

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820261

研究課題名(和文) 既存低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能評価と補修効果の検証

研究課題名(英文) Structural Performance Evaluation and Repair Effect Verification of Existing RC Beam-Column Joint with Low Strength Concrete

研究代表者

八十島 章 (YASOJIMA, AKIRA)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：80437574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既存低強度コンクリート建物の耐震性能評価手法を確立するために、実大スケールの試験体による構造実験を実施し、低強度コンクリート柱梁接合部の耐震性能および抵抗機構を検討し、エポキシ樹脂注入による補修効果を検証した。その結果、丸鋼を用いた低強度コンクリート柱梁接合部の破壊形式は、梁主筋の抜け出し後の梁端コンクリートの圧壊または接合部せん断破壊になることを示し、コンクリート強度および梁せいと柱せいの比が破壊形式を決定する主要な構造因子であることを明らかにした。エポキシ樹脂補修による耐力の上昇は確認されたが、補修による初期剛性および靱性の改善はほとんど見込めないことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, to establish seismic performance evaluation method for existing RC buildings with low strength concrete, the experimental studies by full-scale beam-column joint specimens were carried out. Based on the experimental results, the structural performance of beam-column joints with low strength concrete was investigated, and the repair effect caused by epoxy resin injection method was verified. It showed clearly that the beam-column joints with plain round bar and low strength concrete had two failure modes: beam end concrete crushing after slippage of beam main reinforcement or joint shear failure, and concrete strength and joint aspect ratio were main structure factors to decide the failure mode. Moreover, it was confirmed that injection of epoxy resin improved the maximum strength of beam-column joint.

研究分野：建築構造

キーワード：低強度コンクリート 柱梁接合部 丸鋼 多数回繰返し載荷 主筋抜け出し 腰壁 垂れ壁 エポキシ補修

1. 研究開始当初の背景

地震災害軽減に向けて既存鉄筋コンクリート建物の耐震診断・改修が進められている中で、設計基準強度を下回り、コンクリート圧縮強度が 10N/mm^2 程度の低強度コンクリートの存在が明らかになりつつある。低強度コンクリート建物の材料および構造レベルの力学的性能は十分に解明されておらず、工学的根拠のないままに解体撤去と改修継続使用の選択がなされている。今後、既存低強度コンクリート建物の耐震性能評価手法を確立し、具体的な耐震診断および耐震改修の基準や指針を作成するためには、柱・梁・耐震壁・柱梁接合部などの主要な構造部材に対して耐震性能(強度, 靱性能, 耐久性)を明らかにする必要がある。

低強度コンクリート建物の耐震補強を視野に入れた場合、柱梁接合部の耐震性能は極めて重要であり、コンクリート強度の低強度化が柱梁接合部のひび割れ損傷, 終局強度, 破壊形式, 抵抗機構に与える影響を定量的に把握し, 低強度コンクリート柱梁接合部の保有する構造性能を材料構成則および応力伝達メカニズムに基づいて評価することが極めて重要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンクリート圧縮強度 10N/mm^2 程度の既存低強度コンクリート柱梁接合部の耐震性能について、実大スケールの構造実験を行い、低強度コンクリート柱梁接合部のひび割れ性状, 終局強度, 復元力特性, 抵抗機構を解明することである。多数回繰返し荷重を受ける低強度コンクリート柱梁接合部の残存耐震性能, 損傷した低強度コンクリート柱梁接合部に対するエポキシ樹脂補修効果, 低強度コンクリート柱梁接合部における腰壁, 垂れ壁の影響についても明らかにする。さらに、既存低強度コンクリート建物の耐震診断および耐震改修の指針作成のときの基礎的資料として活用できるようにデータを整備し、継続使用可能な低強度コンクリートの適用限界を把握することである。

3. 研究の方法

本研究では、1971年以前に設計された既存低層 RC 造建物を想定し、主筋および横補強筋に丸鋼を用いた実大スケールの低強度コンクリート柱梁接合部の構造実験(図1, 写真1), 多数回繰返し荷重の低強度コンクリート圧縮試験および丸鋼の付着実験(写真2)を行い、以下の4項目について検討した。

