

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420579

研究課題名(和文)被災したコンクリート系構造物の補修後性能に関する研究

研究課題名(英文) Research on Structural Performance of Damaged Concrete Structure after Retrofitting

研究代表者

藤永 隆 (FUJINAGA, Takashi)

神戸大学・都市安全研究センター・准教授

研究者番号：10304130

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)：載荷履歴を受けた内蔵鉄骨がボルト接合で組み立てられた非充腹格子型SRC柱の補修後性能を、軸力比・せん断スパン比・一次載荷時の最大変位量を変数にとった実験と、一次載荷時のひずみ履歴の影響を考慮した数値解析で検討した。補修は軽量ポリマーセメントモルタルによる断面成形とひび割れへのエポキシ樹脂注入による。ひび割れ幅と経験部材角との関係の評価するため、ひび割れ幅の計測を行っており、地震後にひび割れ幅から被災度を判定する基礎資料となる。実験結果を検討し、剛性低下と変形性能の向上の原因を検討した。数値解析の結果は実験挙動を比較的良好に予想しており、補修後SRC柱の挙動解析方法の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：The structural performance of damaged open-web type of SRC beam-columns with bolt-connected batten steel plates after retrofitting was experimentally investigated. The experimental parameters are axial load ratio, shear span ratio, and the maximum tip displacement of the columns during the initial loading. First, each column was cyclically loaded to the targeted displacement. Subsequently, the test columns were retrofitted and reloaded. The damaged portions of each column were retrofitted with the polymer cement mortar, and the epoxy resin was injected into the cracks. The crack width was measured to assess the relation of crack width and the experienced drift ratio. These are valuable to predict the degree of damage from the crack width after an earthquake. Numerical analyses were also conducted to explain the retrofitted column behavior. The effect of strain hysteresis of concrete at first loading was considered for the behavior at second loading.

研究分野：工学，建築構造

キーワード：非充腹型SRC 格子型 ひび割れ 補修 エポキシ樹脂

1. 研究開始当初の背景

1995年の兵庫県南部地震では、土木構造物はその性質上、補修・補強による早期の復旧が多く選択されたが、建築物に関しては復旧過程で解体・新築されたものも多く、これは補修・補強による耐震性能回復に関する資料が少なく、定量的な性能の回復が評価できなかったことが一因にあげられる。

2008～2010年の若手研究(B) (課題番号：20760375)において、今後大規模地震が発生した際に損傷を受け、補修対象となるであろう非充腹形の鉄骨鉄筋コンクリート(以下SRC)柱(格子型/ラチス型)とRC柱の補修後性能の検討を行った。検討した非充腹型SRC柱の内蔵鉄骨は溶接接合で組み立てたものであった。しかし、非充腹型の内蔵鉄骨はリベットやボルト接合で組み立てられたものが多く、本研究では内蔵鉄骨が高力ボルトで組み立てられたものを対象とした。

2. 研究の目的

本研究では、補修による耐震性能の回復に関する基礎資料を得ることを目的として、載荷履歴を受けた非充腹型SRC部材が、補修後にどのような構造性能を示すか明らかにする。なお、地震時に被災程度が大きいものを対象とするため、非充腹格子型SRC柱を検討対象とし、内蔵鉄骨は高力ボルトによる組み立てとした。様々な損傷状況における補修後の性能を調べるために、損傷レベルを複数設定し、それぞれの損傷レベルの変位振幅までの繰り返し載荷(一次載荷)を行った。その後、それぞれの損傷状態に合わせた補修を行い、再度大変形域までの繰り返し載荷実験(二次載荷)を行い、その補修後性能に関して検討する。また、地震後の被災度判定の際の資料にするため、各変位振幅ピーク時および除荷時のひび割れ幅を計測し、ひび割れ幅と経験最大変位振幅との関係を検討する。加えて、実験挙動を追跡するために、一次載荷時のひずみ履歴を考慮した数値解析を行う。

