

鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価

(その1 実験概要および実験結果)

アンボンド PC 鋼材 PCaPC 圧着工法 鋼材係数
十字形柱梁骨組 スラブ 耐震性能評価

正会員 ○今村 俊介*1
同 苗 思雨*2
同 晉 沂雄*3
同 北山 和宏*4

1. はじめに

アンボンド PC 鋼材をプレキャスト RC 柱及び梁部材に貫通して配置し、その PC 鋼材を緊張して両者を一体化する工法は、アンボンド・プレキャスト・プレストレスト・コンクリート（以下、アンボンド PCaPC）圧着工法と言われ、部材損傷を梁の圧着接合面に集中させることで損傷制御を可能とする。本研究では梁曲げ破壊が先行するアンボンド PCaPC 骨組の性能評価型耐震設計法を構築することを最終着地点としており、このためには梁部材の復元力特性や各種限界状態等の定量的評価が非常に重要となる。一方、既往の研究結果^{1),2)}より鋼材係数³⁾（梁断面積と梁コンクリート圧縮強度の積に対する全鋼材の引張力の和の比）は付着を有する PRC 梁部材のみならずアンボンド PCaPC 梁部材の耐震性能（復元力特性及び損傷性状）にも大いに影響すると報告されたが、十字形アンボンド PCaPC 架構における梁部材の地震時挙動や力学特性が十分把握できる実験結果は未だ少ない。十字形アンボンド PCaPC 骨組では多スパンを通して配筋された PC 鋼材が部材全長に渡り均一に伸びる特徴があるため、実験の際にその実挙動を再現するには十字形部分骨組試験体を用いる必要がある。これに実建物を想定しスラブを取り付けた実験データも数少ない。そこで本研究では、鋼材係数及び試験体形状を実験変数とした十字形アンボンド PCaPC 部分骨組の静的載荷実験を行い、これらがその耐震性能に及ぼす影響を検討する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図1に試験体概要、表1に試験体諸元、表2に使用鋼材の材料特性を示す。試験体は平面十字形試験体 PCJ13 及び PCJ14 と、試験体 PCJ14 にスラブと直交梁を付加した立体十字形試験体 PCJ15 の計3体である。全試験体共に梁断面を 250×400mm、柱断面を 350×350mm とした。試験体 PCJ13 及び PCJ14 では柱と梁のコンクリートを別々に打設したのちに幅 20mm の目地モルタルを介して両者を接合し、PC 鋼材を挿入し緊張力（鋼材降伏力の約 0.8 倍）を導入して圧着接合した。一方、スラブと直交梁の付く試験体 PCJ15 のみ、直交梁と一体化した柱、またスラブ厚さ分（70mm）を除く梁のコンクリートを別々に打設し、他の試験体と同様に圧着接合した。その後スラブのコンクリートを打設し、スラブと梁を一体化させた。スラブの協力幅の検討のため片側のスラブ幅は梁スパンの 0.2 倍（640mm）

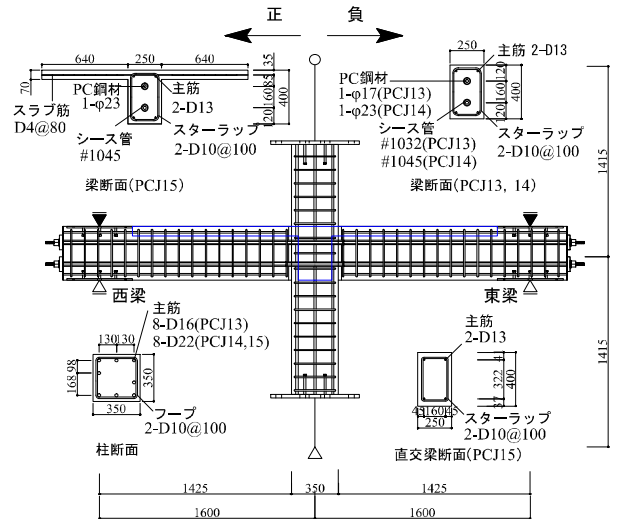


図1 試験体概要（単位:mm）

表1 試験体諸元

| 試験体名 | PCJ13 | PCJ14 | PCJ15 |
|----------|---------------------------------|-------|---------------|
| 形状 | 平面十字形 | | 立体十字形 |
| コンクリート強度 | 53MPa | 49MPa | 53MPa |
| 梁 | 幅×せい 250mm×400mm（直交梁も同一） | | |
| | PC 鋼材（B種1号） 上下共 1-φ17 上下共 1-φ23 | | |
| | 主筋 上下共 2-D13（SD295A）（直交梁も同一） | | |
| | あばら筋 □D10@100（SD295A）（直交梁も同一） | | |
| 柱 | 断面 350mm×350mm | | |
| | 主筋 8-D16（SD295A） | | 8-D22（SD390） |
| | 帯筋 □D10@100（SD295A） | | |
| | 軸力（軸力比） 750kN（η:0.12） | | |
| スラブ | 幅×厚 | | 1530mm×70mm |
| | スラブ筋 | | D4@80（SD295A） |
| 鋼材係数 | | 0.09 | 0.17 |
| 柱梁曲げ耐力比 | | 2.61 | 2.26 |
| | | | 1.93 |