- (1) 種々の構造因子を変動させた実大部分架構実験による低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能の評価
- (2) 多数回繰返し荷重の圧縮試験および付着試験による低強度コンクリートの構成則の検討
- (3) 損傷した低強度コンクリート柱梁接合部

に対するエポキシ樹脂注入による補修効果の実験的検証

- (4) 腰壁・垂れ壁の有無を変動させた柱梁接合部の構造実験による二次壁の耐震性能に与える影響の評価

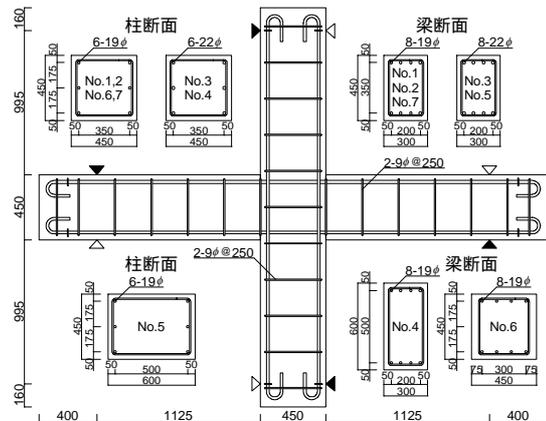


図1 低強度コンクリート柱梁接合部試験体

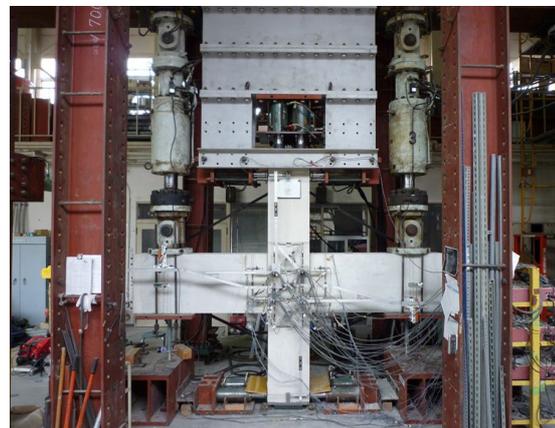


写真1 柱梁接合部の構造実験



写真2 丸鋼の付着実験

4. 研究成果

- (1) 実大部分架構実験による低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能の評価

試験体の梁の反曲点間距離を 2700mm で共通とし、梁および柱の主筋量, 加力履歴, 梁せいと柱せいの比(接合部アスペクト比), 梁幅, コンクリート強度, 軸力比, 接合部形状を実験変数とした 16 体の低強度コンクリート柱梁接合部の実験を行い、破壊性状および構造性能を検討した。実験結果より、接合部アスペクト比が 1.0 程度の小さ

い場合は梁主筋の抜け出し後の梁端コンクリートの圧壊(写真3)で最終破壊に至り、接合部アスペクト比が大きくなると接合部せん断破壊(写真4)で最終破壊に至ることを明らかにした。また、接合部のひび割れ損傷度合いに対する実験変数の比較では、梁せいおよびコンクリート強度の及ぼす影響が最も大きく、その他の構造因子による影響は小さいことを明示した。

梁端コンクリート圧壊時の最大耐力は、主筋による強度とコンクリートによる強度の累加強度式で評価でき、加力履歴、主筋量、柱せい、軸力による影響はあまり大きくないことを確認した。接合部破壊時の最大耐力は、梁せいと柱せいがほぼ同じ寸法の場合には日本建築学会の終局強度型耐震設計指針における接合部せん断強度式によって評価できることを示した。ただし、梁せいが柱せいより大きくなる場合では、既往の算定式では実験結果を過大評価することを明らかにした。

破壊過程および復元力特性については、梁端の曲げひび割れが発生するとともに、梁主筋の抜け出しが生じ、加力早期からスリップ性状が顕著であった。最大荷重後のポストピーク挙動においては、いずれの試験体も層間変形角の増大に伴って緩やかに荷重低下し、逆S字型の履歴性状が著しくなり、等価粘性減衰定数の小さい復元力特性になることを示した。さらに、柱梁接合部における多数回繰返し載荷の影響はポストピーク挙動において顕著になることを明らかにした。

