

論文 大きな損傷を受けた RC 柱の軸方向鉄筋特性と補修後の耐荷特性に関する実験的研究

近藤 貴紀^{*1}・水野 英二^{*2}

要旨：一般に、地震力などを受けて大きく損傷した鉄筋コンクリート（RC）柱の軸方向鉄筋の座屈性状および余剰耐力（引張強度）を評価することは、補修時における RC 柱の軸方向鉄筋の取り替えの判定ならびに RC 柱の耐震性能を向上させるためにも重要である。本研究では、1) 大きな損傷を受けた、材料・構造特性の異なる RC 柱の軸方向鉄筋の座屈性状について「載荷経路」、「横拘束筋間隔」および「軸方向鉄筋の配置」を要因として検討し、2) 座屈した軸方向鉄筋に「異なる取り替え補修」を施した RC 柱の耐震性能向上（補修効果）を、鉄筋の「ライズ比（座屈高さ／座屈長さ）－余剰耐力関係」に基づいて、実験的に考察・検証した。

キーワード：RC 柱、補修効果、軸方向鉄筋取り替え、座屈性状、余剰耐力、ライズ比、二方向載荷

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、日本国内においても大規模地震が発生しており、鉄筋コンクリート（RC）柱の倒壊・損傷被害が生じている¹⁾。それゆえ、既設および損傷を受けた RC 柱では、耐震性能向上の観点より、事前の「補強」の検討、損傷後の「補修・建て替え」の診断および評価が不可欠である（図-1）。これまでの繰り返し二軸曲げを受ける RC 柱の耐震性能向上に関する研究^{2,3)}を通して、1) 鋼繊維補強コンクリート（SFRC）柱基部の軸方向鉄筋とコンクリートとの付着を切る（アンボンド化する）ことは、軸方向鉄筋の破断数を低減させ SFRC 柱の耐荷性能を大きく向上させる、2) 材料・構造的な観点より、高靱性の「鋼繊維補強コンクリート（SFRC）」および高い破断ひずみを有するステンレス（SUS）筋を用いたアンボンド型 SFRC 柱（以下、UN-SFRC 柱）はポストピーク大变位領域まで優れた耐震性能を呈し、軸方向鉄筋の破断数も一番少ない、ことを確認した。これら「材料・構造的な特性」に基づいた UN-SFRC 柱の耐震性能向上の研究結果^{2,3)}も採り入れて、今後は、「内部コンクリートの破壊および軸方向鉄筋の座屈・破断」などの大きな損傷を生じた RC 柱（例えば、図-2 に示す損傷レベル 4 の RC 柱）に対しても、とりわけ座屈した軸方向鉄筋の性状を变形および強度的な観点より「診断」⁴⁻⁶⁾し、「材料・構造的に最適な補修」を施すことにより、補修後の耐震性能を向上させる必要があると考える。

本研究では、繰り返し二軸曲げ載荷下で大きな損傷（レベル 4）を受けた、材料・構造特性の異なる各種 RC 柱³⁾に対して、以下の事項に主眼を置いて検討を行った。

1. 「載荷経路」、「横拘束筋間隔」、「材料・構造特性」および「軸方向鉄筋の配置」の違いによる軸方向鉄筋の「座屈長さ」、「座屈高さ」ならびに「ライズ比（座屈高さ／座屈長さ）」を比較・考察する。

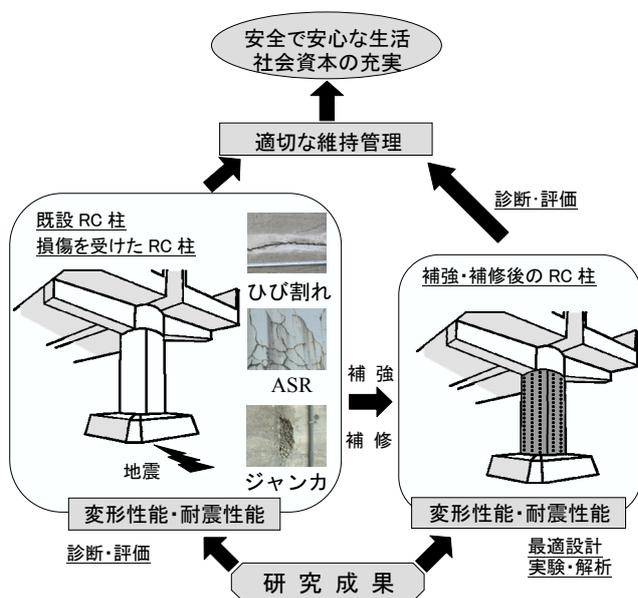


図-1 RC 柱の補強・補修に関する研究の流れ

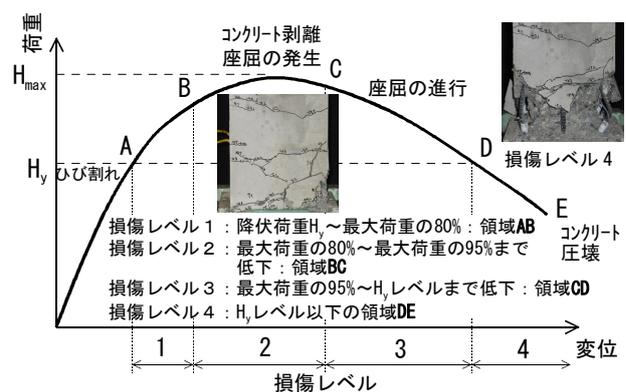


図-2 鉄筋コンクリート柱の損傷レベル（一例）

2. 補修の対象となる 2 種類の RC 柱から切り出した軸方向鉄筋の「ライズ比－余剰耐力」関係を考察する。
3. 「ライズ比－余剰耐力」関係を考慮し、座屈した軸方向鉄筋に対して異なる「取り替え」を施した RC 補