3. 研究の方法

一定軸力と繰り返し水平力を受ける非充腹格子型SRC柱を、一端固定、他端自由の片持柱を想定し、曲げせん断実験を行った。健全な部材を想定した一次載荷の後に、損傷レベルに応じた補修を行い、再度載荷実験を行った(二次載荷)。実験変数としてせん断スパン比を2種類(L/D=3, 2)、軸力比を2種類(n=0.2, 0.4)設定し、L/D=3の試験体は一次載荷の損傷レベルを、1)変形量中(M):最大耐力時、2)変形量大(B):最大耐力後降伏耐力まで耐力低下時、の2種類を、L/D=2の試験体は一次載荷の損傷レベルを、1)変形量中(M):正負せん断ひび割れ発生時、2)変形

量大(B):圧壊発生時、の2種類を設定した。補修後の二次載荷試験体は軸力が保持できなくなる状態まで変位振幅を増加させた。

試験体数は、内蔵鉄骨がボルト接合による非充腹格子型SRC柱6体(L/D=2:3体、L/D=3:3体)で、補修の前後で12体分の載荷実験を行った。内蔵鉄骨はL-30×30×3の山形鋼と、幅32mm、板厚3mmの帯板をM6モルトで組み立て、導入トルクは15kNmとした(図1参照)。なお、実験時のひび割れ幅はマイクロスコープ(倍率200倍)で行った。

試験体の補修は、一次載荷時に大変形領域まで載荷した試験体は損傷が激しく、かぶりコンクリートの剥落等もあったため、樹脂注入前にポリマーセメントモルタル(以下PCM)により断面形状の修復整形を行い、ひび割れにエポキシ樹脂の注入を行った。

実験挙動の追跡の弾塑性解析はファイバー法で行い、断面の曲げモーメント-曲率関係を求めた。断面は平面保持を仮定し、鋼とコンクリートは完全付着とし、コンクリートの引張強度は無視した。二次載荷の解析においては、一次載荷時のコンクリートのひずみ履歴を考慮した。

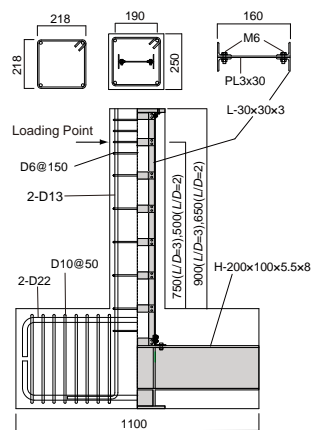
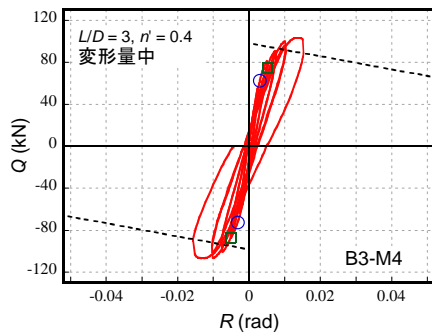


図1 試験体図 (mm)

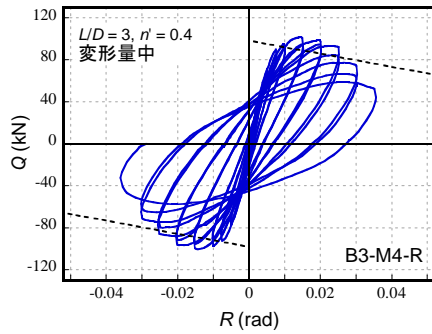
4. 研究成果

図2,3に補修の前後での水平荷重-部材角関係を示す。図より、各シリーズの補修前後の試験体を比較すると、部材角0.001radでの割線剛性として算出した初期剛性は、L/D=3の試験体では健全時(一次載荷時)の71～86%まで低下しており、一次載荷時の損傷が大きい試験体ほど低下量が大きかった。L/D=2の試験体での低下量は95～98%程度で初期剛性の低下は小さかった。

L/D=3の試験体では試験時材齢でのコンクリート強度の変化が小さいにもかかわらず最大耐力の上昇は観察されず、断面補修に使用したPCMの強度がコンクリート強度よりも小さかったためと考えられる。軸力が大きい試験体において補修前後で85%に耐力低



