

機関番号：14501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760375

研究課題名（和文） 載荷履歴を受けた RC・SRC 部材の補修後性能に関する研究

研究課題名（英文） Behavior of Damaged RC and SRC Members after Retrofitting

研究代表者

藤永 隆（FUJINAGA TAKASHI）

神戸大学・自然科学系先端融合研究環 都市安全研究センター・准教授

研究者番号：10304130

研究成果の概要（和文）：載荷履歴を受けた非充腹形の SRC 柱（格子型／ラチス型）と RC 柱の補修後性能に関する検討を行っている。最初に健全な柱の繰返し水平力載荷実験を行い（一次載荷）、載荷後に軽量ポリマーセメントモルタルによる断面成形、ひび割れへのエポキシ樹脂注入による補修を行った後、再度載荷実験を行った（二次載荷）。実験変数として、せん断スパン比と一次載荷時の変位振幅の大きさをとった。補修前の損傷レベルに関わらず初期剛性が低下し、最大耐力が上昇することが確認された。また、剛性低下と最大耐力上昇に関して解析的検討を行った。

研究成果の概要（英文）：Structural performance of damaged SRC beam-columns with open-web type of batten/lattice plate and RC beam-columns after retrofitting was investigated. Nine open-web type of SRC beam-column specimens and six RC beam-column specimens were tested under combined constant axial load and cyclic lateral load. At first, each column was loaded to the targeted displacement. After the first loading, the test columns were retrofitted and reloaded. The damaged portions of each column were retrofitted with the polymer cement mortar, and the resin of epoxy injected into the cracks. All of the retrofitted columns have shown higher load carrying capacity and lower stiffness, while the experienced displacement in each column was different.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究代表者の専門分野：工学，建築構造

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：地震防災，補修・補強，鉄筋コンクリート構造，鉄骨鉄筋コンクリート構造

1. 研究開始当初の背景

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では多くの建物が被害を受けた。その被害は倒壊から軽微なものまで様々であり、土木構造物においてはその性質上、補修・補強による早期の復旧が選択されたが、建築物に関しては復旧過程において解体・新築されたものが多かった。これは補修・補強による耐震性能の

回復に関する資料が少なく、性能の回復が定量的に評価できなかったことも一因にあげられる。また1995年12月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が施行され、それ以降、既存不適格建築物に対する耐震診断・耐震補強工事や、耐震補強に関する研究が多くなされている。しかし、その多くは既存不適格建築物を再現した健全な部材に対して

補強を施した試験体に基づく知見であり、載荷履歴（地震履歴）を受けた部材に関するものは少ない。一方、鉄骨鉄筋コンクリート（以下 SRC とする）部材の補修後性能に関して、充腹型 SRC は内蔵鉄骨の剛性・耐力の負担量が比較的大きいため、内部ひび割れへの樹脂注入をしない場合でも初期剛性の低下が小さいことが確認されている。しかし、先の震災において大きな被害を受けた SRC 造のほとんどは非充腹型 SRC 造であり、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 SRC 構造の内部鉄骨は非充腹型が主であるといえる。またその場合には鉄筋コンクリート部材と同様に、樹脂注入後の初期剛性の低下は無視できない可能性がある。

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、非充腹型 SRC の内蔵鉄骨には格子型やラチス型といった形式があるが、本実験において内蔵鉄骨は格子型とした。また、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。

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 SRC 柱および RC 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

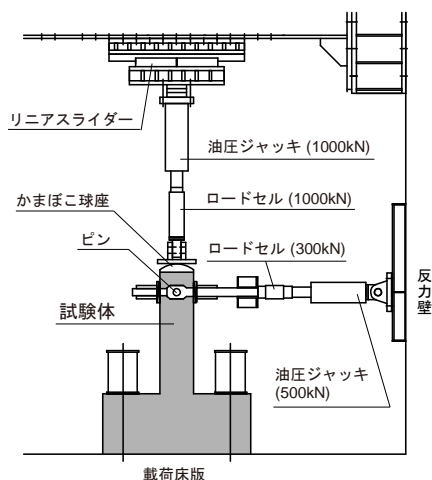


図-1 載荷装置図

った（図-1 参照）。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) 設定し、それぞれのせん断スパン比において一次載荷の損傷レベルを、1) 変形量小：降伏荷重レベル、2) 変形量中：最大耐力レベル、3) 変形量大：最大耐力後降伏荷重まで耐力低下レベル、の3段階で設定した。一次載荷の損傷レベルの設定については、主筋のひずみが降伏ひずみに達した時点を降伏荷重レベル、水平耐力が最大を示した時点を最大荷重レベルとした。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、非充腹格子型 SRC 柱 6 体、非充腹ラチス型 SRC 柱 3 体、RC 柱 6 体の計 15 体で、補修の前後で 30 体分の載荷実験を行っている。

試験体の補修は、主としてエポキシ樹脂のひび割れ注入により行った。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により断面形状の修復整形を行った。

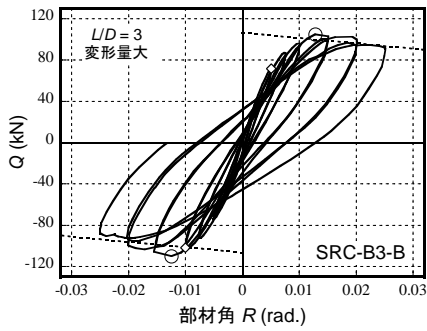
さらに、最終破壊状態が曲げ破壊であり、曲げ変形の影響が大きい $L/D=3$ の試験体に関して、ファイバー法を用いて弾塑性解析を行い、断面の曲げモーメント-曲率関係を求めた。断面は平面保持を仮定し、鋼とコンクリートは完全付着とし、コンクリートの引張強度は無視した。 $L/D=2$ の試験体はせん断変形の影響が大きく、実験で観察された破壊性状より平面保持の仮定が成立していないと推察されるため検討の対象外とした。二次載荷の解析においては、注入した樹脂の影響による剛性の低下分を、ヤング係数比によるコンクリートの見かけのヤング係数の低下として考慮した解析を行った。

4. 研究成果

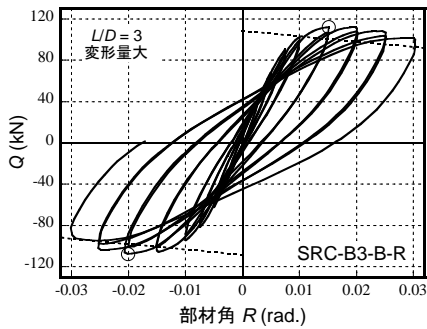
荷重変形関係において、一次載荷の試験体 3 体により履歴の再現性を確認した。

曲げ破壊型の試験体においては、いずれも一次載荷の損傷レベルに関わらず初期剛性が 8 割程度に低下し、最大耐力が上昇することが確認されている。また、二次載荷によるひび割れが一次載荷時のひび割れ位置とは違う場所に発生しており、今回の樹脂注入工法は有効な補修方法であった。

初期剛性の低下に関しては、注入したエポキシ樹脂のヤング係数がコンクリートのヤング係数と比較して小さいこと、一次載荷に



(a) 一次載荷



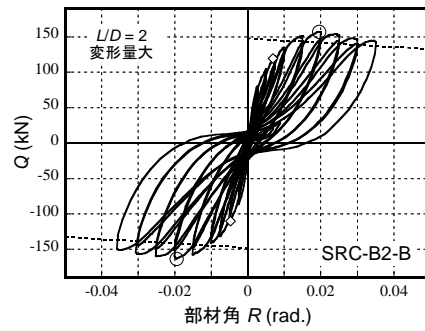
(b) 補修後・二次載荷

図-2 格子型 SRC 柱 L/D=3 (大変形)

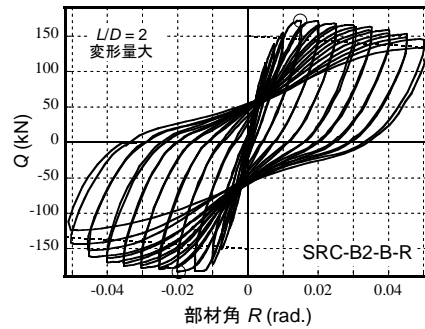
におけるコンクリートへの損傷残留による影響，樹脂注入の不十分性が考えられる．樹脂のヤング係数を考慮した数値解析により，最大限ひび割れ幅を考慮しても初期剛性の低下量が十分再現できなかった事より，一次載荷時のコンクリートのひずみ履歴の影響が初期剛性の低下に与える影響が大きいと考えられる．よって，数値解析の際にもコンクリートの一次載荷時のひずみ履歴の影響を考慮した解析が必要である．

最大耐力上昇に関しては，コンクリートによる耐力上昇は考えられないことより，内蔵している鋼材のひずみ硬化の影響，および時効効果の影響と推察される．ファイバー法による弾塑性解析において，内蔵鋼材の降伏点応力を一次載荷時の 1.1 倍，1.2 倍と変化させたものの解析を行い比較したところ，最大耐力や最大耐力以降の挙動を良く予測するようになっており，鋼材の降伏点上昇が最大耐力上昇の要因であることが推察された．しかし，上昇率がどの程度あるかの定量的な実験をしていないため，今後，一次載荷時のひずみ履歴と時効効果による降伏点上昇率の影響を調べる実験が必要である．

破壊メカニズムが曲げ破壊とは異なる試験体（格子型 SRC 柱 L/D=2）においては，一



(a) 一次載荷

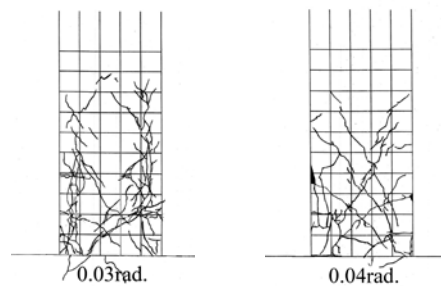


(b) 補修後・二次載荷

図-3 格子型 SRC 柱 L/D=2 (大変形)

次載荷の試験体では逆 S 字型に近いループ形状であったが，補修の前後でループ形状が変化しており，補修後の二次載荷の試験体ではエネルギー吸収能力が大きく向上した（図-3 参照）．これは樹脂注入による補修により，内蔵鉄骨とコンクリートの付着性状が向上したものと考えられる．破壊状況も鉄骨とコンクリートの付着切れに起因すると推察される破壊モードから，曲げ降伏後のせん断破壊へと破壊モードが変化している（図-4 参照）．

L/D=2 の RC 試験体においても，せん断余裕度からはせん断破壊型の破壊形式を想定



(a) 一次載荷 (b) 補修後・二次載荷

図-4 破壊状況 (格子型 SRC 柱 L/D=2)

していたが、実際には曲げ破壊であり、その他の曲げ破壊型の試験体で得られた知見と大きく異なる知見は得られなかった。今回行った実験は片持ち梁形式であり、圧縮ストラットの状況を考えると、せん断破壊を再現するには建研式による加力がよいと考えられるため追加実験を行う予定である。

本研究を行う以前では、一次載荷時の損傷レベルをパラメータにした実験は非常に少なく、そのほとんどが大変形後の試験体の補修実験であった。本研究で実験データの蓄積をすることができた。損傷レベルの違いにより、初期剛性の低下量、最大耐力上昇率の違いに影響があるケースも見られた。

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 8 件)

- ① 那良幸太郎, 藤永隆, 孫玉平: 載荷履歴を受けた格子型 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, 第 13 号, 2009, pp.57-65
- ② 那良幸太郎, 藤永隆, 孫玉平, 清水直也: 載荷履歴を受けた RC 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, 第 14 号, 2010, pp.103-112
- ③ 神谷悠貴, 藤永隆, 孫玉平, 那良幸太郎: 載荷履歴を受けたラチス型 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, 第 14 号, 2010, pp.113-122
- ④ 藤永隆, 那良幸太郎, 神谷悠貴, 孫玉平: 載荷履歴を受けた格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.57B, 2011, p.509-516
- ⑤ 藤永隆, 那良幸太郎, 神谷悠貴, 孫玉平: 載荷履歴を受けた非充腹 SRC 柱の補修後性能に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, 2011
- ⑥ 神谷悠貴, 藤永隆, 那良幸太郎, 孫玉平: 載荷履歴を受けた RC 柱の補修後性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, 2011
- ⑦ 藤永隆, 那良幸太郎, 神谷悠貴, 孫玉平: 載荷履歴を受けた格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究 (その 2 L/D=2 試験体), 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 第 15 号, 2011
- ⑧ 神谷悠貴, 那良幸太郎, 藤永隆, 孫玉平: 載荷履歴を受けた RC 柱の補修後性能に

関する実験的研究(その 2 L/D=2 試験体), 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 第 15 号, 2011

[学会発表] (計 5 件)

- ① 那良幸太郎: 載荷履歴を受けた格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究 (その 1) 実験概要と補修方法, 日本建築学会大会学術講演会 (東北), 2009 年 8 月 26 日, 東北学院大学 (宮城県)
- ② 藤永隆: 載荷履歴を受けた格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究 (その 2) 実験結果, 日本建築学会大会学術講演会 (東北), 2009 年 8 月 26 日, 東北学院大学 (宮城県)
- ③ 那良幸太郎: 載荷履歴を受けた RC 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 (北陸), 2010 年 9 月 9 日, 富山大学 (富山県)
- ④ 神谷悠貴: 載荷履歴を受けたラチス型 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 (北陸), 2010 年 9 月 9 日, 富山大学 (富山県)
- ⑤ 神谷悠貴: 載荷履歴を受けた格子型 SRC 柱の補修後性能に関する実験的研究 (L/D=2), 日本建築学会大会学術講演会 (関東), 2011 年 8 月, 早稲田大学 (東京都)

[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・自然科学系先端融合研究環 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