

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760445

研究課題名(和文)プレストレスト鉄筋コンクリート造柱梁接合部の損傷評価モデルの構築

研究課題名(英文)Development of analytical model for damage evaluation of prestressed reinforced concrete beam-column joints

研究代表者

楠原 文雄(Kusuhara, Fumio)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50361522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：プレストレストコンクリート(PC)造及びプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)造においても、柱梁曲げ強度比が1.0の場合には鉄筋コンクリート(RC)造の場合と同様に接合部に損傷が生じ、また、RC造と同様に柱と梁の曲げ強度の比を大きくすることで接合部の強度が増すことが明らかになった。PC鋼材の断面内の位置および付着の有無が部分架構の最大耐力におよぼす影響は小さかった。PRCおよびPC造に対しても、PC鋼材の引張力は等価な軸力として扱えば柱と梁の曲げ強度の比を考慮できるRC造の接合部の曲げ終局強度計算法が適用可能で、プレストレスト率の影響などは定性的には評価できることが確認された。

研究成果の概要(英文)：This research indicates that joint failure occurs when the column-to-beam strength ratio is equal or near one even in prestressed concrete (PC) structures and prestressed reinforced concrete (PRC) structures. Increasing column-to-beam strength ratio makes the moment capacity of the joint larger. The effects of locations of PC bars and bond between PC bars and concrete on ultimate strength and failure mode are not large. The theory and calculation method for moment capacity of reinforced concrete beam-column joints are applicable for PC and PRC beam-column joints. In the application of the method, the stresses in the PC bars can be treated as axial force in the sections. The calculated results agreed with the test results and the method was able to describe the effect of design parameters such as the prestressed ratio.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：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 プレストレスト鉄筋コンクリート 柱梁接合部 終局強度 破壊モード  
柱梁強度比

### 1. 研究開始当初の背景

柱や梁にプレストレスを導入したプレストレストコンクリート (PC) 構造やプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 構造は損傷制御性に優れた構造形式であるが、耐震設計の手法は膨大な研究成果がある鉄筋コンクリート (RC) 造のものを拡張あるいは準用している場合が多く、柱梁接合部の設計も同様に RC 造の実験式を準用している。

しかし、RC 造の柱梁接合部では柱梁接合部に生じる接合部せん断力が現在の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、柱梁接合部に損傷が集中し、柱梁接合部の変形が増大し、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。つまり、現在の接合部せん断力に基づく設計法だけでは不十分、もしくは接合部せん断力に基づく設計法のコンセプトそのものが不適切ということであり、PRC 造柱梁接合部の場合にも同様の破壊が生じることは強く推察され、現状の RC 造柱梁接合部の設計法を準用する手法では不十分といえる。

RC 造については、このような柱梁接合部の破壊に適用できるような柱梁接合部の曲げ抵抗機構のモデルに基づく終局強度算定式も提案されており、PRC 造、PC 造においても同様の推定法が必要である。また、PRC 造、PC 造においても柱梁強度比が実用的な 1.5 程度までの範囲の既往の実験例はほとんどなく、柱梁曲げ強度比が PRC 造柱梁接合部に与える影響および現実的な柱梁曲げ強度比の範囲における他の設計因子の影響についての実験に基づく知見は極めて少ない。

### 2. 研究の目的

本研究では、PRC 造柱梁接合部について、RC 造柱梁接合部においては確認されている柱梁強度比が柱梁接合部の耐震性能に及ぼす影響を実験的に明らかにし、さらに現実的な柱梁強度比の範囲における他の設計因子の影響を実験により把握すること、および理論モデルの検証に必要な詳細な実験データを得ることを 1 つ目の目的とする。

そして、実験結果の整理による実験式ではなく、接合部せん断力の概念とも異なる理論的なモデルに基づき、さまざまな設計因子の影響を定量的に評価することが可能で、降伏時変形などの推定も可能な PRC 造柱梁接合部の強度および損傷評価のモデルを構築することを最終的な目的とする。ここで基礎となる理論モデルは、RC 造柱梁接合部の曲げ抵抗機構をモデル化した力学モデルを拡張して構築するものとし、主筋の降伏時の変形、耐力が著しく低下する限界変形等の推定も

目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 十字形部分架構の水平加力実験

本研究では、まずプレスト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柱梁曲げ強度比の影響、および柱梁曲げ強度比が現実的な範囲にある場合の他の設計因子の効果を実験的に明らかにする。

試験体は図 1 に示す 6 体とし、実験における変動因子は柱梁曲げ強度比、プレストレス率 (梁曲げ強度に占める PC 鋼材の寄与率)、PC 鋼材の付着の有無、PC 鋼材の配置、柱の構造形式とした。試験体は図 2 に示すような十字形柱梁接合部部分架構で、実大の 1/3 程度のスケールとした。

試験体の加力は変形制御で正負交番繰り返し载荷により層間変形角 5% まで行った。その際、柱に軸力は加えなかった。

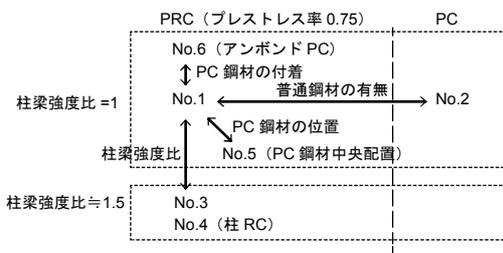


図 1 試験体の概要

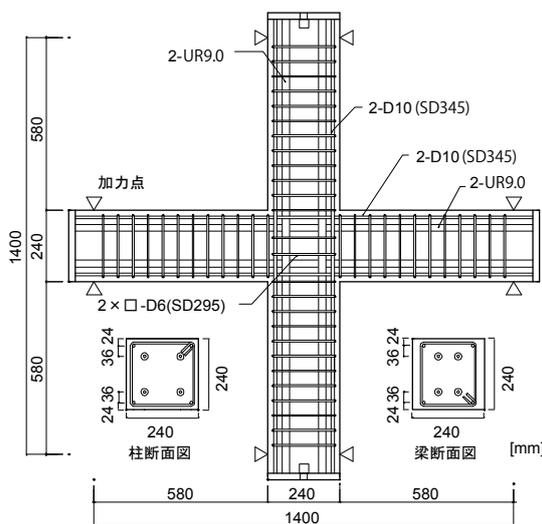


図 2 試験体の形状・配筋 (No. 1)

#### (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 PRC 造に適用できるように拡張し、柱梁接合部の損傷評価に必要な諸量についての理論モデルを構築し、力の釣り合いに基づく終局強度の定式化を行った。

#### 4. 研究成果

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

本研究における水平加力実験で得られた層せん断力と層間変形角の関係が図3である。これらから、以下の知見が得られた。

① 柱梁強度比が1.0の PRC 造および PC 造の柱梁接合部では接合部破壊(写真1)が生じ、同断面・同配筋で梁曲げ破壊となった試験体に比べて最大耐力が小さかった。

② 柱梁強度比を1.5程度とした試験体では梁端のひび割れが拡大する梁曲げ破壊となった。また、これらの試験体では梁端部で PC 鋼棒の破断が生じた。

③ PC 鋼棒の位置による破壊性状、層せん断力と層間変形角の履歴曲線への影響はほとんどなかった。

④ グラウトせず PC 鋼棒に付着がない試験体はあるものより最大耐力が低下し、最大耐力後の耐力低下が顕著であった。

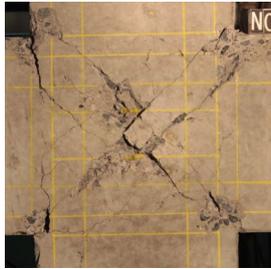


写真1 破壊性状 (No.1)