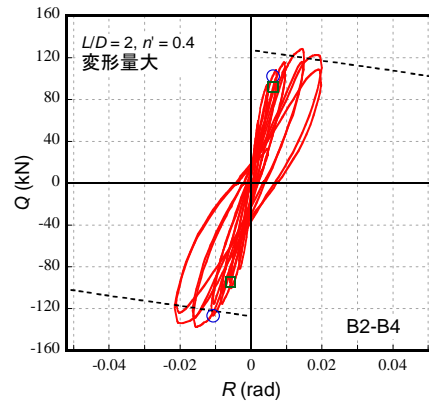
(a) 一次載荷



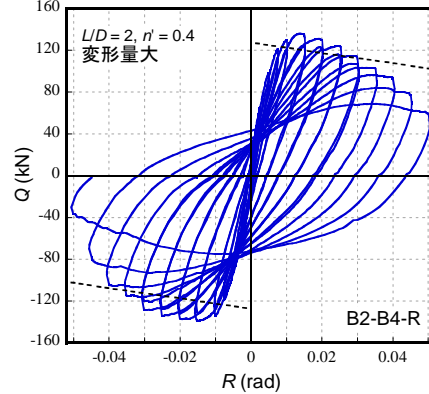
(b) 二次載荷

図2 水平荷重-部材角関係 ($L/D=3$).

下したものがあつたが、これは一次載荷時の主筋の座屈が主因と考えられる。 $L/D=2$ の試験体は補修前後で最大耐力が上昇しており、最大耐力後は大変形域まで塑性耐力を保持していた。これはひずみ時効やひずみ硬化による降伏点応力の上昇が原因と考えられる。 $L/D=2$ シリーズで最大耐力上昇率に差が見ら



(a) 一次載荷



(b) 二次載荷

図3 水平荷重-部材角関係 ($L/D=2$).

れたが、断面をはつると上昇率の小さい試験体で主筋の座屈が観察された。これより主筋の座屈が補修後の最大耐力に与える影響が大きいことが分かる。

図4に最大ひび割れ幅と経験部材角の関係を示す。荷重反転時のひび割れ幅合計は、部材角と線形関係にあり、最大ひび割れ幅も $L/D=3$ の試験体は軸力比に関係なく同様に線形関係に近い。 $L/D=2$ の試験体で軸力比が小さい試験体は線形関係であるが、軸力比が大きい試験体で部材角 0.015rad 以降は複数のひび割れが拡大するため最大幅のひび割れが拡大しなくなる。

除荷時のひび割れ幅は、せん断スパン比、軸力比に関わらず、部材角 0.01rad を境に急激に拡大する。これは残留部材角の大きさにも関係しており、最大耐力以降の残留部材角増大が影響しており、これは地震後でのひび割れ幅からの損傷度推定の可能性を示している。

補修後の実験履歴の追跡を行うため、ファイバー法による弾塑性解析を行った。補修後の二次載荷時の解析は、既存コンクリートの劣化を考慮するため、一次載荷の除荷開始後の除荷ひずみから履歴が開始されるように設定した。