*1 中部大学大学院 工学研究科建設工学専攻 修士（工学）（学生会員）

*2 中部大学 工学部都市建設工学科 教授 Ph.D.（正会員）

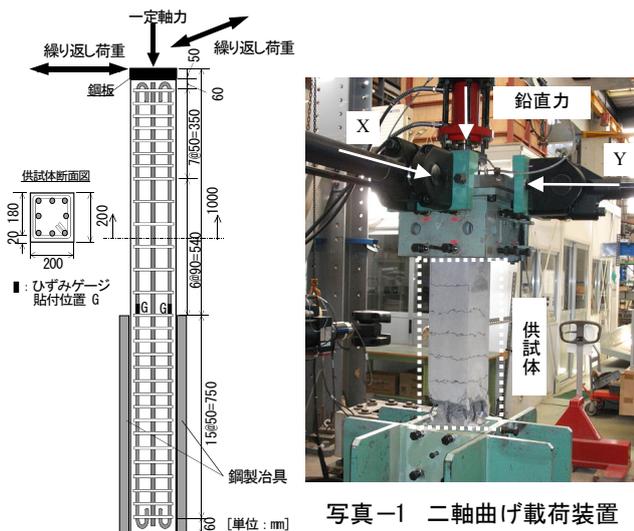


図-3 RC柱配筋図(一例)

修柱の載荷実験後の耐荷曲線が無損傷のRC柱(新品柱)のそれと比較し、補修効果について考察する。

2. 実験供試体、材料定数および実験概要

対象となった供試体は、「繰返し二軸曲げを受けるRC柱の耐荷特性に関する実験(写真-1)」^{2,3)}で大きな損傷を受けた、3種類のアンボンド型鋼繊維補強RC柱(鋼材SD295A, SD345およびSUS304によるUN-SFRC柱:直径0.62mm,長さ30mmの鋼繊維を体積比率1.5%混入)および普通RC柱(RC-SD295A柱)である。その形状ならびに配筋の一例を図-3に示す。供試体は、断面寸法200×200mm,有効高さ1,000mmとし、曲げ破壊先行型となるようにせん断スパン比を5に設定した。ここで、軸方向鉄筋にはD10を8本,横拘束筋にはD6をそれぞれ間隔s=65,90,105および120mmで配筋した。後述する2種類の載荷経路下でのRC供試体の材料定数を表-1に示す。なお,第3章以降の考察が必要となる,軸方向鉄筋の配置および配筋番号を図-4,さらに柱基部での軸方向鉄筋の座屈性状諸量の定義を図-5に示す。

実験では,RC柱(新品柱:図-3)を鋼製治具に固定し,鉛直ジャッキにより軸力を柱頂部に作用させると同時に,写真-1に示す二方向載荷装置を用いて二方向(X方向およびY方向)からの水平変位を柱頂部に与えるこ

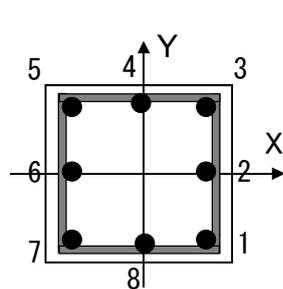


図-4 軸方向鉄筋番号



図-5 座屈性状諸量

表-1 材料・構造特性の異なるRC供試体(新品柱)の材料定数および載荷軸力

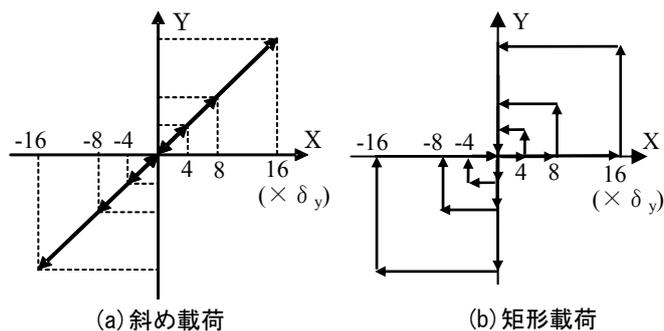
RC供試体(新品柱)	コンクリート		軸方向鉄筋 D10		横拘束筋 D6		載荷軸力 [kN]
	圧縮強度(曲げ強度) [MPa]	[MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	
UN-SFRC-SUS304柱(8体)	斜め載荷	69 (9.7)	SUS304		SD345		146
	矩形載荷	73 (9.9)	455 (0.2% off-set)	836	395 (0.2% off-set)	630	154
UN-SFRC-SD345柱(12体)	斜め載荷	54 (13.3)	SD345		SD345		149
	矩形載荷	59 (11.5) / 74 (10.2)	453	696	395 (0.2% off-set)	630	130 / 144
UN-SFRC-SD295A柱(8体)	斜め載荷	52 (7.8)	SD295A		SD295A		112
	矩形載荷	49 (9.5)	401	598	443	591	106
RC-SD295A柱(8体)	斜め載荷	49 (5.5)	SD295A		SD295A		107
	矩形載荷	48 (3.9)	401	598	443	591	105