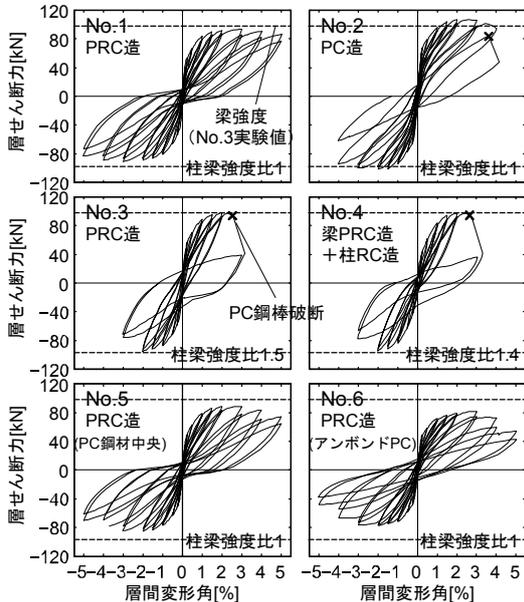


図3 荷重と変形の関係

(2) 試験体の変形成分について

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。これらから以下の知見が得られた。

① 柱梁強度比が1で接合部破壊が生じた PRC 造の試験体では、最大耐力以降は柱梁接合部

の変形のみが増大した。

② 柱梁強度比が1の PC 造試験体では、変形が小さい間は柱梁接合部の変形が占める割合は PRC 造の試験体より大きかったが、最大耐力後も接合部の変形の急激な増大は見られなかった。

③ 柱梁強度比が1.5程度で梁曲げ破壊となった PRC 造試験体では梁・柱端部の変形が大きかった。

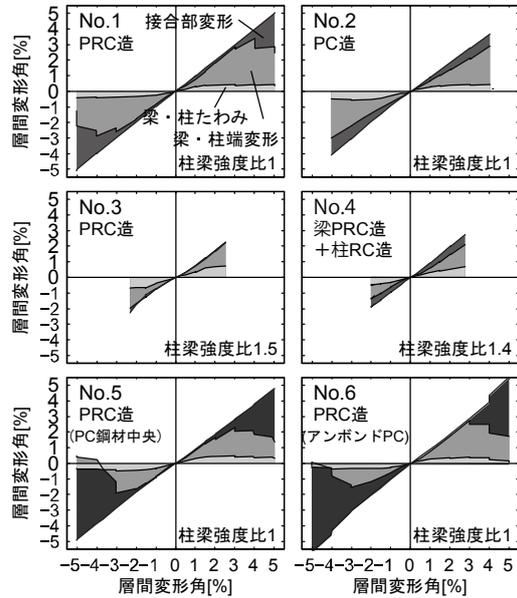


図4 変形成分

(3) 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の拡張して計算した接合部強度時の計算値を比較したものが図5である。これより以下の知見が得られた。

① 接合部破壊が生じた試験体を含め、すべての試験体で実験値は日本建築学会の設計規準による梁曲げ強度時の計算値より大きかった。

② PRC 造柱梁接合部の終局モーメントは、PC 鋼材の応力を等価な軸力とみなすことで RC 造柱梁接合部の終局モーメント算定法が適用可能であり、この算定法により柱梁強度比など設計因子の影響因子の効果も考慮することが可能であった。

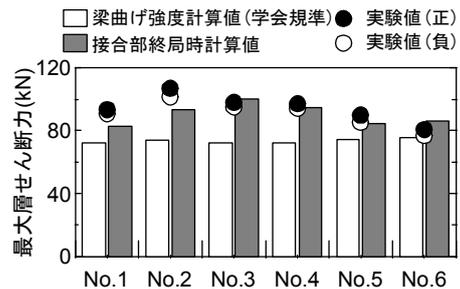


図5 実験値と計算値

#### (4) 今後の課題

本研究では、降伏時変形、限界変形等についての検討は不十分であり、今後さらに検討が必要である。また、設計においては架構の応答変形を推定するためには履歴エネルギー吸収能の評価が不可欠であり、さまざまな場合についての履歴性状の評価法の確立が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

① 沖原圭佑, 楠原文雄: 柱梁曲げ強度比が1に近いPC, PRC 柱梁十字型部分架構の実験, コンクリート工学年次論文集(査読有), Vol. 35, No. 2, pp. 451-456, 2013

〔学会発表〕(計2件)

① 周佳琦, 楠原文雄, 塩原等: 柱梁強度比が1に近いPC, PRC 造柱梁接合部の破壊モードと終局強度に関する実験(その3), 日本建築学会大会学術講演会, 2014年9月12日~9月14日, 神戸大学, 兵庫県

② 楠原文雄, 沖原圭佑: 柱梁強度比が1に近いPC, PRC 造柱梁接合部の破壊モードと終局強度に関する実験(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演会, 2013年8月30日~9月1日, 北海道大学, 北海道

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

楠原 文雄 (KUSUHARA, Fumio)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号: 50361522