

論文 二方向曲げを受ける鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱の繰り返し耐荷特性に関する実験的研究

鈴木 森晶^{*1}・水野 英二^{*2}

要旨: 本研究では、「横拘束筋間隔」、「コンクリートの材料特性」および「荷重パターン」を要因とした鉄筋コンクリート (RC) 柱および鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 柱の二方向繰り返し曲げ実験結果を基に、繰り返し荷重下でのコンクリートの劣化および軸方向筋の座屈性状が RC 柱ならびに SFRC 柱の耐荷性能に与える影響について検証した。横拘束筋間隔が短い ($s = 65 \text{ mm}$) 場合には、SFRC 柱では大変位領域にて軸方向筋の破断が生ずるため、 $s = 120 \text{ mm}$ の方がより靱性的になるという知見を得た。

キーワード: 鋼繊維補強コンクリート柱, 二方向曲げ, 繰り返し耐荷特性, 横拘束筋間隔, 軸方向筋の座屈

1. はじめに

一般に、鉄筋コンクリート (RC) 橋脚を設計する場合、地震動などによる過大かつ多方向からの外力に対して、RC 橋脚が保有する最大耐力に達した後も急激な耐力の低下を生じないように配慮を行うのが望ましい¹⁾。最大耐力以降の領域 (以下、ポストピーク領域) での急激な耐力低下を抑制する一対策として、軸方向筋の座屈発生を出来るだけ抑えることが可能なエネルギー吸収能の高い RC 柱を採用することが考えられる。そのため、1) 一軸方向のみならず多方向からの外力による繰り返し劣化などの破壊進展が RC 部材の耐荷特性に影響を及ぼすメカニズムを解明すること、2) 材料的ならびに構造的な観点から、繰り返し力による内部コンクリートの強度劣化特性ならびに軸方向筋の座屈発生前後の耐荷特性を明確にすることは重要な課題と考える。これまで、RC 柱の軸方向筋の座屈に関する研究²⁾、鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 柱の耐荷特性に関する研究³⁾ など多くの研究が行われているが、二方向荷重下での SFRC 柱の繰り返し耐荷特性の研究については、多くは見られない。

それゆえ、本研究では、既往の研究^{4)~7)}で扱った「横拘束筋間隔」に加え、「コンクリート材料特性」および「荷重パターン」も要因とすることにより、一定軸力下での二軸繰り返し曲げ荷重実験を実施した。「コンクリート材料特性」として、普通コンクリートに加え鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を採用し、「荷重パターン」としては、斜め荷重および矩形荷重を採用した。一軸荷重実験結果⁴⁾と本実験結果を基に、二軸荷重下でのコンクリートの繰り返し劣化性状および軸方向筋の座屈性状が鉄筋コンクリート (RC) 柱および鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 柱のポストピーク領域での耐荷特性⁶⁾に与える影響について検証した。

2. 実験供試体および材料定数

本研究で使用した供試体の形状ならびに配筋の一例を図-1に示す。実験には、断面 $200 \times 200 \text{ mm}$ 、柱有効高さ 1000 mm 、せん断スパン比 5 を有する柱供試体を用いた。供試体は曲げ破壊先行型となるように、軸方向筋には D10 (SD295A) を 8 本、横拘束筋には D6 (SD295A) を柱基部 2D 区間 (D: 柱幅) において

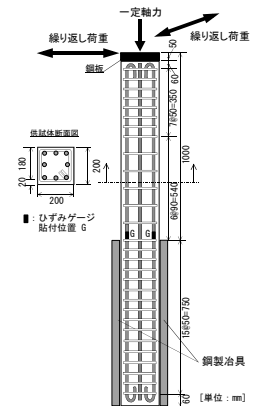


図-1 供試体配筋図

間隔 ($s = 65, 90, 105$ および 120 mm (4 水準) でそれぞれ配筋した。打設コンクリートには、設計基準強度 $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$ を有する (1) 普通コンクリートと (2) 鋼繊維 (直径 0.62 mm 、長さ 30 mm 、断面積 0.302 mm^2) を 1.5% (体積比率) 混入させた補強コンクリートを用いた。実験では、これに荷重パターン (斜め荷重と矩形荷重) を要因に加えた RC 柱供試体 (8 体) ならびに SFRC 柱供試体 (8 体)、計 16 体を作製した。ここで、鉄筋およびコンクリートの材料定数を JIS 規格で定められる材料試験法により求めた材料定数などを表-1 に示す。

3. 荷重実験

3.1 荷重方法

実験では、供試体 (図-1 参照) を鋼製治具に挿入し、高力ボルトにより完全固定の条件となるように、供試体を固定した。荷重は、供試体に鉛直ジャッキにより軸力を作用させると同時に、写真-1 に示す二方向荷重装置を用いて二方向 (X および Y 方向) からの水平変位を柱頂部に与えることにより、繰り返し二軸曲げ荷重実験を