注) 破断ひずみ(%) : 35%(SUS304), 23%(SD345), 32%(SD295A)

とにより,繰返し二方向載荷実験を実施した。鉛直軸力の大きさは累加軸耐力の5%(105kN~154kN)とし,以下に説明する載荷経路に基づいて変位制御により水平荷重を作用させた。載荷経路として,図-6に示す,2種類の載荷経路,1)45°斜め載荷経路および2)矩形載荷経路を設定した。図-6(a)に示すように,斜め載荷では,X方向およびY方向に同時に同一変位を(0→+4δ_y→-4δ_y→+8δ_y→-8δ_y→+8δ_y→-16δ_y→+16δ_y→-16δ_y)の順に柱頂部に与えた。一方,矩形載荷(図-6(b))では,第1象限と第3象限にて順に大きさ4δ_y,8δ_yおよび16δ_yの矩形(正方形)により8の字を描くようにX方向およびY方向の変位を変化させて実験を実施した。ここで,図中の「δ_y」とは,変位制御する上での基本変位量であり,便宜上,斜め載荷でδ_y=5.35mm,矩形載荷ではδ_y=6.0mmを採用した^{2,3)}。

3. 材料・構造特性の異なるRC柱の座屈性状

文献6)では,RC-SD295A柱(表-1)の軸方向鉄筋の座屈性状を考察したが,これとは材料・構造的な特性の異なる,3種類の大きく損傷したUN-SFRC柱(表-1)の載荷実験終了時の基部周辺における軸方向鉄筋の座屈性状(図-5に定義する座屈長さ,最大の座屈高さおよび



(a) 斜め載荷

(b) 矩形載荷

図-6 載荷経路

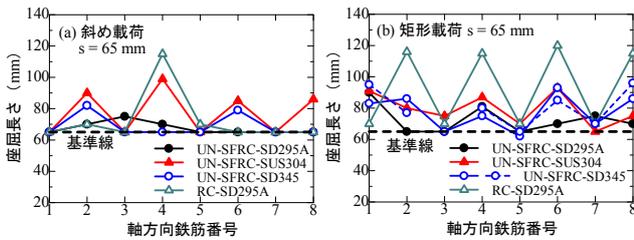


図-7 座屈長さ (s : 65 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

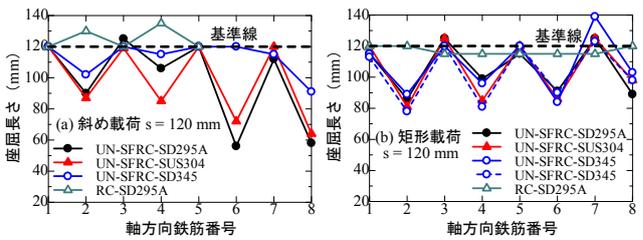


図-8 座屈長さ (s : 120 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

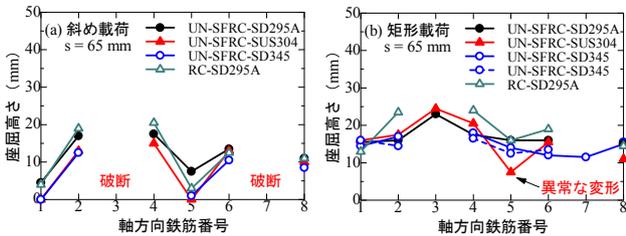


図-9 座屈高さ (s : 65 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

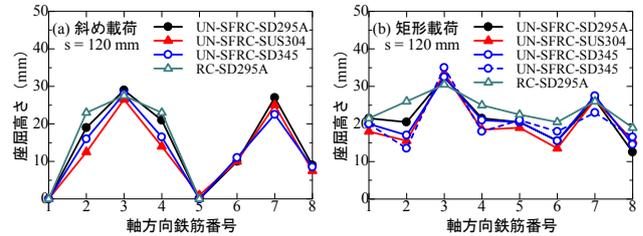


図-10 座屈高さ (s : 120 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

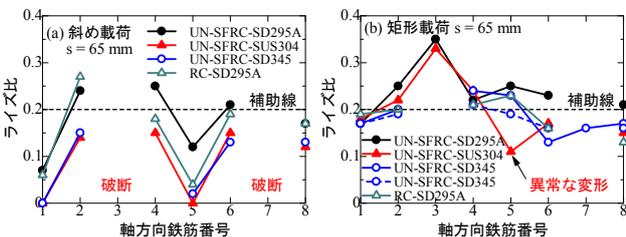


図-11 ライズ比 (s : 65 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

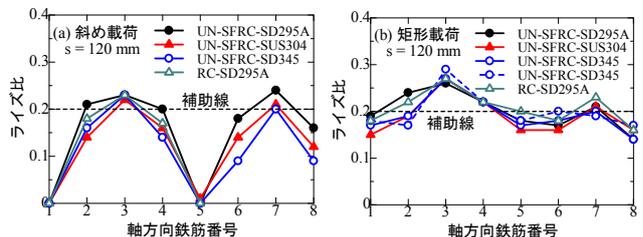


図-12 ライズ比 (s : 120 mm, 斜め載荷と矩形載荷)

