

水平正負交番荷重を受ける PCaPC 柱の耐震性状に関する解析的検討

神戸大学

学生会員 ○服部滉也

神戸大学

正会員

三木朋広

明石工業高等専門学校 正会員

生田麻実

1. 研究背景と目的

PCaPC 橋脚の設計提案に向けた検討として、既往の研究¹⁾では、正負交番荷重を受ける PCaPC 柱を対象として、柱基部での接合部の有無、接合部での軸方向鉄筋の連続性、断面内での PC 鋼材配置等の構造条件により耐力や吸収エネルギー等の耐荷性状が変化することを明らかにしている。本研究では、接合部の条件が異なる供試体の挙動を定量的に把握することを目指し、PCaPC 柱を対象とした非線形解析を行い、PCaPC 柱基部における接合部の挙動に関する解析手法の検証を行った。

2. 解析概要

解析対象は、既往研究における PCaPC 柱供試体¹⁾とした。表 1 に解析対象の供試体条件を示す。解析モデルを図 1 に示す。コンクリートは 8 節点ソリッド要素を用い、鉄筋ならびに PC 鋼材は埋込み鉄筋要素を用いた。接合部を有する供試体では、柱基部から 50 mm 上方位置における接合面に面インターフェイス要素を用いた。ここで、面インターフェイス要素の非線形特性のパラメータは、既往研究¹⁾の供試体を対象とした感度解析により決定した。実験結果とのフィティングから、面インターフェイス要素の法線剛性 50000N/mm^3 、せん断剛性 0.01N/mm^3 、剛性低減開始時の相対開口変位 $1.0 \times 10^{-5}\text{mm}$ 、面インターフェイス要素を貫通する埋込み鉄筋の軸剛性 500N/mm^3 をそれぞれ設定し、本解析で用いた。荷重ステップでは、最初にプレストレス力として PC 鋼材 1 本あたり 64kN を導入し、その後、柱基部から 750mm 上方の位置に水平荷重を載荷した。繰り返し計算手法には Newton-Raphson 法を用いた。

表 1 解析対象の供試体条件¹⁾

供試体	基部+50mm 高さでのコンクリートの状態	基部+50mm 高さでの軸方向鉄筋条件	PC 鋼材の配置
M-C-S4	一体打ち	連続	4×SWPR7Bφ15.2
J-C-S4	接合部有	連続	4×SWPR7Bφ15.2
J-DC-S4	接合部有	不連続	4×SWPR7Bφ15.2

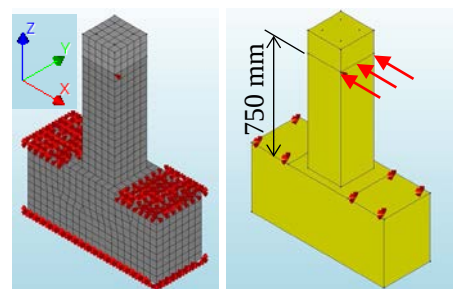


図 1 解析モデル

3. PCaPC 柱基部における接合部の挙動に関する解析手法の検証

解析と実験の荷重－変位関係を図 2 に示す。実験では、一体打ち供試体 M-C-S4 は最大荷重 134kN 、接合部のある J-C-S4 は約 120kN を示し、いずれも部材角約 8rad (水平変位 60mm)時に最大荷重を示した。一方、J-DC-S4 では、部材角 8rad まで各サイクルの荷重最大点が低下せず、緩やかに荷重が増加し続けた。解析では、J-C-S4 と J-DC-S4 の実験値と比較して、解析値のほうが最大荷重は若干大きい、残留変位、初期剛性の履歴がおおよそ一致していることから、接合面におけるモデル化は概ね妥当であったものと推測できる。

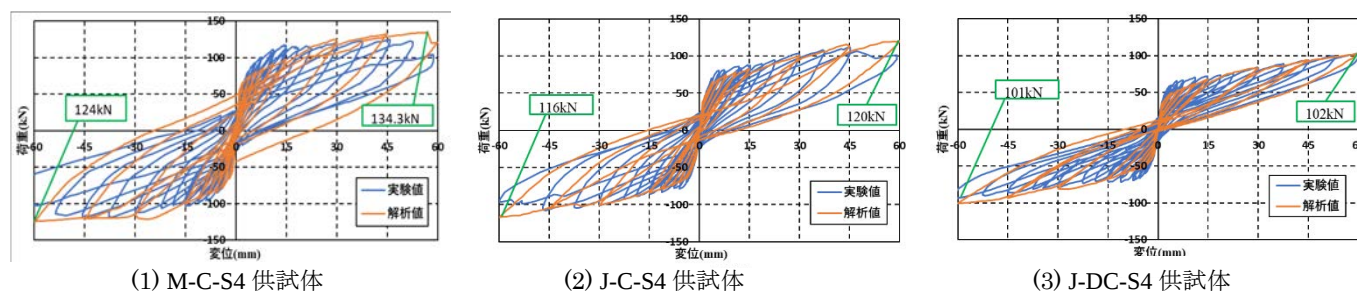


図 2 実験ならびに解析による荷重－変位関係

キーワード プレキャスト、プレストレストコンクリート柱、接合部、耐震性状、非線形解析

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL 078-803-6094

残留変位は、各部材角の1サイクル後に載荷荷重を0 kNまで除荷した際の載荷点高さにおける水平変位と定義した¹⁾。経験最大部材角の増加に伴い残留変位も増加しており、実験結果と比較して、J-C-S4, J-C-S5は部材角6%rad(水平変位45mm)までほぼ同じように増加していることがわかった。M-C-S4, J-C-S4はJ-DC-S4と比較して比較して残留変位が大きく、降伏後の軸方向鉄筋の引張塑性変形により、導入プレストレスによる復元性・原点指向性の作用が阻害されている挙動が解析によって再現できていることがわかる。