*1 愛知工業大学 工学部都市環境学科土木工学専攻 教授 博士 (工学) (正会員)

*2 中部大学 工学部都市建設工学科 教授 Ph.D. (正会員)

表-1 材料定数および軸力一覧

載荷履歴 [mm]	コンクリート [MPa]		軸方向筋 D10 (SD295A)		横拘束筋 D6 (SD295A)		載荷軸力 [kN]	
	設計基準強度		降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]		
	60							
斜め載荷	65	62.6	342	519	373	583	RC柱	130
	90	64.5						132
	105	64.0						134
	120	61.6						132
矩形載荷	65	61.6	342	519	373	583	SFRC柱	131
	90	61.7						132
	105	65.3						136
	120	61.7						132

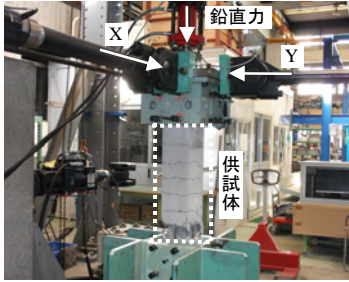


写真-1 二方向載荷装置

実施した。鉛直軸力の大きさは累加軸耐力の5% (130 kN~138 kNの範囲) とし、次節の載荷パターンに基づいて変位制御により水平荷重を作用させた。

3.2 載荷パターン

図-2 に示すような異なる2種類の載荷パターンとして、1) 45° 斜め載荷、2) 矩形 (正方形) 載荷を設定し、柱頂部を二方向 (XおよびY方向) からの水平変位により制御した⁷⁾。

斜め載荷 (図-2 (a)) では、X-Y方向に同時に同一変位を与えることにより、 $\langle 0 \rightarrow +4\delta_y \rightarrow -4\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -8\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rightarrow +16\delta_y \rangle$ の順に実験を実施した。また、矩形載荷 (図-2 (b)) においては、X方向およびY方向の変位を、それぞれ $\langle 0 \rightarrow +4\delta_y \rightarrow -4\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -8\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rightarrow +16\delta_y \rangle$ の順に変化させることにより実験を実施した。ここで、図中の「 δ_y 」は初期載荷での引張側軸方向筋の初期降伏時における柱頭での水平変位 δ (すなわち、本実験では、

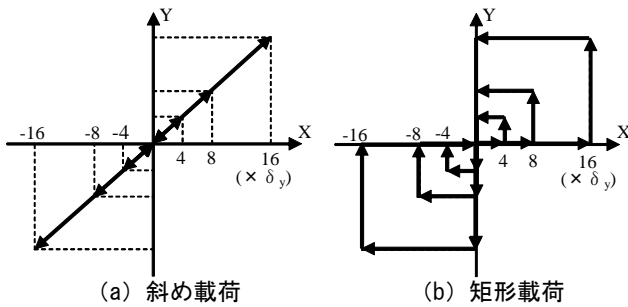


図-2 載荷パターン

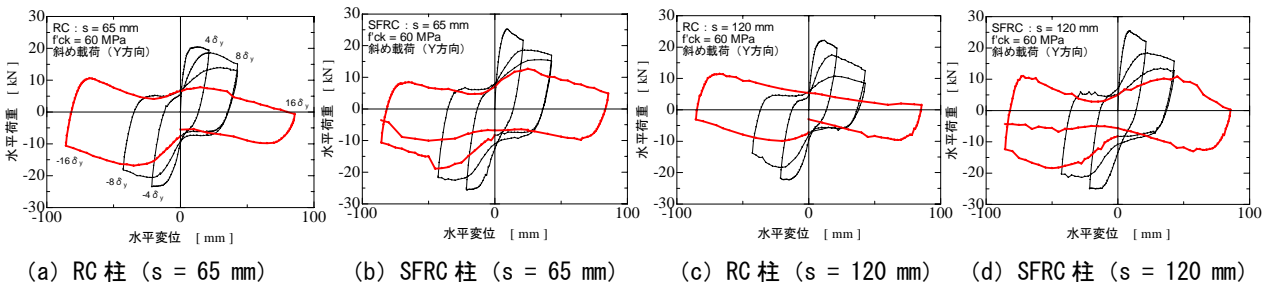


図-3 水平荷重-水平変位関係

軸方向筋のひずみが $2,000\mu$ に達した時の降伏水平変位) を意味する。斜め載荷用の RC 供試体の一方向載荷実験 (予備実験) により、 $\delta_y = 5.35$ mm を得た。一方、矩形載荷用の RC 供試体の一方向載荷実験 (予備実験) により、 $\delta_y = 6.0$ mm を得た。よって、本実験では、斜め載荷では $\delta_y = 5.35$ mm、矩形載荷では $\delta_y = 6.0$ mm を採用した。ただし、SFRC 柱では、実際の δ_y はそれよりも大きな値 (およそ 8 mm) となったことを付記する。