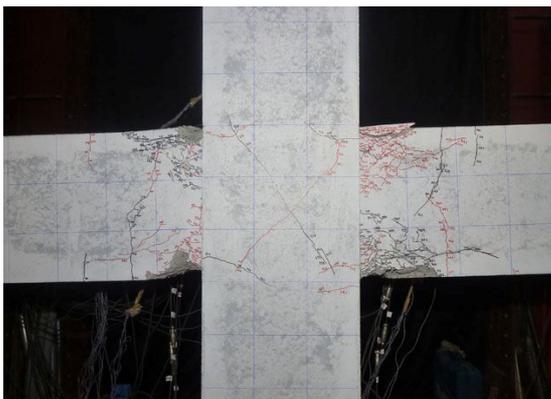


写真3 梁端コンクリート圧壊の柱梁接合部

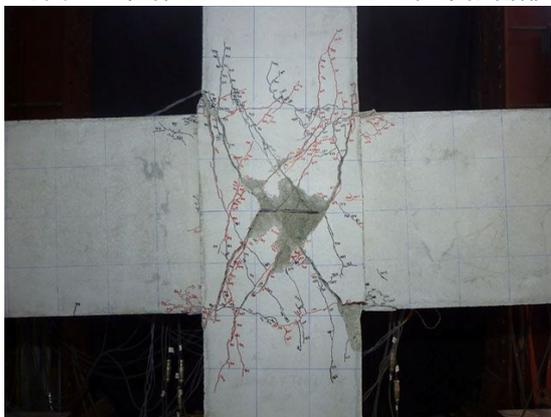


写真4 接合部せん断破壊の柱梁接合部

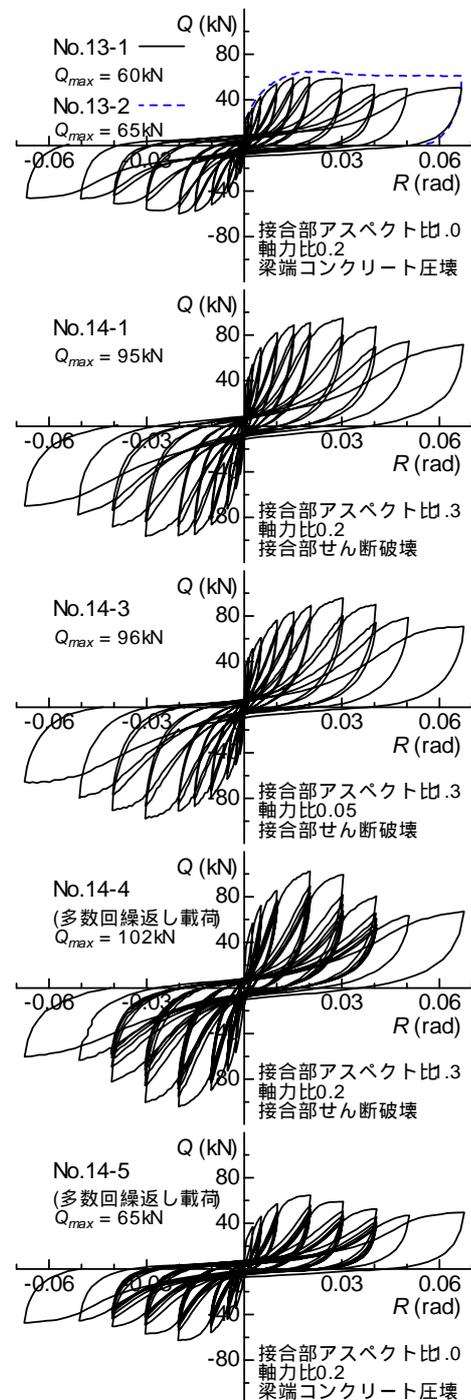


図2 柱梁接合部の実験結果

(2) 多数回繰返し載荷の圧縮試験および付着試験による低強度コンクリートの構成則の検討

低強度コンクリートの圧縮特性および付着特性における繰返し荷重の影響を明らかにするために、多数回繰返し載荷による圧縮試験(10体)および付着試験(3体)を行い、低強度コンクリートの構成則を検討した。圧縮試験および付着試験の実験結果により、多数回繰返し載荷時の応力とひずみ(すべり)の関係を把握し、定ひずみ・定すべり繰返し載荷時の上界応力の推移、漸増ひずみ繰返し載荷における残留ひずみの増加率、定荷重繰返し載荷時の上界ひずみの推移につい

て、既往の普通強度コンクリートに対するモデルと比較検討することで、低強度コンクリートにおける繰返し荷重の影響を明らかにした。

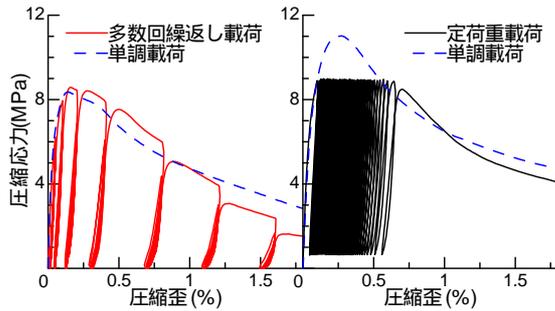


図3 圧縮試験の実験結果

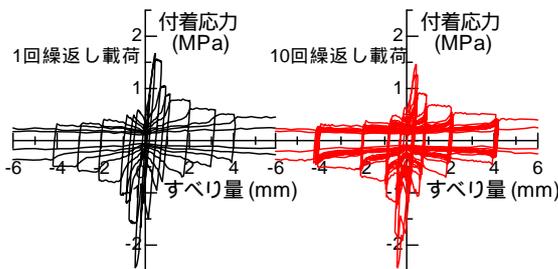


図4 付着試験の実験結果
(繰返し回数による比較)

(3) 損傷した低強度コンクリート柱梁接合部に対するエポキシ樹脂注入による補修効果の実験的検証