図5に実験値と解析結果の挙動の比較を示す。点線は実験結果で、緑線が鋼材の降伏点

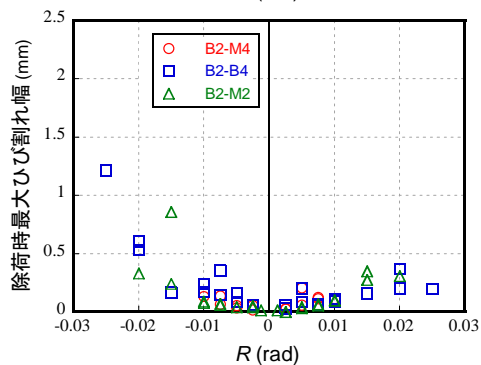
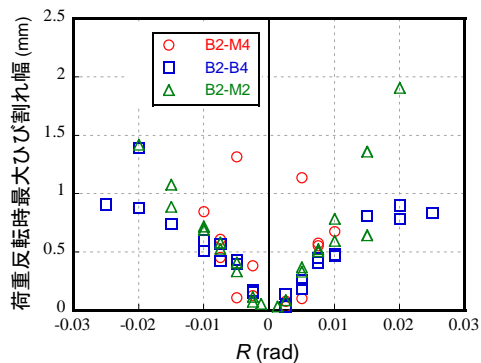
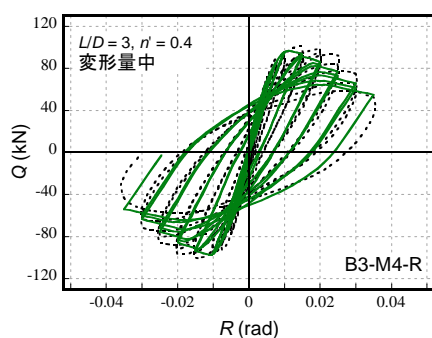
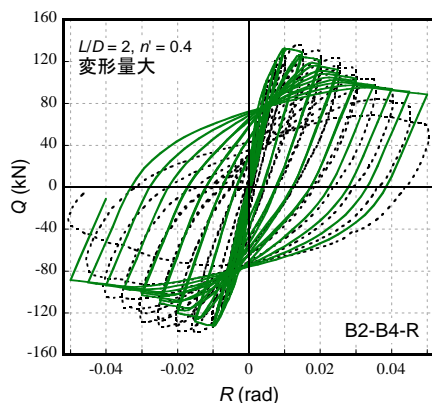


図4 最大ひび割れ幅-経験部材角関係



(a) B3 シリーズ ($L/D=3$)



(b) B2 シリーズ ($L/D=2$)

図5 実験値と解析結果の比較 ($1.2_s\sigma_Y$)

応力を 20%上昇させて計算した解析結果である。同試験体では鉄骨、鉄筋ともに上昇率は同じとしている。解析結果は、剛性低下率と実験の履歴挙動を比較的よく予測している。補修後の柱に関しては、鋼材のひずみ時効とひずみ硬化の影響としての降伏点応力の上昇 20%程度で妥当な評価となる。降伏点応力の上昇を考慮しない場合は、変形性能もポストピーク挙動も良い予測はできない。

上記仮定を考慮した解析結果は実験挙動を良く予測し、本研究の補修による SRC 柱の構造性能の解析方法の適用性があることを示している。なお、最終ループの挙動の追跡が出来ていないが、これは主筋の座屈に起因する耐力劣化であり、本解析では主筋の座屈は無視している。主筋の座屈を考慮した解析により再検討することでこの挙動も追跡できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Takashi FUJINAGA and Yuping SUN: Structural Performance of Damaged Open-web Type SRC Beam-columns with Bolt-connected Batten Steel Plates after Retrofitting, Proc. of 16th World Conference on Earthquake Engineering, 査読有, 2017.1 (投稿中)

- ② Takahiro KUME, Takashi FUJINAGA and Yuping SUN: Structural Performance of Damaged Open-web Type SRC Beam-columns with Bolt-connected Batten Steel Plates after Retrofitting, Proc. of 8th International Structural Engineering Construction Conference, 査読有, pp.443-448, 2015.11

- ③ 久米貴大, 藤永隆, 孫玉平: 載荷履歴を受けたボルト接合された格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究, 第 11 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, Abstract 査読有, pp.235-243, 2015 年 11 月

- ④ 久米貴大, 藤永隆, 孫玉平: 載荷履歴を経験した格子材をボルト接合した非充腹型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 査読無し, 第 18 号, pp.95-102, 2014 年 3 月

[学会発表] (計 1 件)

- ① 久米貴大, 藤永隆, 孫玉平: 載荷履歴を受けたボルト接合された格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演会 (関東), 2015 年 9 月 4 日, 東海大学 (神奈川県・平塚市)

[その他]

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~ftaka/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤永 隆 (FUJINAGA TAKASHI)

神戸大学・都市安全研究センター・准教授
研究者番号: 10304130

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし