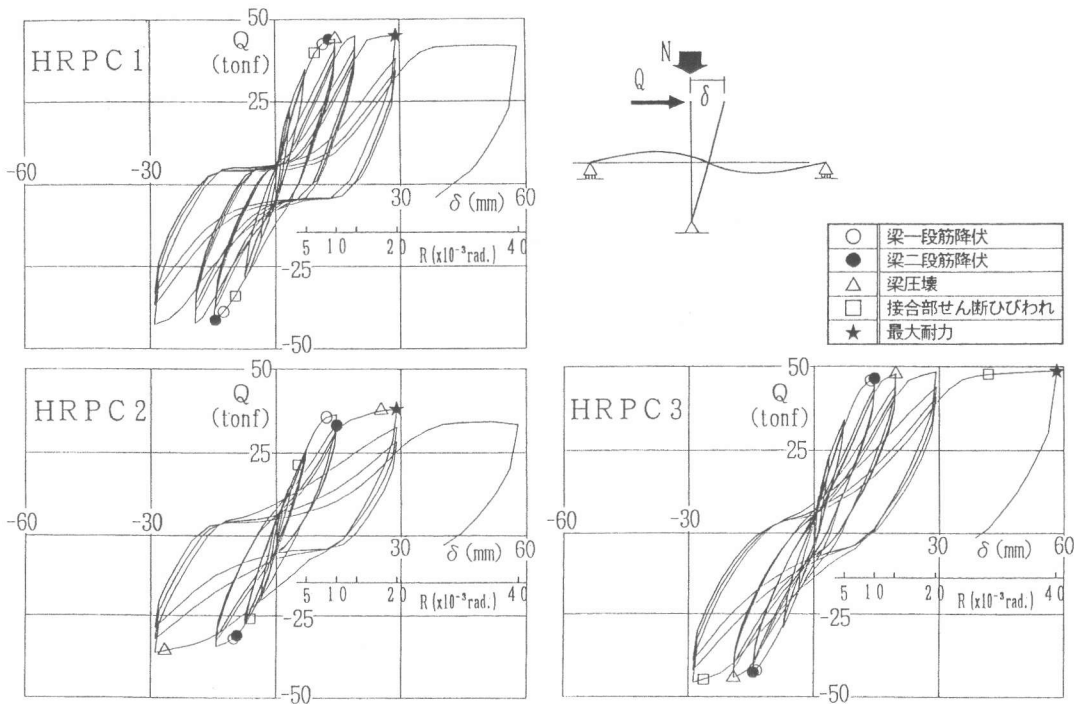


図3 荷重-変形関係

5. 接合部梁主筋の付着劣化性状

各試験体の梁一段筋の接合部内における平均付着応力度と梁端部の抜け出し変形の関係を図5に示す。平均付着応力度については、梁主筋の応力-ひずみ度関係を降伏以後一定応力度とするバイリニアで仮定して求め、抜け出し変形については、図5に示すように直交梁の無い側における接合部と梁端部のコンクリート面における相対変位とした。HRPC1試験体のD22の主筋は、一端が引張降伏後の大ひずみを経験し引張ひずみが残留しているため次の逆方向加力時には圧縮降伏し、他端が引張降伏して最大付着応力度を示した。その後、繰り返し加力とともに付着応力度が低下した。一方、直交梁の付いたHRPC3試験体の直交梁の無い側のD22の主筋は、一端が引張降伏した後逆方向加力により圧縮降伏し、他端が引張降伏して最大付着応力度を示した後も付着応力度の低下が少なかった。HRPC3試験体とHRPC2試験体のD19の主筋については、両試験体とも一端が引張降伏し他端が圧縮降伏して最大付着応力度を示した。その後の繰り返し加力によりHRP

表4 実験値と計算値の比較

| | | HRPC1 | HRPC2 | HRPC3 |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------|
| *1 | 接合部せん断ひびわれ応力度 (kgf/cm ²) | 63.1 (59.2) | 39.9 (50.8) | 82.3 (50.9) |
| | *2 | 梁主筋降伏強度 (tonf) | 一段筋 上端 (24.5) (21.6) | 22.5 (19.7) |
| 二段筋 上端 (24.6) (22.0) | | | 22.7 (19.9) | 26.2 (23.8) |
| 下端 | | 一段筋 (21.6) (19.2) | 20.5 (18.8) | 24.3 (21.6) |
| | | 二段筋 (—) (—) | 20.9 (20.0) | 23.9 (23.4) |
| 梁圧壊強度 (tonf) | 上端 (24.8) (20.6) | 23.9 (20.0) | 28.0 (23.4) | |
| | 下端 (23.6) (22.7) | 21.9 (21.1) | 26.3 (24.7) | |
| *3 | 最大耐力 (tonf) | 45.0 (38.4) | 37.8 (33.0) | 48.6 (42.7) |
| *4 | 接合部最大せん断応力度/F _c | 0.17 | 0.21 | 0.25 |

()内は計算値

*1、*4の実験値

$$\tau_p = \frac{\sum M_b / V_c - Q_c / (D_j * b_j)}{V_c * D_j * b_j * d_s * 7/8}$$