4. 非線形解析によるPCaPC柱の耐震性評価

4.1 コンクリートのひずみ分布

各供試体の部材角0.25, 2, 4%での引張側のコンクリートの最大主ひずみ分布を図3に示す。表2に各供試体のコンクリートの最大圧縮ひずみを示す。各供試体では部材角1%まではひずみが分散しているものの、1%以降、一体打ち供試体のM-C-S4は柱基部の1列の要素にひずみが集中し、接合部のある供試体J-C-S4, J-DC-S4は接合部にひずみが集中した。部材角4%で供試体J-C-S4, J-DC-S4を比較すると、J-DC-S4の最大圧縮ひずみが多いことがわかる。これは鉄筋が不連続であるため、鉄筋が圧縮力を負担できないため鉄筋が連続しているJ-C-S4に比べ大きくなったものだと考える。また、M-C-S4は、J-C-S4, J-DC-S4に比べて部材角4%では最大圧縮ひずみが多い値となった。これは、J-C-S4, J-DC-S4は接合部でずれが発生し、荷重が分散するため、M-C-S4に比べひずみが小さくなったと考える。

4.2 接合部の開口挙動

接合部のある供試体J-C-S4, J-DC-S4は柱基部から50mm上部に面インターフェイス要素を設けた。解析では、柱が水平荷重を受けると面インターフェイス要素がZ軸方向に開口挙動を示す。接合部のある供試体は変形が接合部に集中していることから、面インターフェイス要素のZ軸の相対変位を接合部のひび割れ幅として扱うことにした。図4に実験と解析におけるJ-C-S4, J-DC-S4の各部材角時の接合部ひび割れ幅を示す。実験では接合部の水平方向に供試体縁から30mm内側で接合部ひび割れ幅を計測した。実験値、解析値共に各供試体、部材角が大きくなるにつれ、ひび割れ幅も大きくなった。実験では、部材角1.5%以降のひび割れ幅は計測されていないが、初期の挙動を比較した結果、接合部のひび割れ幅は一致し、実験での接合部の挙動を再現できている。つまり、面インターフェイス要素のZ軸の相対開口変位を接合部のひび割れ幅として扱うことができる可能性が示唆された。

図3 コンクリートの最大主ひずみ分布

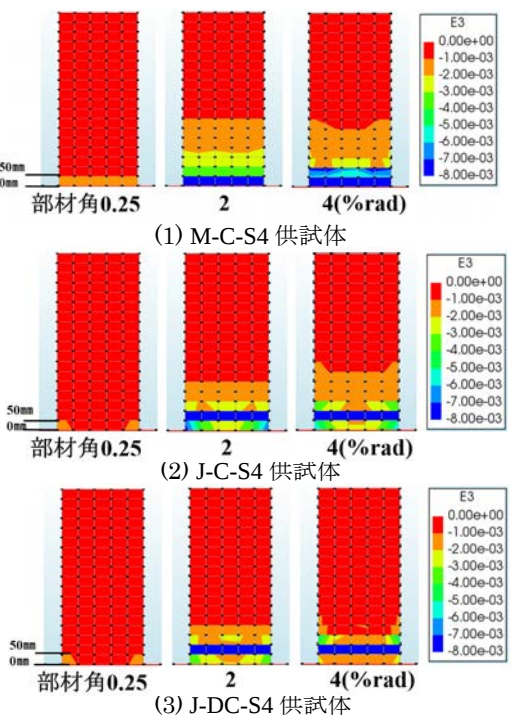


表2 各部材角時の最大圧縮ひずみ

供試体	最大圧縮ひずみ	
	2%rad	4%rad
M-C-S4	-1.31E-02	-5.39E-02
J-C-S4	-1.33E-02	-4.02E-02
J-DC-S4	-1.55E-02	-4.61E-02

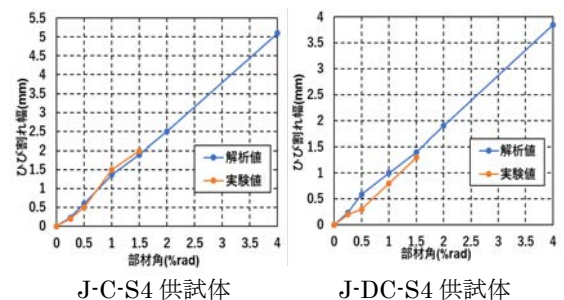


図4 接合部ひび割れ幅(実験, 解析)

5. まとめ

3種類のPCaPC柱を対象に3次元非線形解析を実施し、接合部条件が異なるPCaPC柱の荷重-変位関係、残留変位、コンクリート最大主ひずみ分布や接合部の開口挙動を把握した。接合部には、面インターフェイス要素を導入して実験結果を再現した。また、接合部のある供試体J-C-S4, J-DC-S4は接合部にひずみが集中し、面インターフェイス要素の相対開口変位を接合部のひび割れ幅として扱うことができる可能性を示した。

参考文献

- 1) 生田麻実, 三木朋広: 正負交番荷重を受けるプレキャストプレストレストコンクリート柱の接合部条件が耐震性状に与える影響に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.433-438, 2020