*1 $\lambda^3 = M_p / (M_p + M_r)$, ここで M_p : 終局曲げ強度の PC 鋼材負担分, M_r : 終局曲げ強度の普通鉄筋負担分

表2 使用鋼材の材料特性

| | 径 | 規格 | 降伏応力度 | 引張強さ | 降伏ひずみ | 弾性限界ひずみ ²⁾ |
|---------------------|------------------|--------|---------|---------|-------|-----------------------|
| 鉄筋 | D4 ¹⁾ | SD295A | 369MPa | 544MPa | 0.38% | - |
| | D13 | | 383MPa | 533MPa | 0.19% | - |
| | D16 | | 346MPa | 494MPa | 0.17% | - |
| | D22 | | 446MPa | 632MPa | 0.22% | - |
| PC 鋼材 ¹⁾ | φ17 | B種 | 1024MPa | 1133MPa | 0.71% | 0.45% |
| | φ23 | 1号 | 1016MPa | 1133MPa | 0.70% | 0.48% |

*1 鉄筋 D4 と PC 鋼材の降伏点は 0.2% オフセット法により定めた。

*2 弾性限界ひずみは 0.01% オフセット法により定めた。

とした。試験体 PCJ13 の PC 鋼材は上下共に φ17、試験体 PCJ14 では上下共に φ23 を使用し、本研究の主要変数である鋼材係数をそれぞれ 0.09 及び 0.17 と設定した。試験体 PCJ15 はスラブの付加による影響を検討するもので、その鋼材係数は 0.17 であ

る。この際、全スラブ筋の引張力を鋼材の引張力に加算して鋼材係数を算出した。また、柱梁曲げ耐力比（梁曲げ終局耐力³⁾に対する柱曲げ終局耐力⁴⁾の比）は全試験体で2程度以上となるように設定した。

2.2 実験方法

図2に加力装置を示す。梁両端はローラー支持、柱脚はピン支持とし、柱頭の加力点に鉛直・東西・南北方向のジャッキを取り付けた。柱に一定の圧縮軸力を導入後、層間変形角（R：頂部加力点の水平変位/頂部加力点から下柱支持点までの距離(2,830mm)）0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4%を2回ずつ1方向正負交番繰り返し載荷した。

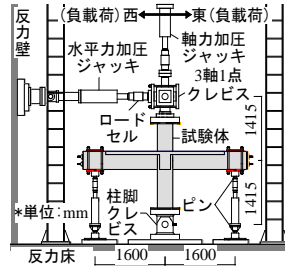


図2 加力装置 (PCJ15)

3. 実験結果

3.1 層せん断力-層間変形角関係

図3に層せん断力-層間変形角関係を示す。層せん断力は計測した梁せん断力を用いて力の釣り合いより求めた。図中の記号は凡例に示す通りであり、ここで曲げひび割れ発生及びかぶりコンクリート圧壊は目視により判断した。鋼材係数の小さい試験体PCJ13（鋼材係数0.09）では梁に曲げひび割れが発生してからPC鋼材が弾性限界に至り、最大層せん断力を迎えた後PC鋼材が降伏した。一方、相対的に鋼材係数の高い試験体PCJ14とPCJ15（鋼材係数0.17）では梁と柱に曲げひび割れが生じ、かぶりコンクリートの圧壊（R=1.5%）後にPC鋼材が弾性限界に達したが未降伏であった。鋼材係数の違いによりPC鋼材の弾性限界到達及び降伏時期、またその降伏有無に顕著な差が生じた。立体試験体PCJ15の最大層せん断力は平面試験体PCJ14の1.17倍となり、これはスラブの協力効果に起因する。試験体PCJ15のスラブ筋はR=0.5%から降伏が始まり、最大層せん断力以前に全スラブ筋が降伏した。スラブの協力効果については本稿（その2）で詳しく検討する。最大層せん断力の実験値は文献³⁾による計算値の0.91~1.06倍と

