シース管を省略した柱梁接合部一体型 PCa 化工法の開発 (その 2)

A Development of Precasted R/C Beam-Column Joints without Sheath Pipe (Part 2)

高井 茂光*飯塚 信一**Shigemitsu TakaiShinichi Iizuka金川 基*成田 悠*Motoi KanagawaYuu Narita

要 約

超高層 RC 造建物において, 柱, 梁, 接合部などの主要構造部材の大半をプレキャストコンクリート部材とした工法が多く採用され, その合理化工法が積極的に進められている.本報告では, 前稿¹⁾ に引き続きシース管を省略した柱梁接合部の PCa 化工法について, 柱主筋とコンクリート躯体の間 にグラウト材が介在することによる付着性状の違いや構造性能に与える影響を確認するために行った 引抜試験, および縮小模型部材による静的載荷実験結果について述べる.

- 目 次
- §1. はじめに
- §2. 引抜試験
- §3. 十字形接合部正負繰返し静的載荷実験
- §4. まとめ

§1. はじめに

現在, 超高層 RC 造建物において, 柱, 梁, 接合部な どの主要構造部材の大半をプレキャストコンクリート (以下, PCaと称する)部材とした工法(以下, PCa化 工法と称する)が多く採用され, その合理化工法が積極 的に進められている. PCa化工法は, 工場で製造された PCa部材を, 現場で組立てる工法であるため, 在来工法 (以下, 在来という.)に比べ, 躯体の品質確保や施工の 合理化及び省力化を図ることが可能である.

前報¹⁾では,**表-1**の試験内容に示すとおり,シース管を省略した接合部一体型 PCa 化工法について,接合部せん断破壊型(試験体記号:SPC01)及び柱曲げ降 伏先行型(試験体記号:SPC02)の十字形接合部正負繰 返し静的載荷実験を行い,以下①,②の知見が得られた. ①接合部せん断破壊型の SPC01の接合部せん断強度は,

靭性保証型耐震設計指針²⁾による接合部せん断強度 の計算値を10%程度上回る結果であった.

②柱曲げ降伏先行型の SPC02 の接合部最大せん断力は,

* 技術研究所建築技術グループ

** 技術研究所

柱曲げ強度時³⁾の接合部せん断力の計算値を僅かに 下回る結果であった.これは,柱主筋降伏以降,接合 部の損傷が進行し,十分な応力伝達が不可能になった ためと考えられる.

本報では,前報¹⁾に続きシース管を省略した柱梁接 合部の PCa 化工法について,柱主筋とコンクリート躯 体の間にグラウト材が介在することによる付着性状の違 いや構造性能に与える影響を確認するため, PCa と在来 の工法の違いのみを変動要因として,引抜試験及び縮小 模型部材による静的載荷実験結果について述べる.

§2. 引抜試験

2-1 実験概要

引抜試験体 (PCa) を図-1に示す. 試験体は, 静的 載荷実験の柱主筋である D19, D16 を対象に付着区間を 4D とし, 試験体数は各3体とした. なお, 柱主筋挿入 孔は十字形試験体と同様に形成した. 載荷方法は2,000 kN 万能試験機を使用し, 上クロスヘッドに耐圧盤+球 座, コンクリートブロックをセットし, 鉄筋を下クロス ヘッドのチャックで挟み込んで, 単調引張載荷とした.

表-1 試験内容

| 工法 | | | | |
|-----|---------------------|-------------------|---------------|------|
| | 接合部せん断 破壊型 | 柱曲げ降伏 先行型 | 梁曲げ降伏 先行型 | 引抜試験 |
| PCa | 前報 (SPC01 : 知見①) | 前報 (SPC02:知見②) | 本報 (SPC04) | 本報 |
| 在来 | | 本報 (SPC05) | 本報 (SPC03) | 本報 |

2-2 試験結果

引抜試験結果を表-2に、破壊状況を写真-1に示す. 一体打ちである在来試験体(No.1, 3)は、鉄筋とコン クリートの付着が切れ、鉄筋が引き抜かれた(写真-1 上). PCa 試験体(No.2, 4)も在来試験体同様に鉄筋と グラウト充填との付着が切れ、コンクリート孔とグラウ ト充填の界面の付着は保持された状態で鉄筋が引き抜か れた(写真-1下).最大荷重は、D19、D16ともPCa が在来よりも高い結果となった.これは、充填されたグ ラウト材の圧縮強度がコンクリート圧縮強度より高いた めと考えられる.

§3. 十字形接合部正負繰返し静的載荷実験

3-1 試験体

試験体を図-2に,試験体諸元一覧を表-3に,鉄 筋の材料特性を表-4に,コンクリートとグラウトの 材料特性を表-5に示す.

試験体は,梁曲げ降伏先行型及び柱曲げ降伏先行型の2種類とし,PCaと在来の工法の違いのみを変動要因とした十字形接合部試験体4体(前報¹⁾のSPC02含む)である.

試験体記号 SPC03(在来)及び SPC04(PCa)は、梁



| 衣一乙 灯放武驶桁え | 表- | 2 | 引抜試験結 | 果 |
|------------|----|---|-------|---|
|------------|----|---|-------|---|

| 試験体 No. | 主筋 | 工法 | 挿入孔 の径 | コンク リート 強度 | グラウト 強度 | 破壞荷重 kN | | | |
|------------|-----|-----|-----------|------------------------------|-----------------------------------|---------|------|------|------|
| | | | mm | σ_B N/mm ² | σ_{B} N/mm ² | 1 | 2 | 3 | 平均 |
| No.1 | D19 | 在来 | | 63.0 | | 35.5 | 38.0 | 42.3 | 38.6 |
| No. 2 | | PCa | 38 | | 110.0 | 56.2 | 47.1 | 61.8 | 55.0 |
| No. 3 | D16 | 在来 | | | | 16.0 | 19.8 | 20.6 | 18.8 |
| No.4 | | PCa | 37 | | 110.0 | 20.9 | 21.6 | 18.4 | 20.3 |

主筋に SD490 材を配して梁曲げ降伏先行型となるよう にし, 試験体記号 SPC05(在来)は, 前報¹⁾の SPC02(PCa) と同一諸元とし, 柱主筋に SD345 材を配して柱曲げ降 伏先行型となるよう設計した試験体である.

PCaの接合方法は,前報¹⁾同様,柱主筋接合部一体型 PCa 工法とし,柱主筋が柱頭部から突出した柱に, 柱主筋挿入用孔を設けた柱梁接合部 PCa 部材を設置し, 柱頭部目地と同時に柱主筋挿入用孔にモルタルを充填し, 一体化したものである.

3-2 載荷方法

試験実施状況を**写真-2**に示す.載荷方法ならびに測定方法は,前報¹⁾同様とした.柱下に設置した5000 kN 油圧ジャッキを用いて一定軸力を先行導入した後,左右の梁の反曲点位置にて各々の梁の変形が逆対称となるよ





写真-2 試験実施状況

う変位を制御し、正負交番の繰返し加力を行った.

加力サイクルは、柱曲げ降伏先行型の SPC05(在来) のみ, SPC02 (PCa) との比較を目的に前報¹⁾ 同様とし た. 一方, 梁曲げ降伏先行型の SPC03, SPC04 は, R = 1/33 rad 以前の繰返し回数を前報¹⁾の各3回から各 2回に変更した。

3-3 実験結果

①破壊性状

層せん断力 – 層間変形角関係を図−3に、R = ± 1/50 rad 時における接合部ひび割れ状況を写真-3 に示 す.

梁曲げ降伏先行型の SPC03 (在来) と SPC04 (PCa) の履歴曲線は、工法の違いに関わらず概ね同様の傾向が 見られた.いずれも加力初期となる $R = \pm 1/600$ rad の サイクル時に、梁端近傍に曲げひび割れが発生し、梁及 び接合部のせん断ひび割れ発生後, R = ± 1/80 rad 前 後に梁主筋の降伏が生じた. 接合部のせん断ひび割れ は、SPC03 が R = ± 1/150 rad 前後、SPC04 が R = ± 1/200 rad 前後で発生した. 梁主筋降伏後は, 梁の曲げ ひび割れ及びせん断ひび割れの進展、梁端の開きおよび 圧壊、ならびに接合部のせん断ひび割れの進展を伴いな がら, 層せん断力は緩やかに上昇し, 概ね R = ± 1/50 rad サイクルの到達時に最大層せん断力となった.



表-3 試験体諸元一覧

| 試験体名 | | SPC03(在来),SPC04(PCa) | SPC05(在来),SPC02(PCa) | | | |
|-----------|------------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|
| | Fc(N/mm ²) | 60 | | | | |
| 柱 | 主筋(pg) | 12-D19 (2.15%) | 10-D16 (1.24%) | | | |
| | 種類 | SD490 | SD345 | | | |
| | 柱補強筋(pwc) | 4-S6@50 (0.64%) | 4-S6@50 (0.64%) | | | |
| | 種類 | KSS785 | KSS785 | | | |
| 梁 | Fc(N/mm ²) | 48 | 60 | | | |
| | 主筋(pt) | 12-D19 (1.65%) | 12-D19 (1.65%) | | | |
| | 種類 | SD490 | SD490 | | | |
| | 梁補強筋(pwb) | 4-S6@50 (0.85%) | 4-S6@50 (0.64%) | | | |
| | 種類 | KSS785 | KSS785 | | | |
| | Fc(N/mm ²) | 6 | 0 | | | |
| 接合部 | 補強筋(pwj) | 2-S6@50 (0.27%) | 2-S6@50 (0.27%) | | | |
| | 種類 | KSS785 | KSS785 | | | |
| | グラウト材 | トーテツライト・ | H 80N/mm2 | | | |
| 接合部せん断余裕度 | | 1.12 | 1.39 | | | |
| 柱梁曲げ強度比 | | 2.00 | 0.80 | | | |
| 軸力比 | | 0.20 | 0.05 | | | |
| 破壊形式 | | 沙曲//修件失行刑 | 杜曲 //修伏失行刑 | | | |

表-4 鉄筋の材料特性

| 鉄筋 | 種類 | 降伏強度 | 引張強度 | 弾性係数 | 破断伸び |
|-----|--------|----------|----------|-----------|------|
| 呼び名 | 材質 | N/mm^2 | N/mm^2 | kN/mm^2 | % |
| D19 | SD490 | 546.1 | 718.2 | 187.6 | 19.5 |
| D16 | SD345 | 380.7 | 571.7 | 194.5 | 24.6 |
| S6 | KSS785 | 978.9 | 1172.5 | 187.5 | 9.7 |

表-5 コンクリートとグラウトの材料特性

| 試験体 | 種類 | 使用部位 | 圧縮強度 N/mm ² | 弹性係数 kN/mm ² | ポアソン比 |
|-------|-------|-------|---------------------------|----------------------------|-------|
| CDC02 | Fc48 | 梁 | 47.6 | 32.6 | 0.195 |
| SPC03 | Fc60 | 柱,接合部 | 62.6 | 35.5 | 0.234 |
| | Fc48 | 梁 | 47.6 | 33.4 | 0.195 |
| SPC04 | Fc60 | 柱,接合部 | 64.0 | 35.5 | 0.220 |
| | グラウト材 | シース | 102.0 | 35.5 | 0.202 |
| SPC05 | Fc60 | 梁,梁 | 64.1 | 35.9 | 0.216 |







図-3 層せん断力 – 層間変形角関係

柱曲げ降伏先行型の SPC05(在来)は、R = ± 1/100 rad サイクル時において柱の曲げひび割れが発生し、概 ねR = ± 1/85 rad で柱主筋の降伏がみられた。履歴 曲線はSPC02(PCa)と概ね同様の傾向を示したが、 SPC05(在来)は SPC02 に比べ最大層せん断力が 10% 程度高く、柱曲げ終局強度時の計算値に対しては、正側 で10%. 負側で3%程度上回る結果を示した. 接合部 せん断ひび割れは、いずれも R = ± 1/300 rad に発生し、 以降は各変形角とも在来が PCa に比べてひび割れが多 数発生する傾向が見られた.

②柱主筋のひずみ分布

図-4に正側1回目ピーク時における柱主筋ひずみ 分布を示す. 梁曲げ降伏先行型は、柱主筋のひずみ分布 形状に差は見られなかった. 柱曲げ降伏先行型は、引張 域(区間 C)では、工法の違いに関わらず、R = 1/100 rad 時に降伏ひずみに達し、その後変形の進展に伴い接 合部内に降伏域が進行した. 圧縮域(区間A)について は、SPC05(在来)がR = 1/100 rad 時において圧縮ひ ずみを維持しているのに対し、SPC02 (PCa) は、引張 側へひずみが転化する傾向が見られた.

③柱主筋の付着応力度

図-5に接合部内柱主筋の付着応力度と層間変形角 の関係を示す.

各区間の局所付着応力度は, ひずみ硬化開始点まで をバイリニア型とし、以降は**図-6**に示す関数モデル⁴⁾ を用いて応力に変換し、各区間(図-4の区間A, B, C) の応力差を測定区間長さ、公称周長で除して求めた、平 均付着応力度は, 接合部の柱材端の応力差から算出した.

梁曲げ降伏先行型の局所付着応力度は、区間A及び BのR = 1/100 rad 以降, 差が生じたものの, 概ね同様 の傾向を示し、局所付着応力度の最大値は、在来が+7.2/ mm², -6.2 N/mm², PCa $\hbar^{\$}$ + 7.0/mm², -6.8 N/mm² であった. 平均付着応力度についても、よく一致した性 状を示し、いずれも梁主筋が降伏する R = 13/1000 rad 以前まで直線的に増加し、それ以降は概ね一定となる傾 向を示した.

柱曲げ降伏先行型の局所付着応力度は、R = ± 1/300 rad 以降, SPC02 (PCa) は SPC05 (在来) に比べて各



写真-3 接合部ひび割れ状況(R=±1/50)



図-5 付着応力度 - 層間変形角

σ





000

実験値 モデル

30000 45000 60000

図-6 応力度-ひずみ曲線

区間とも応力度の増分割合が低下し,PCa が在来を下回 る結果であった.特に区間 B の負側変形時に工法の違 いによる応力差が大きく,材端部の柱主筋が降伏ひずみ に達した R = -1/100 rad においては,在来が-8.9 N/ mm², PCa が -4.0 N/mm² であった.平均付着応力度に ついては,SPC05 が梁曲げ降伏先行型と同様の傾向を 示したのに対し,SPC02 は圧縮域の柱主筋応力度が圧 縮側から引張側の増大へと転化する R = $\pm 1/300$ rad 付 近から,一定となる傾向がみられた.

④接合部ひび割れ性状

図-7に柱曲げ降伏先行型とした SPC02 (PCa), SPC05 (在来)の接合部最大せん断ひび割れ幅,柱危険 断面位置における目地部最大開き幅と層間変形角の関係 を示す.

接合部せん断ひび割れ性状は, 写真-3に示した とおり, SPC05(在来)が接合部全域に分散する傾向, SPC02(PCa)は接合部対角線上に集中する傾向が見ら れ,最大せん断ひび割れ幅は, R = -1/50 rad で在来が PCa を上回る結果を示した.

接合部と上下柱の目地部の鉛直開き幅は,R = ± 1/100 rad まで大きな差は見られないものの,SPC02 (PCa) は柱中央部まで開きが進行する傾向が見られ, その傾向はR = ± 1/50 rad 以降,顕著に現れた.(写真 - 3) これは,柱曲げ降伏先行型のPCaは,柱と接合 部の接合面が平滑(型枠面)であり,かつ柱主筋量及び 柱軸力が小さいため,柱主筋降伏以降,柱端部の回転に よる変形が卓越したと考えられる.柱端部の回転は,コ ンクリートの圧縮力接触面,圧縮ストラット幅を減少(図 - 8) させ,在来に比べ接合部対角線上にひび割れが集 中したものと推察される.また,圧縮鉄筋の引張側への ひずみ転化及び付着応力度の低下についても,引抜試験 での破壊荷重(表-2)及び破壊状況(写真-1)に工 法の違いによる差が見られないことから,付着劣化では なく目地部の開き進展が原因と考えられる.

⑤層間変形に占める各変形成分

図-9に正側包絡線の層間変形に占める各変形成分の割合を示す.なお,接合部せん断変形角は,図-10 に示す接合部対角方向の伸縮変位により算出し直した.

梁曲げ降伏先行型は、最大層せん断力が得られた R = 1/50 rad まで、梁主筋の抜出しを含めた梁の変形が 80%程度を占め、工法の違いよる差は見られなかった。

柱曲げ降伏先行型は, 接合部せん断変形の割合に大き な違いが見られた. SPC05(在来)は SPC02(PCa)に比べ, 接合部にせん断ひび割れが生じた R = 1/300 rad から最 大層せん断力が得られた R = 1/50 rad まで, 概ね 2 倍 の接合部変形を有する結果を示した.



図-7 最大ひび割れ幅 – 層間変形角



図ーる 想定する変形 (柱曲げ降伏先行型:PCa)









⑥等価粘性減衰定数

図-11 に正側包絡線の各サイクル2回目の等価粘性 減衰定数を示す.

梁曲げ降伏先行型とした SPC03 (在来), SPC04 (PCa) は, R = ± 1/25 rad まで工法の違いによる差は見られ なかった.

柱曲げ降伏先行型とした SPC05(在来), SPC02(PCa) は、平均付着応力度と同様の傾向を示し、材端部の柱主 筋が降伏ひずみに達した R = 1/100 rad 以降, PCa が在 来を下回る結果であった.これは、主筋降伏以降, 柱端 部の回転による変形が卓越し、復元力特性が在来に比べ てスリップ性状となったことが原因と考えられる.



§4. まとめ

- ①梁曲げ降伏先行型のPCaは、層せん断力-層間変形 角関係、平均付着応力度及び等価粘性減衰定数におい て在来と差が見られないことから、同等の性能を有し ているといえる。
- ②柱曲げ降伏先行型においては、柱主筋量及び柱軸力が小さい影響により、柱と接合部の接合面を平滑としたPCaは在来に比べ、柱主筋降伏以降、目地部の開きが増大する傾向が見られた.PCaの最大層せん断力は、柱端部の回転による変形が卓越し、圧縮縁の圧壊が進展することで、在来に比べ低下したものと考えられる。

参考文献

- 1) 高井茂光,飯塚信一,金川基,成田悠:シース管を 省略した柱梁接合部一体型 PCa 化工法の開発,西 松建設技報,Vol.37,2014
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭性保証 型耐震設計指針・同解説, 1999
- 3)日本建築学会:建築耐震設計における保有耐力と変 形性能 1990
- Response-2000 http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/r2k.htm