びライズ比)を型どりゲージの測定値より人的誤差が出ないように整理し、文献6)の結果と比較・考察する。

3.1 座屈長さ

一例として、横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$ または $s = 120 \text{ mm}$ を有する各柱の軸方向鉄筋(図-4に示す配筋番号1~8)と座屈長さとの関係を斜め載荷および矩形載荷に対して整理した結果を図-7および図-8に示す。両図より分かるように、載荷経路に関係なく柱基部の殆どの隅角部軸方向鉄筋(1, 3, 5および7)において横拘束筋間隔を座屈長さとして座屈が生ずる(図中に示す基準線)。

一方、中間軸方向鉄筋(2, 4, 6および8)では、両載荷とも横拘束筋間隔が 65 mm と狭い場合には、柱種類の違いにより座屈長さに差異が生ずるものの、座屈が横拘束筋間隔 65 mm を越えて生ずる。横拘束筋間隔が 120 mm と広い場合には、中間軸方向鉄筋の座屈領域の傾向は、両載荷とも普通RC柱(RC-SD295A柱)と3種類のUN-SFRC柱とでは大きく異なる。すなわち、RC-SD295A柱の座屈長さは、横拘束筋間隔 120 mm よりも多少長い(斜め載荷)または多少短い(矩形載荷)程度であるが、3種類のUN-SFRC柱のそれらは $60 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$ の範囲にあり、横拘束筋間隔 120 mm よりも短くなる。これは、鋼繊維補強コンクリートの引張強度が普通コンクリートのそれよりも高いため、柱基部周辺のかぶりコンクリートの剥落が遅延されることによるものと考えられる。

3.2 最大はらみ出し量(座屈高さ)およびライズ比

軸方向鉄筋位置(1~8)と最大のはらみ出し量(座屈

高さ)との関係を、両載荷に対して整理した結果の一例を図-9(横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$) および図-10(横拘束筋間隔 $s = 120 \text{ mm}$) に示す。横拘束筋間隔 s が 65 mm と狭い場合には、両載荷とも多くの柱の隅角部軸方向鉄筋(3および7)がはらみ出し量 $20 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ で破断することが分かった。一方、横拘束筋間隔 s が 120 mm と広い場合には、破断本数が減少し、両載荷とも隅角部軸方向鉄筋(3および7)で最大 30 mm 前後のはらみ出しを生ずる(図-10)。他に、1)斜め載荷下では、隅角部軸方向鉄筋(1および5)に殆どはらみ出しは生じない、2)矩形載荷下では、コンクリートの引張強度の違いにより、普通RC柱とUN-SFRC柱とで中間軸方向鉄筋の座屈高さに差異が生ずる、という特徴がある(図-9, 10)。

軸方向鉄筋位置(1~8)とライズ比(座屈高さ/座屈長さ)との関係を、両載荷に対して整理した結果の一例を図-11(横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$) および図-12(横拘束筋間隔 $s = 120 \text{ mm}$) に示す。座屈高さの点では、横拘束筋間隔が広い(120 mm)方が高めの傾向を呈するが、ライズ比の点では、横拘束筋間隔が狭い(65 mm)方がライズ比 0.2 (図中の補助線)を越す軸方向鉄筋が多くなり、鉄筋の破断および強度低下の可能性がより高くなると文献6)および後述する4.2節の結果から推察できる。とくに、矩形載荷下では、ライズ比 0.35 前後の大きな変形が横拘束筋間隔 65 mm を有するUN-SFRC-SUS304柱などの隅角部軸方向鉄筋(3および7)で生ずる。この比が 0.35 以上の限界値に達すると破断すると考えられる⁶⁾。

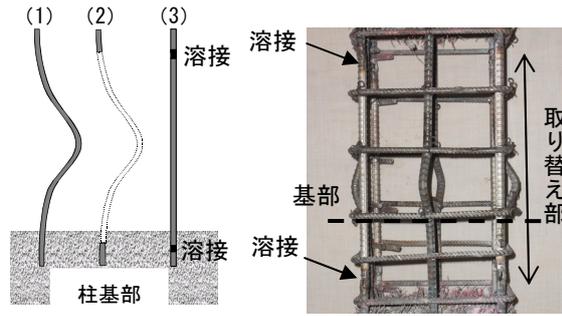


図-13 軸方向鉄筋の補修法 写真-2 鉄筋の部分取り替え

4. 軸方向鉄筋の取り替えを考慮した RC 柱の補修効果

ここでは、損傷した軸方向鉄筋に対して異なった取り替え補修を施した RC 柱の補修効果を実験的に検証した。

4.1 損傷した軸方向鉄筋の取り替えと RC 補修柱

大きな損傷を受けた RC 柱の補修に関しては、破壊部分のコンクリートをはつり、座屈した軸方向鉄筋のはらみ出し部分を熱処理等によって変形を矯正した後に、または座屈したままの状態、補修コンクリートで置換する、などの方法も検討されている¹⁾。これまでに、座屈した軸方向鉄筋の取り替え基準ならびに指標の検討^{4,5)}などが行われているが、鉄筋の「ライズ比-余剰耐力関係」⁶⁾を適切に評価することは、損傷した RC 柱内部の鉄筋取り替えの「要・不要」の判定を容易にすると考える。ライズ比-余剰耐力関係に基づいて、異なった取り替え補修を施した RC 柱の耐震性能は 4.3 節で検証する。

本研究では、表-1 に示す、矩形載荷下で大きな損傷を受けた RC-SD295A 柱 (以下、RC 損傷柱) および UN-SFRC-SD345 柱 (以下、UN-SFRC 損傷柱) を補修の対象として、柱基部下 0.5D (D: 柱幅) から柱基部上 1.0D 区間のコンクリートを除去した後、座屈・破断した軸方向鉄筋に対して、基部下 75 mm~基部下 175 mm までの軸方向鉄筋を切断し、補修鉄筋 (長さ 250 mm) を用いて裏波溶接した (図-13 (2)→(3))。RC 損傷柱²⁾の軸方向鉄筋すべてに対して、同一材料の SD295A 筋により本補修を施した (全取り替え)。一方、UN-SFRC 損傷柱³⁾のライズ比が大きいまたは破断している隅角部軸方向鉄筋 4 本に対しては SUS304 ステンレス筋を用いて異材溶接棒により同様の補修を施したが、ライズ比が隅角部軸方向鉄筋ほど大きくはない中間軸方向鉄筋 4 本に対してはそのままの状態とした (部分取り替え: 写真-2 参照)。さらに、補修用コンクリートとして、収縮低減タイプの高性能 AE 減水剤と膨張材を用いたひび割れ抑制コンクリート (新品柱の圧縮強度と同程度の強度を有する) および高鋼繊維補強コンクリート (鋼繊維が体積比率 3.0% 混入のため多少強度が高い) を打設し、RC 補修柱および UN-SFRC 補修柱をそれぞれ作製した (表-2 参照)。

4.2 損傷した軸方向鉄筋のライズ比-余剰耐力関係

RC 損傷柱および UN-SFRC 損傷柱から切り出した、座

表-2 RC 供試体の材料定数および載荷軸力 (矩形載荷)

RC 供試体 (RC 柱)	コンクリート 圧縮強度 (曲げ強度) [MPa]	軸方向鉄筋 D10		横拘束筋 D6		載荷 軸力 [kN]	
		降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]		
RC-SD295A 柱 (4 体)	新品	48 (3.9)	SD295A 401	SD295A 598	SD295A 443	SD295A 591	105
	補修	53.1 (3.1)	SD295A 417	SD295A 629	SD295A 443	SD295A 591	115
UN-SFRC-SD345 柱 (4 体)	新品	59 (11.5)	SD345 453	SD345 696	SD345 395	SD345 630	130
	補修	70.2~77.2 (8.3~11.6)	SUS304 (隅角部のみ) 553	SUS304 (隅角部のみ) 959	SD345 395	SD345 630	148 ~ 165

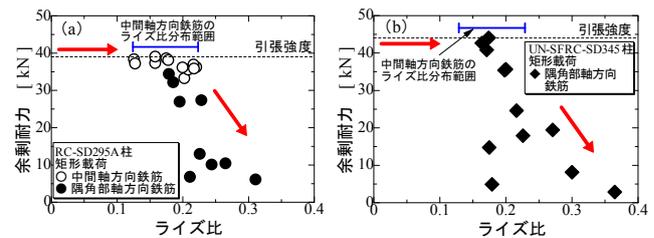


図-14 ライズ比-余剰耐力関係 (RC 柱と UN-SFRC 柱)

屈した軸方向鉄筋のライズ比-余剰耐力 (引張強度) 関係をそれぞれ図-14 に示す。RC 損傷柱の隅角部軸方向鉄筋のライズ比は 0.18~0.31 の範囲にあり、余剰耐力は引張強度の 15%程度まで低下するが (図-14 (a) の●印)、中間軸方向鉄筋のライズ比は隅角部軸方向鉄筋のそれと比べ 0.13~0.22 と小さく、余剰耐力は引張強度近辺にある (図-14 (a) の○印)。一方、UN-SFRC 損傷柱の隅角部軸方向鉄筋のライズ比は 0.16~0.36 の範囲にあり、余剰耐力は引張強度の 5%程度まで低下する (図-14 (b) の◆印)。なお、UN-SFRC 補修柱の中間軸方向鉄筋 (未補修) は、ライズ比が RC 損傷柱のそれと同程度の範囲 (0.11~0.24) にあるため、高い余剰耐力を有すると考えられるが、更なる載荷 (補修載荷) により余剰耐力が急激に低減する初期状態にあることも図-14 から推察される。