4. 実験結果および考察

4.1 水平荷重-水平変位関係

(1) 斜め載荷

RC 柱供試体と SFRC 柱供試体の変形挙動を比較するため、一例として、横拘束筋間隔 $s = 65$ mm および 120 mm を有する供試体に対する斜め載荷実験から得た、水平荷重-水平変位関係 (Y-方向) を図-3 (a) ~ (d) (最終ループは赤線で表示) に示す。X-方向の水平荷重-水平変位関係については、Y-方向のものとほぼ一致していたため、ここでは割愛する。普通コンクリートおよび鋼繊維コンクリートの圧縮強度は 62 MPa~ 65 MPa の範囲にあり概ね同一であるが、 $4\delta_y$ までの初期載荷で、鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 供試体の最大耐力は $s = 65$ mm および 120 mm とともに 25 kN となり、普通コンクリート (RC) 供試体のそれら ($s = 65$ mm : 20.4 kN, $s = 120$ mm : 22.4 kN) よりも高い値を示す。この理由としては、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ことが考えられる。文献4)に示す、同一のコンクリート強度 (60 MPa) を有する RC 柱の一方向繰り返し載荷実験結果によれば、最大耐力は 27.3 kN~ 28.8 kN であり、本実験での RC 柱の合成最大耐力 (29.4 kN, 30.8 kN) と概ね一致した値を示す。

「横拘束筋間隔」および「コンクリート材料特性」の違いによる SFRC 柱および RC 柱の変形挙動に関する主な特徴として、以下のことが挙げられる。

- i) これまでの研究⁴⁾⁵⁾から分かっているように、RC 柱では横拘束筋間隔が大きくなるに従い、各除荷および再載荷での耐力低下が大きくなる傾向にある。
- ii) 一方、SFRC 柱では、横拘束筋間隔に関係なく繰り返し

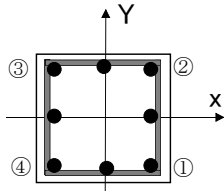


図-4 軸方向筋番号

返し載荷時における耐力低下に大きな差異が見られない。RC 柱のそれと比較して、低下率は小さい。これは、SFRC 柱では、鋼繊維コンクリート強度の繰り返し劣化が緩やかなためコンクリートの剥落が抑制され、軸方向筋の座屈挙動が抑えられることによると考えられる。

- iii) RC 柱では、 $s = 65 \text{ mm}$ の場合を除く他のケースにおいて、 $-4 \delta_y \rightarrow +8 \delta_y$ に至る再載荷経路上（ゼロ変位以前）、図-4 に示す軸方向筋②が最初に座屈することを確認した。一方向繰り返し載荷実験⁴⁾での座屈発生（ $-8 \delta_y \rightarrow +8 \delta_y$ にて発生）と比較して、低変位レベルでの繰り返し載荷で座屈が生ずる。
- iv) SFRC 柱では、ほとんどの場合（ $s = 120 \text{ mm}$ の場合を除く）において大変位レベル（例えば、 $+8 \delta_y \rightarrow -8 \delta_y$ 、 $-8 \delta_y \rightarrow +8 \delta_y$ 、 $+8 \delta_y \rightarrow -16 \delta_y$ ）での除荷・再載荷経路上で、座屈が発生することを確認した。座屈の発生が少ない反面、多くの軸方向筋が破断した。一方、RC 柱では、横拘束筋間隔が短い場合（ $s = 65 \text{ mm}$ および $s = 90 \text{ mm}$ ）に、軸方向筋の破断が $-16 \delta_y \rightarrow +16 \delta_y$ の載荷経路で生じた。
- v) $s = 65 \text{ mm}$ の SFRC 供試体と比べて、 $s = 120 \text{ mm}$ の SFRC 供試体の方が軸方向筋の破断が少ないため、大変位領域にて大きな耐力特性を示した。

(2) 矩形載荷

斜め載荷の場合と同様、横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$ および 120 mm を有する供試体に対する矩形載荷実験から得た、水平荷重-水平変位関係（X-方向）を図-5 (a) ~ (d) に示す。Y-方向の水平荷重-水平変位関係については、ここでは割愛する。X-方向の初期載荷（ $0 \delta_y \rightarrow +4 \delta_y$ ）にて、SFRC 柱は最大耐力 35 kN 、一方、RC 柱は最大耐力 28 kN を示す。この差異は、前述したように、鋼繊維補強コンクリートの引張強度が高いことによる。ちなみに、RC 柱の最大耐力 28 kN は、文献 4) の一方向繰り返し載荷実験の最大耐力 $27.3 \text{ kN} \sim 28.8 \text{ kN}$ とほぼ一致した結果となる。

