

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420547

研究課題名(和文) 接合部降伏するPRC造およびPC造柱梁接合部の履歴性状

研究課題名(英文) Hysteresis characteristics for joint hinging of PC and PRC beam-column Joint

研究代表者

楠原 文雄 (Kusuahara, Fumio)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50361522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：PC鋼材の定着位置を柱梁接合部コア内外としたPC外部柱梁接合部部分架構試験体2体の水平加力実験により、柱と梁の断面が同一であってもPC鋼棒定着位置が破壊性状に影響を及ぼし、外定着の場合には梁曲げ破壊、内定着の場合には柱梁接合部の破壊となること、柱梁接合部で破壊した内定着の試験体では外定着とした試験体に対して最大耐力が小さくなることが明らかになった。
また、梁の初期プレストレスを軸力として評価し、そこからの鋼材の応力の増分をRC造における鉄筋の応力と同様に扱うことで、RC造柱梁接合部の復元力特性上の特定点の強度算定法をPC柱梁接合部にも適用可能であった。

研究成果の概要(英文)：This research indicates that joint hinging mechanism forms when the column-to-beam strength ratio is equal or near one not only for RC exterior beam-column joint but also for prestressed concrete (PC) joints. Development length of PC tendons effects on ultimate strength and failure mode of beam-column joints. The theory and calculation method for hysteresis characteristics of moment-rotation relationship on RC exterior beam-column joints are applicable for PC beam-column joints. In the application of the method, the stresses in the PC bars should be treated as axial force on the section.

研究分野：建築学，建築構造・材料

キーワード：プレストレストコンクリート 柱梁強度比 接合部降伏 復元力特性 外部柱梁接合部 定着位置

1. 研究開始当初の背景

近年、コンクリート系構造物においても損傷制御性や限界状態に基づく性能評価型の耐震設計がすすめられている。柱や梁にプレストレスを導入したプレレストコンクリート(PC)構造やプレレスト鉄筋コンクリート(PRC)構造は、そのプレレスト力により地震による変形の後もひび割れを抑制することが可能で、損傷制御という観点からは優れた構造形式といえ、今後のより一層の普及が望まれる。

しかしながら近年発展してきた構造形式でもあり、その地震時の挙動については実験による研究成果の蓄積は必ずしも十分ではなく、耐震設計の手法も膨大な研究成果がある鉄筋コンクリート(RC)造のものを準用している場合も多い。

柱梁接合部についても、PRC造あるいはPC造ではRC造の設計法を準用し接合部せん断力に基づく設計が行われている。しかし、鉄筋コンクリート(RC)造の柱梁接合部では、研究代表者らが行った柱梁接合部部分架構の加力実験により、柱梁接合部に生じる接合部せん断力が従来用いられてきた設計法で規定されるせん断強度以下であっても、柱と梁の曲げ強度の比(柱梁曲げ強度比)が1に近く2程度以下の場合には柱梁接合部内で主筋が降伏し、柱梁接合部に損傷と変形が集中する接合部降伏とも呼ぶべき破壊現象が生じ、特に柱梁曲げ強度比が1.5程度以下では架構の最大耐力は梁の曲げ強度に達しないこと、このような場合には梁主筋の付着条件によらずスリップ形のエネルギー吸収能に乏しい履歴性状となることが明らかになっている。そして、PC造、PRC造においても同様に柱と梁の曲げ強度が等しい場合に同様に柱梁接合部の変形が大きくなる破壊(接合部降伏)が生じることが実験により確認されている。

この接合部降伏を避けるには柱の曲げ強度を梁の強度に対して2倍以上とするなど十分に強くすればよいが、実務においては必ずしも現実的ではない。そのため、この接合部降伏が生じた場合の構造性能を評価に組み込み、架構の性能を評価する設計法が必要である。

性能評価型の耐震設計では地震時の架構の応答変形を陽に算出する必要があるが、そのために必要な構造特性の1つとして架構の減衰性がある。一般的にPC造やPRC造はRC造に比べると大変形後も残留変形が小さく履歴吸収エネルギーが小さいといった特徴がある。PRC造架構の等価粘性減衰定数は主として曲げ部材の曲げ強度に及ぼすPC鋼材の寄与率と鋼材の付着性状の影響を受けるとされている。しかし、既往の柱梁接合部を含む部分架構の実験のほとんどは柱が過度に曲げ補強された試験体であり、実際に設計されるような架構における設計因子が等価粘性減衰定数に与える影響は明らかでは

なく、接合部降伏が生じる場合についても不明である。実際、研究代表者が行ったPRC造の実験では同一の梁断面であっても柱の曲げ強度が大きいほど十字形部分架構の最大強度は大きく、等価粘性減衰定数も大きかった。

2. 研究の目的

本研究では、PRC造およびPC造の柱梁接合部について、柱の曲げ強度が過度に大きくなく接合部降伏が生じるような場合について、部分架構の履歴特性に与える柱と梁の曲げ強度の比などの設計因子が与える影響を実験により明らかにすることを主な目的とする。