4.3 補修後の耐荷特性と補修効果の考察

(1) 無次元水平荷重-水平変位関係

軸方向鉄筋の異なった「取り替え」による補修効果を検討するため、一例として、矩形載荷下での RC 補修柱および UN-SFRC 補修柱の無次元水平荷重-水平変位関係 (X 方向; 横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$, 90 mm および 120 mm) をそれぞれ図-15 および図-16 に示す。図中、実線は補修柱の実験結果、破線は新品柱の実験結果^{2),3)}である。なお、比較のために図中の縦軸は水平荷重をそれぞれの水平荷重の最大値 H_{\max} で除して無次元化してある。RC 補修柱の実験では、 $s = 65 \text{ mm}$ および 90 mm の RC 柱で隅角部軸方向鉄筋が破断したが、新品柱の無次元化耐荷曲線と比較して全体的に同程度またはそれ以上の耐力の回復を呈した。一方、UN-SFRC 補修柱では、一部または全ての中間軸方向鉄筋の座屈部または基部下 50 mm の箇所破断が生じたが、新品柱と比較して全体

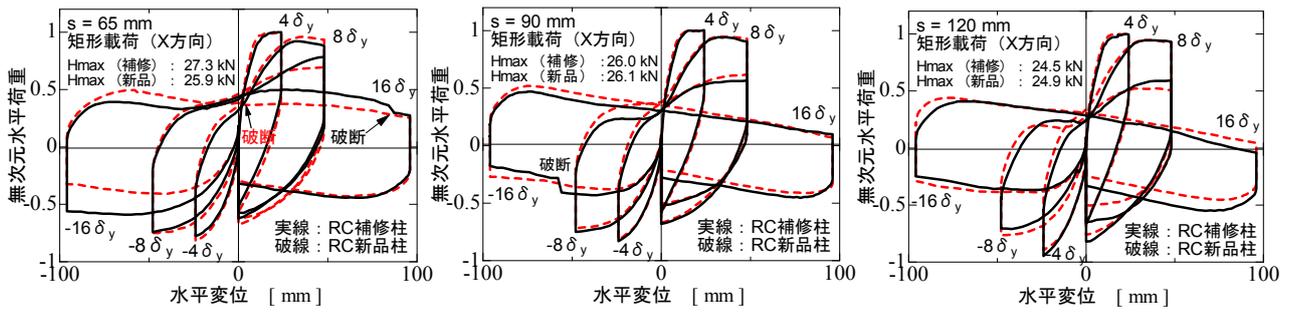


図-15 無次元水平荷重-水平変位関係 (RC柱: 矩形載荷)

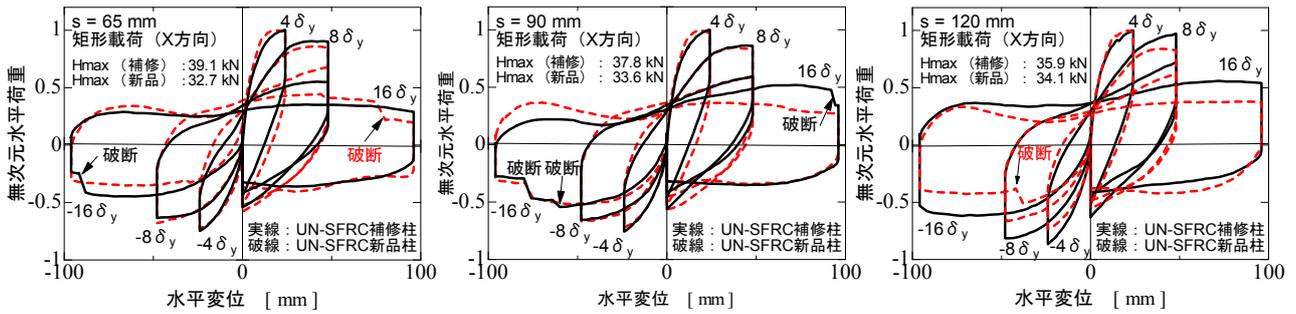


図-16 無次元水平荷重-水平変位関係 (UN-SFRC柱: 矩形載荷)

表-3 軸方向鉄筋の破断本数の比較 (矩形載荷)

供試体名	矩形載荷			
	横拘束筋間隔 (mm)			
	65	90	105	120
RC-SD295A 新品柱	2	1	1	0
RC-SD295A 補修柱	1	2(上1)	0	0
UN-SFRC-SD345 新品柱	4(下2)	2(下1)	4(下3)	1(下1)
UN-SFRC-SD345 補修柱	4(下1)	4	4(下3)	2(下1)