低強度コンクリート柱梁接合部のエポキシ樹脂補修効果を明らかにするために、梁端コンクリート圧壊で破壊した低強度コンクリート柱梁接合部に対して、ひび割れおよび主筋位置へのエポキシ樹脂注入および梁端コンクリートの断面修復を施した試験体を用いた構造実験を行い、エポキシ樹脂補修の構造性能に与える効果および応急復旧の可能性について検討した。

補修前後における初期剛性の回復率は、単調載荷後に補修した場合と正負交番載荷後に補修した場合で異なり、正負交番載荷後では剛性回復率が6割程度であった。初期剛性の回復率は、損傷箇所とその程度だけでなく損傷履歴も影響することを明示した。

補修後の最大荷重は、補修前の1.5倍に上昇したが、平面保持を仮定した梁曲げ降伏先行型の曲げ耐力に達しておらず、曲げ耐力計算値の8割弱であったことを明らかにした。補修による耐力上昇は、エポキシ樹脂注入により梁主筋の付着力が上昇し主筋の抜け出しが抑制されたことと断面修復用モルタルにより梁の曲げ圧縮耐力が増大したことによって、破壊形式が梁端コンクリートの圧壊から接合部破壊に移行したためであることが示唆された。さらに、等価粘性減衰定数は、補修前後でほぼ同じ傾向になり、エポキシ樹脂注入による靱性能の改善は見込めないことを明らかにした。

(4) 腰壁・垂れ壁の有無を変動させた柱梁接合部の構造実験による二次壁の耐震性能に与える影響の評価

腰壁・垂れ壁の有無を変動因子とした柱梁接合部の構造実験を行い、腰壁・垂れ壁を有する低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能の把握および腰壁・垂れ壁による周辺部材への相互作用や丸鋼主筋の付着劣化の影響を検討した。