SFRC 柱および RC 柱の変形挙動に関する主な特徴として、以下のことが挙げられる。

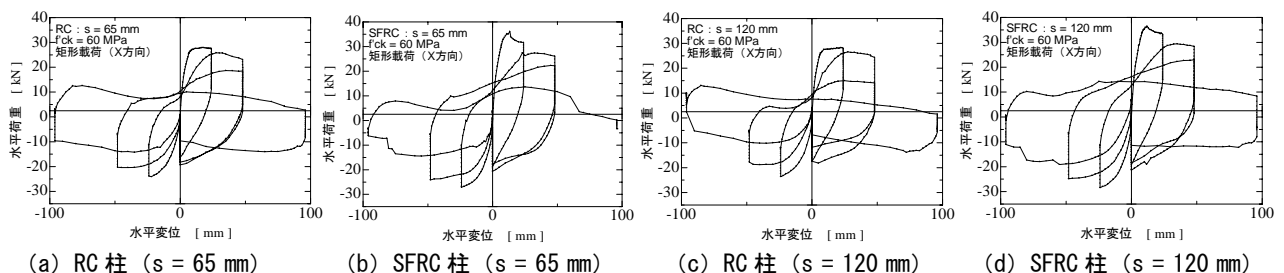


図-5 水平荷重-水平変位関係

- i) 前述した、斜め載荷の考察 (1) および (2) と同様のことが確認できる。
- ii) RC 柱では、早い段階の載荷経路上、例えば、 $-4 \delta_y \rightarrow +8 \delta_y$ 、 $+8 \delta_y \rightarrow -8 \delta_y$ に至る除荷・再載荷経路上にて、軸方向筋②に座屈が発生することを確認した。その後、軸方向筋④→③→①（図-4 参照のこと）の順に座屈が発生した。
- iii) 斜め載荷の場合と同様、SFRC 柱では、大変位レベルに至る載荷経路（例えば、 $+8 \delta_y \rightarrow -8 \delta_y$ 、 $-8 \delta_y \rightarrow +8 \delta_y$ 、 $+8 \delta_y \rightarrow -16 \delta_y$ ）上で、座屈が発生した。座屈の発生が少ない反面、多くの軸方向筋破断が生じた。 $s = 65 \text{ mm}$ の SFRC 柱では、6 本の軸方向筋が破断したため、実験を中止したことを付記する。一方、RC 柱では、横拘束筋間隔が短い場合（ $s = 65 \text{ mm}$ ）にのみ、軸方向筋の破断が $-16 \delta_y \rightarrow 16 \delta_y$ の載荷経路上で生じた。

各除荷・再載荷経路での耐力特性については、次節で詳細な考察を行う。

4.2 除荷および再載荷点を基準とした耐力特性

本節では、二軸繰り返し曲げを受ける RC 柱のポストピーク領域での耐力性能を詳細に考察するため、前節で考察した水平荷重-水平変位関係（例えば、図-3 および図-5 を参照）を構成する除荷および再載荷曲線の開始点を基準として整理した「耐力-変位曲線」の考え方を用いる⁶⁾。

一例として、横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$ および 120 mm を有する RC および SFRC 供試体の斜め載荷下での実験結果を整理して得た耐力-変位曲線を図-6 (a) ~ (d) にそれぞれ示す。ここでは、耐力および変位は、X および Y 方向成分を合成した量を使用し、耐力-変位曲線を作成してある。なお、図中の丸数字は、奇数は除荷曲線、偶数は再載荷曲線を意味し、大きい数字ほど、あとの除荷・再載荷曲線に対応する。以下、各載荷下での柱のポストピーク領域での耐力特性を考察する。

(1) 斜め載荷下での耐力特性

図-6 から分かるように、RC 柱（ $s = 65 \text{ mm}$ ）では $+8 \delta_y \rightarrow -8 \delta_y$ （曲線③）までは、図-7 に示す「耐力-変位曲線」の概念図にある限界曲線に漸近するように、耐力が上昇・下降する挙動（曲線 A）を呈するのに対し、