注: () 内は基部下 50 mm, 基板上 150 mm の破断数であり, 内数。

的に同程度またはそれ以上の耐力の回復を呈した。

損傷実験後と補修実験後の軸方向鉄筋の破断本数の比較を表-3に示す。RC柱 (新品柱および補修柱とも) の鉄筋破断は隅角部軸方向鉄筋 (3 および 7) で生じた。UN-SFRC柱では, 破断本数には大きな差異は生じなかったが, 破断状況 (内訳) では大きく異なる結果となった。すなわち, UN-SFRC 新品柱では, 隅角部軸方向鉄筋の座屈部または中間軸方向鉄筋の基部下で破断したのに対して, UN-SFRC 補修柱では, 前述したように, 一部または全ての中間軸方向鉄筋の座屈部または基部下で破断が生じた。原因は, 中間軸方向鉄筋 (未補修) が高い余剰耐力を有していても, その時点での破断ひずみが小さい, 補修実験時の載荷により破断ひずみおよび余剰耐力が急

激に低下する, ことなどが図-14より考えられる。

(2) 載荷経路の変化点を基準とした強度-変位曲線

載荷経路ごとの荷重-変位曲線の開始点 (載荷経路の変化点) を基準として整理・分類した「抵抗強度 (以降, 強度と称す) -変位曲線」²⁾を用いて, ポストピーク大変位領域に至るまでのRC柱ならびにUN-SFRC柱の耐荷特性を比較・検討する。ここで, 強度とは変化点以降の荷重と載荷経路の変化点での荷重との差 (絶対値) である。図-17に示すような, 矩形載荷1サイクルでの載荷経路A (P3→P4→P5→P6) および載荷経路B (P7→P8→P9→P10) を対象に^{2,3)}, 一例として, 横拘束筋間隔 (s = 65 mm) を有するRC新品柱の強度-変位曲線 (経路A: 実線および経路B: 破線) をそれぞれ整理した結果を図-18に示す。図中の各強度-変位曲線 (曲線1, 2, 3, 5, 6) の最終点を結んだ包絡線 (青破線) に対する, 横拘束筋間隔ごとの強度保有率-変位関係 (耐荷特性) を図-19に示す。ここで, 強度保有率とは, 各強度-変位曲線の最終点での強度を強度-変位曲線 (1) の最終点での強度で無次元化した値である。RC補修柱, UN-SFRC新品柱, UN-SFRC補修柱の耐荷特性をそれぞれ図-20~図

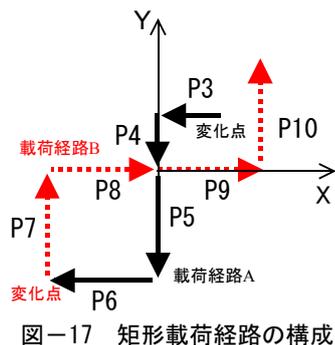


図-17 矩形載荷経路の構成

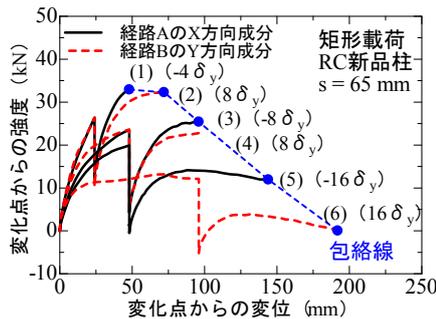


図-18 強度-変位曲線 (s = 65 mm)

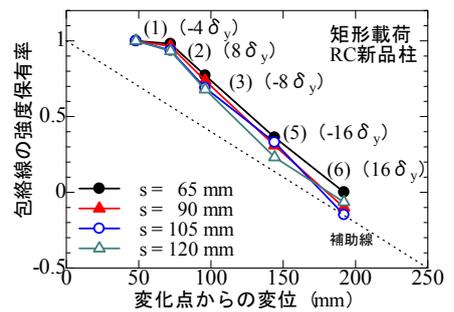


図-19 RC新品柱の耐荷特性

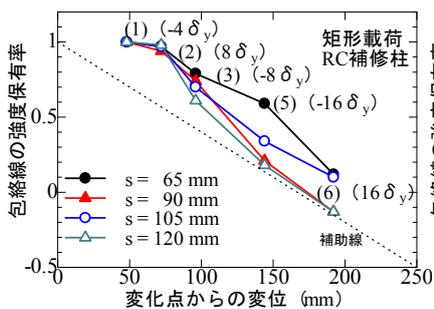


図-20 RC補修柱の耐荷特性

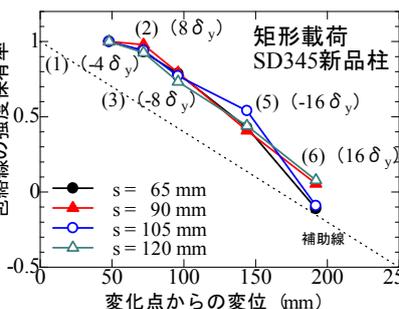


図-21 UN-SFRC新品柱の耐荷特性

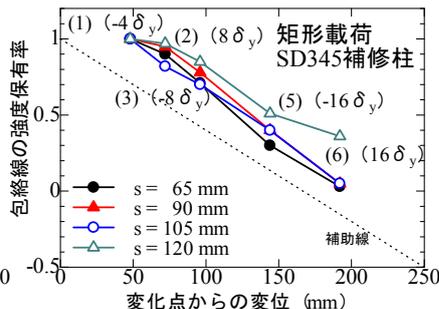


図-22 UN-SFRC補修柱の耐荷特性

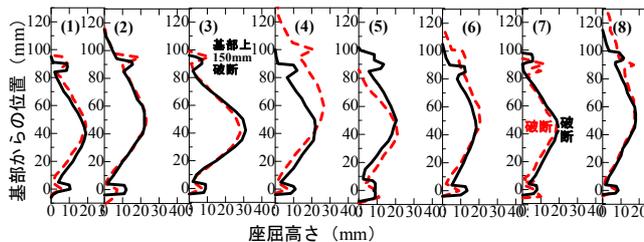


図-23 RC柱の座屈形状の比較 (矩形載荷: s = 90 mm)