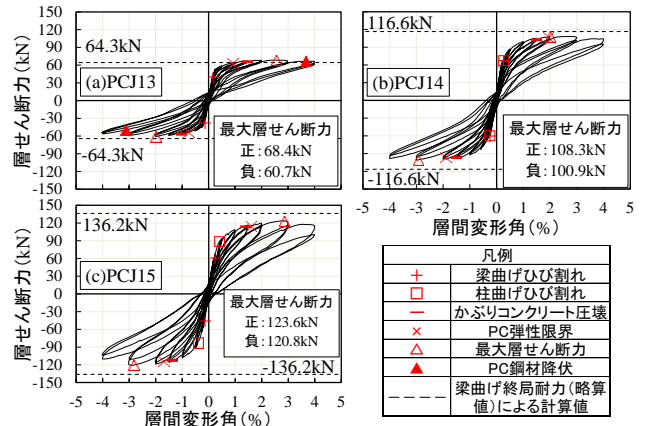


図3 層せん断力-層間変形角関係

なり、この計算値はPC鋼材降伏を仮定した略算値で、試験体PCJ13ではPC鋼材がほぼ降伏したため両者が概ね一致したが、試験体PCJ14とPCJ15ではPC鋼材が未降伏であったため実験値を過大評価した。試験体PCJ13ではPC鋼材の塑性化が進行しその残留伸び変形が比較的大きくなったが、試験体PCJ14及びPCJ15と同様に復元力特性は概ね原点指向型を示した。

3.2 破壊性状

図4に試験体の最終的なひび割れ状況を示す。ここでハッチングはコンクリートの剥落を表す。全試験体のR=0.25%付近で梁圧着面の目開き及び梁曲げひび割れが生じ、試験体PCJ14及びPCJ15ではR=0.25~0.5%で柱に曲げひび割れが発生した。鋼材係数が小さく柱梁曲げ耐力比が最も高い試験体PCJ13の柱には曲げひび割れの発生が見られなかった。その後、全試験体で梁かぶりコンクリートの僅かな圧壊が観測され、最大層せん断力時付近では梁圧着接合面近傍のコンクリート圧壊が更に進展し、これが耐力低下の要因となった。また、試験体PCJ14及びPCJ15の梁コンクリート損傷が試験体PCJ13より激しく、これは鋼材係数の大小に起因するものと考えられる。

変形成分の検討結果、最大層せん断力時において層間変形に対する柱、梁及び柱梁接合部の変形成分は、試験体PCJ13でそれぞれ4%、95%、1%であった。試験体PCJ14では柱梁接合部の損傷が見られたが、それぞれの比率は15%、75%、10%、試験体PCJ15では20%、75%、5%となり、全試験体で梁の変形成分が最も卓越した。前述した鋼材降伏状況、破壊性状及び変形成分から全試験体の破壊モードは梁曲げ破壊と判断した。

4. まとめ

本稿では本研究における実験概要及び結果について報告した。そのまとめは本稿（その2）に併せて示す。

[謝辞] 本稿（その2）にまとめて示す。
 [参考文献] 1) 六車照, 渡辺史夫, 西山峰広, 中嶋浩一: アンボンドPC梁の履歴復元力特性に関する研究 (その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.17-20, 1986.8 2) 松茂良諒, 越川武晃, 山下仁: 断面解析モデルを用いたアンボンドPCaPC部材の耐力評価に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会, 第20回シンポジウム論文集, pp.103-106, 2011.10 3) 日本建築学会: プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針 (案)・同解説, 2015 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010

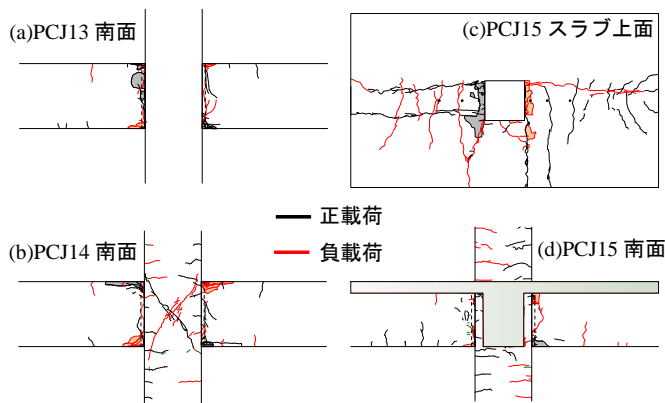


図4 ひび割れ状況

*1 大成建設株式会社 (元首都大学東京 学生)
 *2 首都大学東京大学院 博士前期課程
 *3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 特任助教 博士(工学)
 *4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博

*1 Taisei Corporation
 *2 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ.
 *3 Research Assistant Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *4 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.