また、PC造ではRC造に比べてPC鋼材の配置やその付着特性、プレストレス量などより複雑となっており、これらすべての影響を実験式として定量化しようとする膨大な数の実験が必要となってしまう。そのため、理論的に部分架構の履歴特性、すなわち等価粘性減衰定数や折れ線で履歴曲線をモデル化する際の特性点等を推定する手法が必要となる。本研究ではこの手法の検討も行う。研究代表者らはRC造の柱梁接合部内の鉄筋の伸びと接合部変形の適合条件を用いることにより接合部の降伏変形を推定するモデルを考案しており、これを繰返し載荷時の各特性点の変形と応力の推定が可能なように拡張することで、理論的な推定手法の構築を試みる。

3. 研究の方法

(1) ト形部分架構の水平加力実験

本研究では、まずプレレスト鉄筋コンクリート(PRC)造柱梁接合部部分架構の加力実験により、鉄筋コンクリート(RC)造外部柱梁接合部において影響が大きいことが明らかになっている鋼材の定着位置の影響を実験により明らかにする。

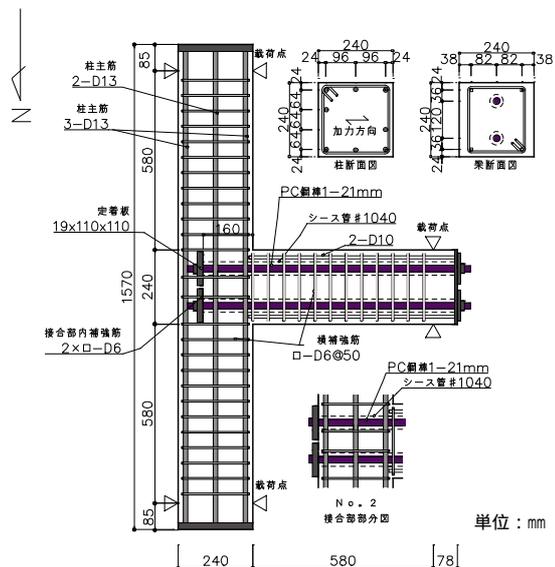


図1 試験体の形状・配筋

試験体は PC 鋼材の定着位置を柱梁接合部パネル内と外で変えた 2 体とした。試験体は実大の 1/3 スケールとし、形状および配筋は図 1 に示す通りである。またこれらの試験体と同一の梁断面とした梁試験体の実験を行い、梁が本来保有する性能を確認した。

試験体の加力は変形制御の正負交番繰返し載荷とし、層間変形角 4% 程度まで行った。

(2) RC 造柱梁接合部の力学モデルの拡張

RC 造柱梁接合部の力学モデルを PC 造に適用できるように拡張し、柱梁接合部の復元力特性（柱梁接合部に作用するモーメントと変形の関係）の定式化を行った。

4. 研究成果

(1) 柱梁強度比が 1 に近い PC 外部柱梁接合部の荷重変形関係と破壊モードについて

PC 造外部柱梁接合部部分架構試験体を用いて実験を行い以下の知見を得た。部分架構の荷重変形関係と最終破壊状況を図 2 および図 3 の通りである。

柱と梁の断面が同じでも、PC 鋼棒定着位置が柱梁接合部内か外かにより架構の最大耐力に違いがみられ、外定着した試験体に対して内定着した試験体の最大層せん断力は 91% となった。

柱梁強度比が 1.54 の PC 鋼棒定着位置は破壊性状に影響し、外定着試験体では梁破壊となり、接合部のひび割れは進展しなかったが、内定着試験体では、加力振幅が小さい範囲では外定着試験体と同様に梁端部のひび割れが開き、加力振幅が大きくなるにつれ柱梁接合部のひび割れが大きくなり、コンクリートに損傷が集中して最終的には接合部破壊となった。

接合部降伏破壊した内定着試験体は履歴面積が大きくなった。

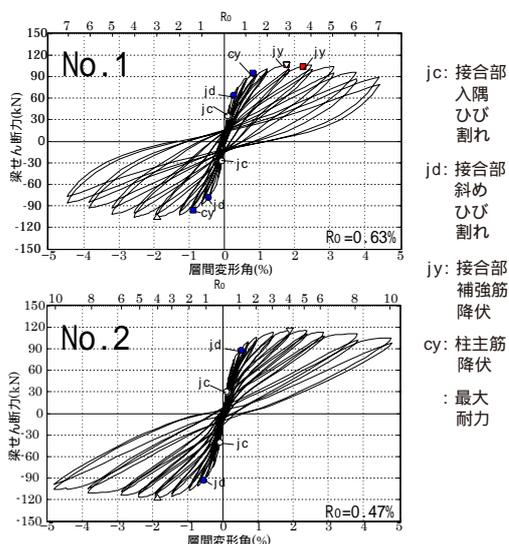
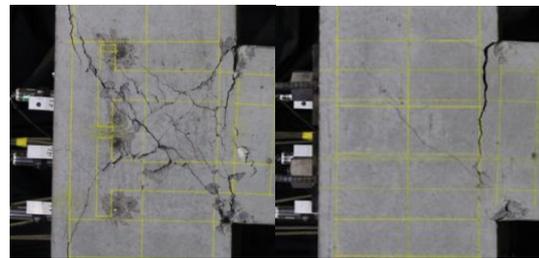


図 2 試験体の荷重と変形の関係

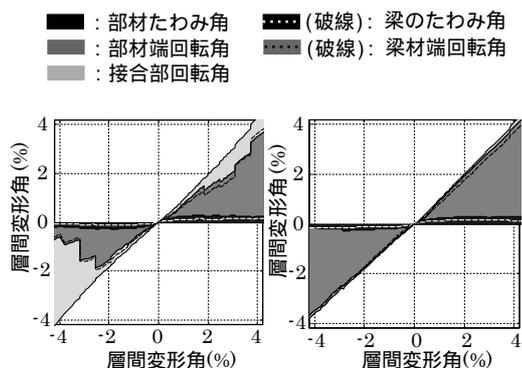


(a)No.1(内定着) (b)No.2(外定着)

図 3 試験体の破壊状況

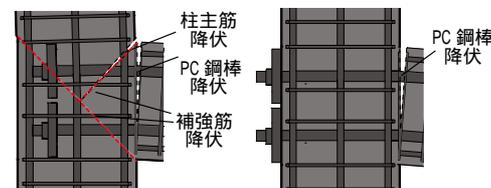
(2) 試験体の変形成分と破壊機構

図 4 は本研究の実験における試験体の各部の変形の割合を示したものである。また、図 5 は実験時に測定した柱梁接合部の変形から同定した破壊機構である。内定着の No.1 は梁側柱主筋、接合部内横補強筋が降伏する事で接合部が梁側パネル、上柱側パネル、下柱と柱背面側パネルの 3 つに分かれ、破壊が進行した。柱と梁が開く側の接合部入隅部から対角方向に伸展したひび割れ位置で柱主筋が降伏した事で、上柱側パネルと梁端の回転変形が増大した。一方、外定着の No.2 試験体では梁側柱主筋が降伏せず、梁の引張側 PC 鋼棒が降伏して梁端部の回転変形が増大する破壊機構となった。



(a)No.1(内定着) (b)No.2(外定着)

図 4 試験体の変形成分



(a)No.1(内定着) (b)No.2(外定着)

図 5 試験体の破壊機構

(3) 残留変形について

接合部破壊となった内定着試験体では除荷時の残留変形が梁破壊となった外定着試験体より大きく、変形成分別では梁端部の回転変形、もしくは柱側の接合部の回転変形に

よる残留変形が大きい。

(4) 履歴吸収エネルギーについて

梁破壊となった外定着試験体では荷重振幅を大きくしても等価粘性減衰定数はあまり増加しないが、接合部破壊となった内定着試験体では、接合部変形成分が増大するようになると履歴形状が紡錘型となり履歴吸収エネルギーが大きく増加した。接合部破壊によりコンクリートの圧壊が進行したためと考えられる。

(5) 実験値と計算値の比較について

実験における最大耐力と、設計規準に基づく梁曲げ強度時の計算値および RC 造柱梁接合部の終局モーメント算定法を拡張して計算した接合部強度時の計算値（精算値）を比較したものが表 1 である。

RC 造の接合部終局モーメントの算定法は PC 柱梁接合部にも適用可能であった。

表 1 終局時の節点モーメントの比較

	No.1		No.2	
	正	負	正	負
梁曲げ強度時計算値(A) [kNm]	80.6			
柱曲げ強度時計算値(B) [kNm]	124.6			
接合部終局時計算値(C) [kNm]	73.6		87.3	
実験値 [kNm]	74.8	-74.2	80.9	-82.3
実験値/計算値(min(A,B))	0.93	0.92	1.00	1.02
実験値/計算値(C)	1.02	1.01	0.93	0.94

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

古川直矢, 楠原 文雄, 塩原 等: 柱梁強度比が小さい PC 外部柱梁接合部に及ぼす PC 鋼材定着位置の影響に関する実験, コンクリート工学年次論文集(査読有), Vol. 38, No. 2, pp. 505-510, 2016 年

〔学会発表〕(計 1 件)

古川直矢, 楠原 文雄, 塩原 等: PC 鋼材定着位置が異なる柱梁強度比の小さい PC 外部柱梁接合部に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演会, 2016 年 8 月 24 日~26 日, 福岡県, 福岡大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

楠原 文雄 (KUSUHARA, Fumio)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50361522