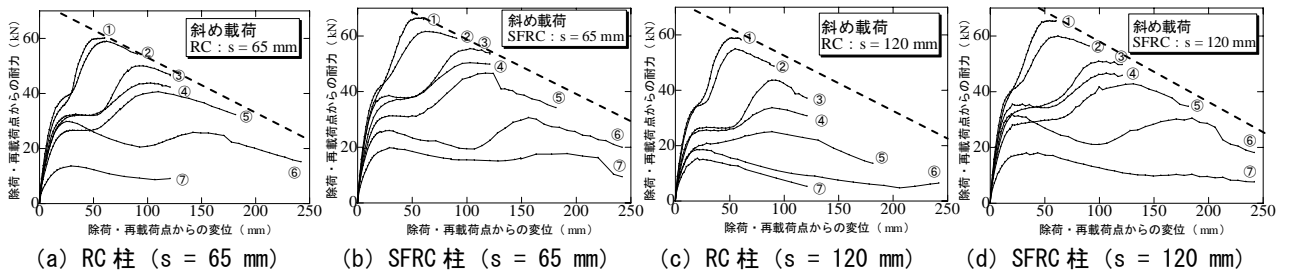


図-6 耐力-変位曲線

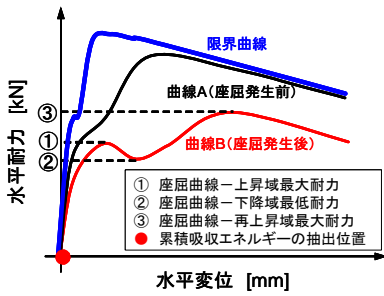


図-7 耐力-変位曲線の概念図

$-8\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ の荷重過程 (曲線④) では、一旦、耐力が一定または減少した後に、再度上昇し、限界曲線 (図-6 中の破線) と同様な勾配で下降する挙動

-8 に示す。ここでは、一例として横拘束筋間隔 $s = 120$ mm の RC 柱 (図-6 (c)) および SFRC 柱 (図-6 (d)) の耐力特性を検証する。図中、一方向繰り返し荷重下での耐力-変位曲線は破線、斜め荷重下での曲線は太線で示してある。一方向繰り返し荷重下の耐力特性と比べて、斜め荷重下の RC 柱の耐力特性は、全体的に小さく、より急な勾配を有する限界曲線を呈する。一方、SFRC 柱では、曲線①および②にて大きな耐力特性となるが、限界曲線および耐力特性は概ね類似したものとなる。ただし、 $-16\delta_y \rightarrow +16\delta_y$ (曲線⑥) の荷重にて、軸方向筋の座屈発生を示す顕著な耐力特性を示す。これは、内部コンクリートがそれ程劣化していないことによる。結論として、横拘束筋間隔が 120 mm と長い場合には、斜め荷重下での RC 柱の耐力特性は小さくなるが、SFRC 柱を採用すれば、斜め荷重下でも一方向繰り返し荷重下と同様な耐力特性を保持することが可能となる。

(曲線 B) を呈する。さらに、RC 柱 ($s = 120$ mm) では $-4\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ (曲線②), SFRC 柱 ($s = 60$ mm) では $-8\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ (曲線④), SFRC 柱 ($s = 120$ mm) では $-8\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ (曲線④) を境として、曲線タイプ A から曲線タイプ B へと変遷するように見える。軸方向筋の座屈は、この曲線タイプ B の荷重過程で生ずると考えられる⁵⁾。以下に、それら 4 ケースに対して考察を行う。

(2) 矩形荷重下での耐力特性

- i) RC 柱では、横拘束筋間隔が $s = 120$ mm と長くなれば座屈も早い時期に生じ、耐力の低下が顕著となる。一方、RC 柱 ($s = 65$ mm) では、座屈発生後の耐力低下はあるものの SFRC 柱の耐力特性に類似した挙動を示す。
- ii) SFRC 柱では、横拘束筋間隔が $s = 65$ mm と短い場合には、座屈の発生も抑制され高い耐力特性を示すが、 $+8\delta_y \rightarrow -16\delta_y$ (曲線⑤) にて軸方向筋の破断が生じた後は、耐力特性は SFRC 柱 ($s = 120$ mm) のそれよりも小さいものとなった。
- iii) 最終的には、SFRC 柱 ($s = 65$ mm) のエネルギー吸収能が一番高くなった。

図-9 に示すように、矩形荷重の 1 サイクルは 4 種類の変形経路の組み合わせであると考えられる。(1) 経路 A (③→④→⑤→⑥) : これは、始点と終点と同じである斜め荷重の除荷に相当する。(2) 経路 B (⑦→⑧→①→②) : これは、始点と終点と同じである斜め荷重の再荷重に相当する。(3) 経路 C (④→⑤) : 一方向繰り返し荷重の $-Y$ 方向への荷重に相当する。(4) 経路 D (⑧→①) : 一方向繰り返し荷重の X 方向への荷重に相当する。以下では、(I) 経路 A および経路 B の耐力特性と斜め荷重の耐力特性、(II) 経路 C および経路 D の耐力特性と一方向繰り返し荷重の耐力特性を比較・検討する。なお、(I) では、経路 A の X 方向-耐力特性と斜め荷重 (除荷曲線) の X 方向-耐力特性、さらに経路 B の Y 方向