M_b:柱面位置での梁曲げモーメント
D_j:柱せい b_j:柱幅と梁幅の平均値
Q_c:柱せん断力 d_s:梁有効せい

*1 計算値 $\tau_p = \sqrt{F_t^2 + \sigma_0 * F_t}$ F_t = 1.6√F_c σ₀:軸応力度

*2 梁せん断力 計算値は断面分割法による (HRPC3はスラブ全幅有効) (梁圧壊強度は圧縮縁コンクリートの応力度がσ_cの時)

*3 柱せん断力 計算値は梁の曲げ耐力時

C 2 試験体は H R P C 3 試験体に比べ付着応力度の低下が大きかった。従って、直交梁は接合部内の付着性状を向上させると考えられる。

H R P C 1 と H R P C 3 試験体の直交梁の無い側における接合部内の梁主筋の付着応力度分布を図 6 に示す。両試験体とも梁端において引張降伏した後の逆方向加力時（細実線）に最大付着応力度を

示した。その後 1/50 の変形角（太実線）では、付着劣化した H R P C 1 試験体に比べて H R P C 3 試験体は接合部中央において付着応力度が大きくなった。この時、せん断補強筋および直交梁主筋のひずみ度から求めたこれらの鉄筋による接合部面外方向の拘束力は接合部有効面積（柱せいと梁の応力中心間距離の積）に対して H R P C 1 試験体で約 7kgf/cm^2 、H R P C 3 試験体ではその 3.5 倍の約 25kgf/cm^2 が作用していた。H R P C 3 試験体の接合部中央には梁主筋に接する様に直交梁の主筋が在ること、および接合部面外方向に比較的大きな拘束力が作用したため付着強度が増大したものと考えられる。

6. まとめ

柱梁部分架構の実験から以下の結果が得られた。

- 1) 直交梁とスラブの付いた試験体は、直交梁とスラブの無い試験体に比べて接合部内の梁主筋の付着性状が向上した。
- 2) 直交梁とスラブの付いた試験体の付着性状の向上は、直交梁および直交梁主筋の拘束力によるものと考えられる。

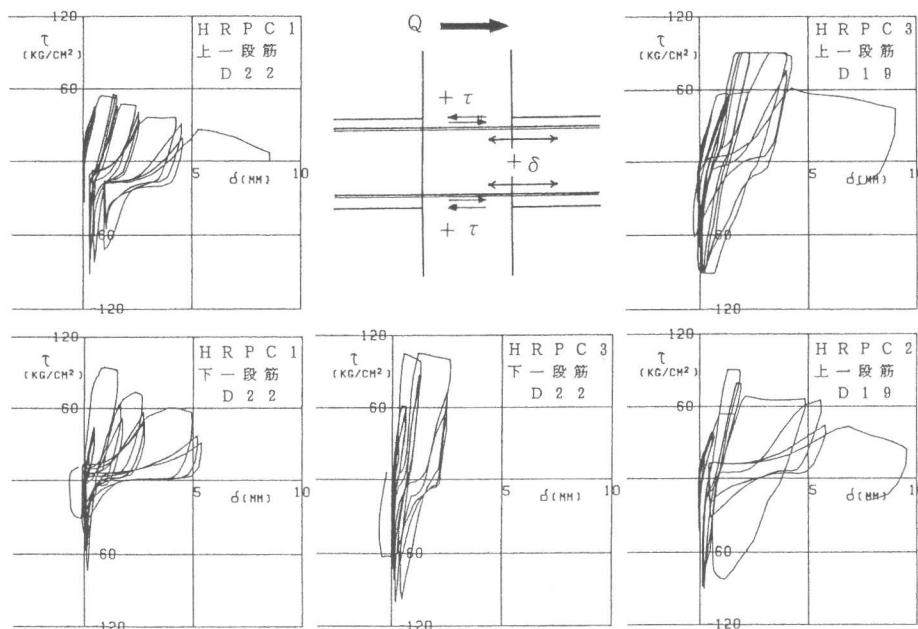


図 5 平均付着応力度と梁端部の抜け出し変形の関係

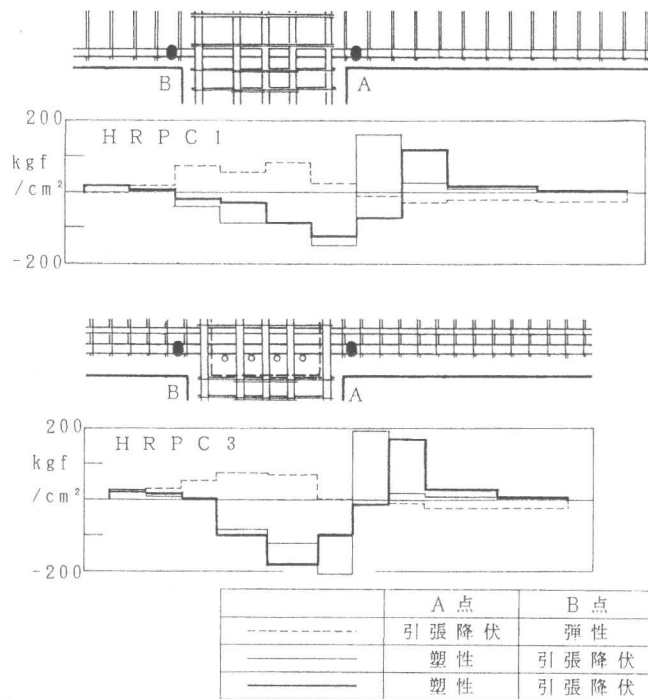


図 6 梁主筋の付着応力度分布