実験結果により、腰壁・垂れ壁を有する柱梁接合部では接合部の変形が抑制され、壁端部の圧壊が先行して最大耐力に達するが、最終的には接合部のひび割れ損傷が拡大して接合部せん断破壊に至ることを明らかにした。歪分布の検討により、梁主筋および壁筋ともに降伏は見られず、付着劣化に伴う鉄筋の抜け出しが確認された。最大耐力については、腰壁を有する場合は約1.5倍に、腰壁・垂れ壁を有する場合は約2倍に増大し、腰壁・垂れ壁を有する試験体の最大荷重は、日本建築学会の終局強度型指針による耐震壁のせん断強度計算値と良好に対応することを示した。腰壁・垂れ壁を有する試験体では、履歴吸収エネルギーおよび等価粘性減衰定数も増大することが確認されたが、大変形時には急激に耐力低下を起こすため、腰壁・垂れ壁の耐震性能に対する効果は限定的であることを明らかにした。

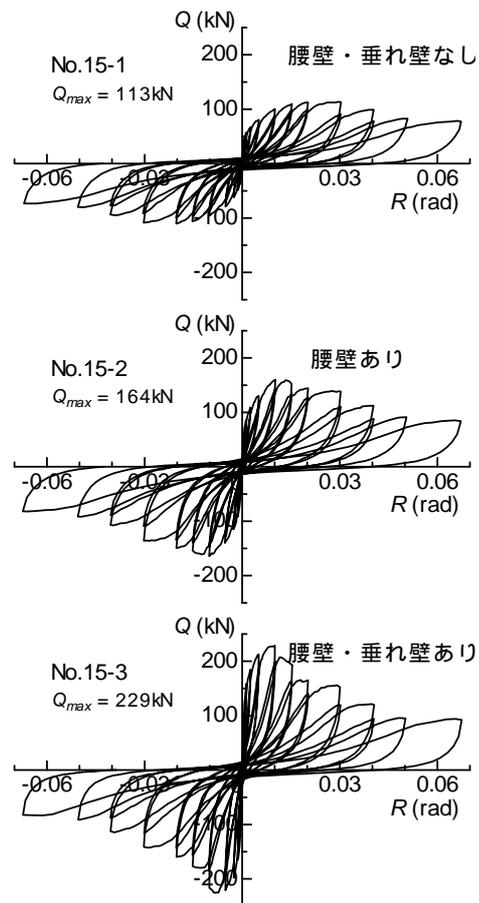


図5 腰壁・垂れ壁の有無を実験変数とした柱梁接合部の実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

五十嵐大騎, 八十島章: 低強度コンクリート柱梁接合部の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.36, No.2, 2014, pp.235-240

〔学会発表〕(計7件)

佐野達彦, 八十島章: 既存低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能における腰壁・垂れ壁の影響(その1: 十字形柱梁接合部), 日本建築学会大会, 2016.8.24, 福岡大学(福岡県福岡市)

八十島章, 佐野達彦: 既存低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能における腰壁・垂れ壁の影響(その2: ト形柱梁接合部), 日本建築学会大会, 2016.8.24, 福岡大学(福岡県福岡市)

八十島章: 低強度コンクリート柱梁接合部のエポキシ樹脂補修効果, 日本建築学会大会, 2015.9.4, 東海大学(神奈川県平塚市)

八十島章: 既存低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能評価に関する研究, 日本建築学会大会, 2014.9.12, 神戸大学(兵庫県神戸市)

五十嵐大騎, 八十島章, 荒木秀夫: 低強度コンクリート柱梁接合部のせん断耐力に関する実験的研究, 日本建築学会大会, 2014.9.12, 神戸大学(兵庫県神戸市)

八十島章, 五十嵐大騎, 金久保利之: 低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能に関する研究(その1 十字形接合部の実験概要), 日本建築学会大会, 2013.8.30, 北海道大学(北海道札幌市)

五十嵐大騎, 八十島章, 金久保利之: 低強度コンクリート柱梁接合部の構造性能に関する研究(その2 十字形接合部の実験結果), 日本建築学会大会, 2013.8.30, 北海道大学(北海道札幌市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

八十島 章 (YASOJIMA AKIRA)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号: 80437574