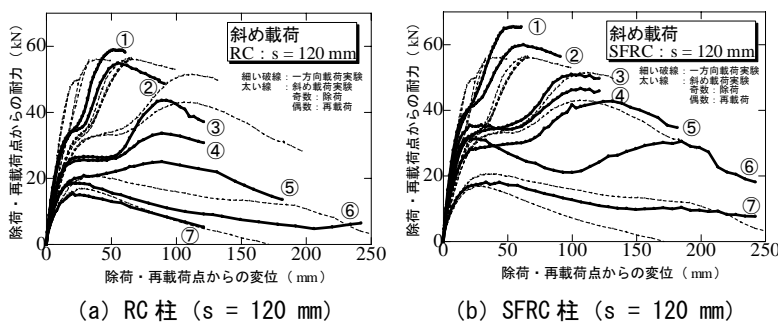


図-8 耐力-変位曲線 (斜め荷重と一方向繰り返し荷重との比較)

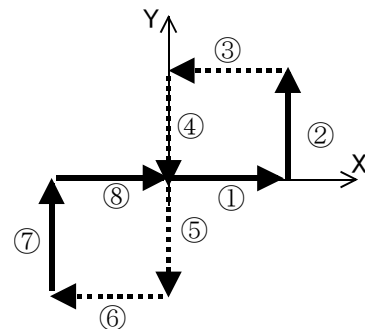


図-9 矩形荷重経路 (4 種類)

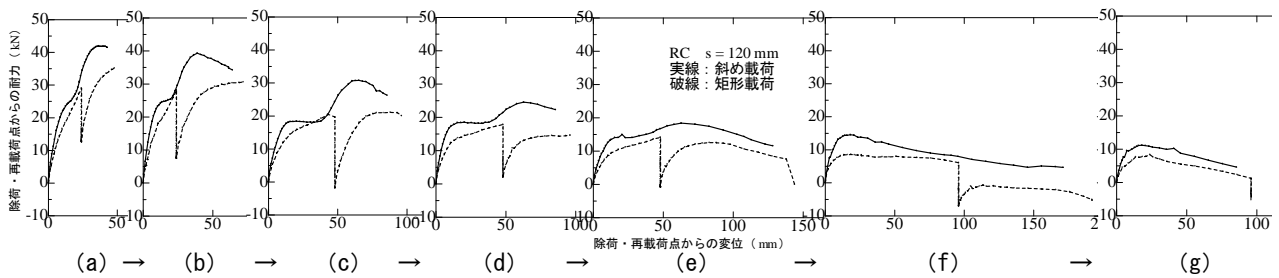


図-10 斜め載荷と矩形載荷下での RC 柱の耐荷特性の比較 (s = 120 mm)

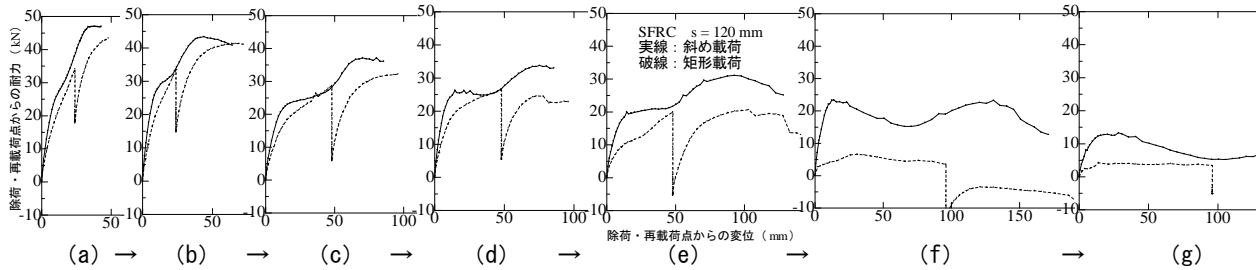


図-11 斜め載荷と矩形載荷下での SFRC 柱の耐荷特性の比較 (s = 120 mm)

一耐荷特性と斜め載荷(再載荷曲線)のY方向一耐荷特性とを比較する。

上記(I)の検討結果の一例を図-10および図-11に示す。図-10はRC柱(s = 120 mm)、図-11はSFRC柱(s = 120 mm)に対する結果である。図中、実線は斜め載荷実験からの耐荷特性、破線は矩形載荷実験からの経路Aおよび経路Bの耐荷特性である。各サイクルでの耐荷特性から分かるように、SFRC柱の耐力はRC柱のそれよりも大きい、RC柱およびSFRC柱とも矩形載荷下での耐力の方が低い。これは、同一の変位点(例えば、経路Aおよび経路Bの始点)に到達するまでに、矩形載荷の方が多くのエネルギーを吸収しているため、RC柱およびSFRC柱にはより大きな損傷が生じている。よって、矩形載荷の経路Aおよび経路Bの初期剛性は小さく、さらに経路途中でパス④→⑤により-Y方向に、パス⑧→①によりX方向に損傷が与えられる(図中の耐力低下)ため、パス⑥、②での耐荷特性はより小さくなる。

上記(II)の検討結果の一例を図-12に示す。図-12(a)はRC柱(s = 120 mm)、図-12(b)はSFRC柱(s = 120 mm)に対する結果である。図中、太い実線は矩形載荷:経路C(④→⑤)の耐荷特性(図中の奇数)、経路D(⑧→①)の耐荷特性(図中の偶数)、細い破線は一方

向繰り返し載荷の耐荷特性である。各サイクルでの耐荷一変位特性から分かるように、SFRC柱およびRC柱ともに、全体的な耐荷特性は一方向繰り返し載荷の耐荷特性よりも低い。これは経路C(④→⑤)、経路D(⑧→①)の開始点に到達するまでに、矩形載荷の方がX方向ならびにY方向にRC柱およびSFRC柱にはより大きな損傷が生じているため、矩形載荷の経路C(④→⑤)、経路D(⑧→①)の耐荷特性は小さくなる。矩形載荷:経路C(④→⑤)および経路D(⑧→①)の耐荷特性は、両柱とも一方向繰り返し載荷の耐荷特性の縮小型と概ね見ることが出来る。

4.3 破壊性状

斜め載荷および矩形載荷下でのRC柱(s = 120 mm)およびSFRC柱(s = 120 mm)の+X方向および-Y方向からの最終破壊状況を写真-2(a)~(d)に示す。以下、それらに対する考察を述べる。

(1) 載荷パターンによる違い

斜め載荷では、コンクリートの破壊領域は、載荷方向に集中して生ずる(写真-2(a),(b))。一方、矩形載荷は、載荷方向がX方向およびY方向と様々であるため全面のかぶりコンクリートが剥落し、斜め載荷に比べ破壊域が広がった(写真-2(c),(d))。RC柱では、矩形

載荷の方がコアコンクリートの損傷が大きい、SFRC柱では、斜め載荷も矩形載荷も一部の剥落で留まっている。また、かぶりコンクリートの剥落領域については、横拘束筋間隔の違いによる差異は顕著ではなかった。

軸方向筋の座屈性状やコンクリートの破壊領域には、経路の違いによる影響がみられた。すなわち、同一の変位に達した場合でも、軸方向筋やコンクリートの損傷程度に違いがみられ、

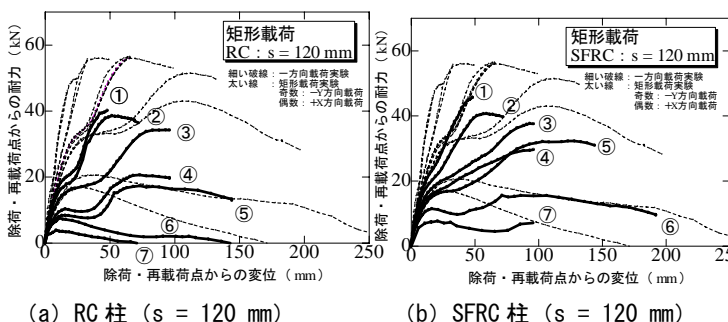
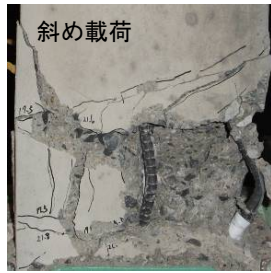
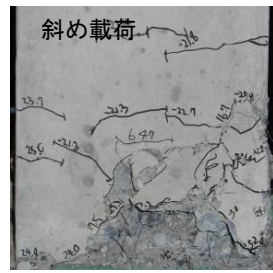


図-12 耐力-変位曲線(矩形載荷と一方向繰り返し載荷との比較)



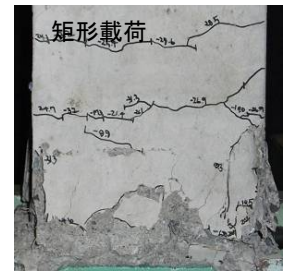
(a) RC 柱 ($s = 120 \text{ mm}$)



(b) SFRC 柱 ($s = 120 \text{ mm}$)



(c) RC 柱 ($s = 120 \text{ mm}$)



(d) SFRC 柱 ($s = 120 \text{ mm}$)

写真-2 最終破壊状況

載荷経路による依存性が関係していると考えられる。斜め載荷では載荷方向に沿うように軸方向筋の座屈の向きが揃っているが、矩形載荷では、座屈による軸方向筋のはらみ出し方向は一定ではない。ただし、SFRC 柱では、かぶりコンクリートの剥落が少ないため、RC 柱と比べて、この傾向は顕著ではなかった。

(2) RC 柱と SFRC 柱による違い

コンクリートの破壊域は、斜め載荷も矩形載荷も SFRC 柱では、かぶりコンクリートが 1 段目の横拘束筋の下の部分でしか剥落が起きず、破壊域が基部に集中している結果となった(写真-2 (d))。RC 柱では、基部から 130 mm 程度の領域に広がっていた(写真-2 (c))。ひび割れは、RC および SFRC にかかわらず横拘束筋の位置を中心に発生している。しかし、SFRC 柱では基部のひび割れのみが大きくなっていく結果が得られた。これは、SFRC は引張強度が高く、SFRC 柱の方が RC 柱に比べて基部付近にひび割れが分散することなく損傷が集中したためと考えられる。軸方向筋の座屈に関しては、SFRC 柱供試体はかぶりコンクリートの剥落が基部に集中するため、斜め載荷および矩形載荷とも SFRC 柱の方が RC 柱より曲率が大きい座屈性状を呈した。

5. まとめ

- 1) 斜め載荷および矩形載荷下での変形特性として、SFRC 柱は、RC 柱よりも大きな耐力を大変位領域まで維持することが出来る(第 4 章 1 節)。
- 2) RC 柱では、繰り返しによりコアコンクリートの劣化とともに軸方向筋の座屈が多く箇所で生ずる。一方、SFRC 柱では、コンクリートの劣化が遅いため座屈の発生が抑制される反面、多くの軸方向筋の破断が生じた。 $s = 120 \text{ mm}$ の SFRC 供試体の方が軸方向筋の破断が少ないため、大変位領域にて大きな耐荷特性を示した(第 4 章 1 節)。
- 3) 除荷および再載荷曲線の開始点を基準として整理した「耐力-変位曲線」を考察した結果、斜め載荷下での SFRC 柱の耐荷特性は、一方向繰り返し載荷の耐荷特性と同様の傾向を呈することが分かった(第 4 章 2 節)。
- 4) 矩形載荷下での SFRC 柱の耐荷特性は、斜め載荷およ

び一方向繰り返し載荷の耐荷特性と比べて低い傾向を呈することが分かった(第 4 章 2 節)。

- 5) SFRC 柱では、軸方向筋の座屈または破断による耐力の低下は、横拘束筋間隔による影響はないことを確認した。(第 4 章 2 節)。
- 6) SFRC 柱では、柱基部の破壊領域は小さく、SFRC 柱の方が RC 柱よりも曲率が大きい座屈性状を呈した。(第 4 章 3 節)。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、平成 22-24 年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C) 22560488 代表：水野英二)、中部大学特別研究費 A(代表：水野英二)および愛知工業大学耐震実験センターの研究助成を得た。また、愛知工業大学の大学院生：水野憲司君、学部生：永谷勇樹君には、実験遂行にて多大な協力をいただいた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献：

- 1) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート構造物のポストピーク挙動評価と設計への応用，2003。
- 2) 例えば、須田久美子ら：交番繰り返し荷重下における柱筋の座屈挙動，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16, No.2, pp.467-472, 1994。
- 3) 例えば、木村秀樹ら：鋼繊維を混入した高強度コンクリート RC 柱に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.25, No.2, pp.235-240, 2003。
- 4) 亀田好洋ら：一方向繰り返し曲げを受ける鉄筋コンクリート柱の変形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.31, No.2, pp.139-144, 2009.7。
- 5) 鈴木森晶・水野英二：繰り返し力を受ける RC 柱の破壊領域での主鉄筋座屈性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.2, pp.151-156, 2010.7。
- 6) 亀田好洋・鈴木森晶・水野英二：ポストピーク領域における鉄筋コンクリート柱の繰り返し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.33, No.2, pp.199-204, 2011.7。
- 7) 鈴木森晶・水野英二：二方向繰り返し力を受ける RC 柱の載荷履歴が変形性状に及ぼす影響に関する実験的研究，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol. 67, No.2(応用力学論文集 Vol.14) ,I_1313-I_1320, 2011.9。