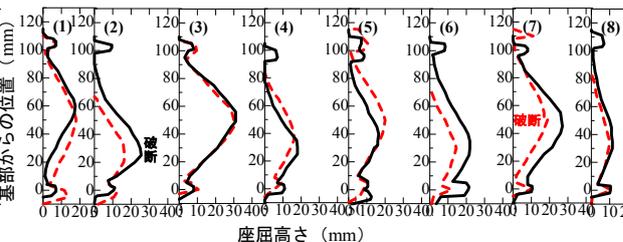


図-24 UN-SFRC柱の座屈形状の比較 (矩形載荷: s = 105 mm)

図-22に示す。軸方向鉄筋の余剰耐力を確認することにより、軸方向鉄筋の部分的な取り替えでも新品時の耐荷特性と同等かそれ以上の補修効果が得られた。

(3) 損傷実験後と補修実験後との座屈波形の比較

一例として、矩形載荷下での損傷実験後と補修実験後のRC柱 (s = 90 mm) およびUN-SFRC柱 (s = 105 mm) の軸方向鉄筋 (1~8) の座屈形状の比較を図-23および図-24に示す。なお、図中、補修実験後の座屈形状を実線 (突起部分は横拘束筋箇所) で、損傷実験後の座屈形状を破線で示す。全ての軸方向鉄筋を同じ材質で取り替えたRC柱の場合には、1本の鉄筋を除いて座屈波形に大きな差異は生じなかった。一方、UN-SFRC柱では、SD345筋からSUS304筋への変更は、破断を遅延させる効果は見られたが、座屈長さには大きな差異は生じなかった。高鋼繊維補強コンクリートの使用でも、全体を通して、中間軸方向鉄筋の座屈長さが伸びる場合があった。

5. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のようなものである。

- 1) 大きく損傷した柱の種類に関係なく、隅角部軸方向鉄筋では横拘束筋間隔で座屈が生ずるが、UN-SFRC柱の中間軸方向鉄筋ではその間隔が120 mmとなると、座屈長さが60 mm~100 mmになることが分かった。
- 2) 材料・構造的観点より、横拘束筋間隔が広くかつ破断ひずみが多いSUS 304筋を使用したUN-SFRC柱は、鉄筋の破断防止で有効な構造形式であると考えられる。
- 3) 全ての軸方向鉄筋を取り替えたRC補修柱では、鉄筋破断も少なく、新品柱と比べ同等かそれ以上の耐荷特性を発揮した。一方、隅角部軸方向鉄筋 (ライズ比: 0.16~0.36) 4本のみを取り替えたUN-SFRC補修柱では、高い余剰耐力を持つと思われる、未補修の中間軸

- 方向鉄筋 (ライズ比: 0.11~0.24) の多くが破断したが、破断本数が少ない場合は高い耐荷特性を呈した。
- 4) ライズ比-余剰耐力関係に基づいた軸方向鉄筋の取り替えは、今後、「適切な補修」を施す上で意義がある。

謝辞: 本研究を遂行するに際し、平成29年度文部科学省科学研究費 (基盤研究 (C)) および中部大学特別研究費Aを得た。ここに謝意を表す。

参考文献:

- 1) 仁平達也: 地震により損傷を受け修復した鉄道RC構造物の性能評価に関する研究, 博士学位論文, 長岡技術科学大学, 2014.
- 2) 亀田好洋, 水野英二: 軸方向鉄筋の破断防止に主眼を置いた鉄筋コンクリート柱の繰返し二軸曲げ耐荷特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.121-126, 2014.
- 3) 近藤貴紀, 亀田好洋, 水野英二: 材料特性の異なるアンボンド型鋼繊維補強コンクリート柱の繰返し二軸曲げ耐荷特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.139-144, 2015.
- 4) 中村敏晴, 松田好史, 垣尾徹ら: 大きな変形履歴を受けた耐震補強柱の再補強後の変形性能に関する研究, 土木学会論文集E, Vol.64 No.4, 580-594, 2008.
- 5) 加藤祥久ら: 阪神高速3号神戸線RC橋脚復旧下部工事施工管理要領について, 「耐震補強・補修技術, 耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集, 土木学会土木施工研究委員会, 土木学会, pp.1-8, 1997.
- 6) 近藤貴紀, 水野英二: 繰返し二軸曲げ載荷下で大きな損傷を受けたRC柱の軸方向鉄筋の座屈性状および余剰耐力に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.97-102, 2017.