

二軸載荷下の RC 柱における軸方向筋の座屈抑制手法に関する 実験的研究

An Experimental Study on the buckling suppression technique for rebar of the RC pillar under biaxial loading

水野憲司[†], 鈴木森晶^{††}, 水野英二^{†††}
Kenji MIZUNO, Moriaki SUZUKI Eiji MIZUNO

Abstract In the present paper, the bi-axial cyclic loading tests of four types of RC pillar under the two type of loading histories have been performed. Four types of RC pillar are respectively RC pillar SFRC column and RC pillar with the intermediate reinforcements. The flexural strength and ductility of four types of RC pillar have been examined in details in the post-peak loading area. Furthermore, the energy absorption capacities, the buckling behavior of re-bar have been discussed during cyclic loading. It has been found that the use of intermediate reinforcements and SFC may be effective to make the plastic hinged zone of column more ductile, particularly for the column with wide interval of hoop tie, i.e., the interval of 120 mm in the present study.

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、古い基準で設計された鉄筋コンクリート(RC)橋脚やRC構造の柱が大きな被害を受けた。震災後の被害分析から、横拘束筋の配筋量および定着状態がRC構造物の保有する最大耐力に達した後(以下、ポストピーク領域)における変形性能に大きな影響を与えることが分かってきた¹⁾。これ以降、RC構造物の耐震性能の向上ならびにポストピーク領域での力学的挙動の解明を目的とした実験的ならびに解析的研究が精力的に行われ、耐震設計基準も改訂されてきた。これらより、軸方向筋の座屈がRC構造物のポストピーク領域での挙動に大きな影響を与えることが示されてきた²⁾。

一般に合理的な安全率を有するRC構造物を設計する場合、地震動などによる多方向からの外力に対して、ポストピーク領域における、急激な耐力の低下を生じないような配慮を行うことが望ましい^{2)~3)}。

これまで、「横拘束筋間隔」、「コンクリート圧縮強度」および「載荷経路」を要因とした、一方向および二方向繰り返し曲げ実験を基に、RC柱の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を目的に研究を行ってきた^{11)~13)}。それらの結果により、軸方向筋の座屈挙動は、「横拘束筋間隔」および「載荷経路」が大きな影響を与えることが分かっている。

そこで本研究では、これまでに扱った「横拘束筋間隔」および「載荷経路」に加え、軸方向筋の座屈現象を抑えるため「コンクリートの材料特性」および「中間補強筋の配置形状」を要因として、一定軸力下での二方向繰り返し曲げ載荷実験を実施した。「コンクリートの材料特性」として、かぶりコンクリートの剥落を抑制し、軸方向筋の拘束効果を高める鋼繊維補強コンクリート(SFC)を採用した。「中間補強筋の配置形状」としては、軸方向筋を直接拘束して、座屈を抑制するため、軸方向筋を結ぶように十字型およびX字型の2種類の配置形状を選定した。「載荷経路」としては、斜め載荷および矩形載荷を用いた。これらの実験結果より、二方向曲げ載荷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挙動がSFRC柱および中間補強筋付きのRC柱のポストピーク領域における耐荷特性に与える影響についてエネルギー吸収能および破壊進展の観点から検証する。

[†] 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

^{††} 愛知工業大学 都市環境学科 土木工学専攻

^{†††} 中部大学 工学部 都市建設工学科

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本研究で使用した供試体の断面形状ならびに配筋の一例を図-1 に示す。実験には、断面寸法 200×200 mm、柱有効高さ 1000 mm、RC 柱供試体 24 本と SFRC 柱供試体 8 本の計 32 本を用いた。供試体は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、軸方向筋には D10 (SD295A) を 8 本、横拘束筋には D6 (SD295A) を柱基部より 2D 区間 (D: 柱幅) において間隔 $s = 65, 90, 105$ および 120 mm (4 水準) でそれぞれ配筋した。

中間補強筋を配筋する供試体には D6 (SD295A) を横拘束筋間隔の中央部に配筋した。中間補強筋の配置形状を図-1 (b) に示す。中央部の軸方向筋を繋いだ十字型および隅角部の軸方向筋を繋いだ X 字型を設定した (以下、十字型 RC 柱および X 字型 RC 柱)。通常の RC 柱および中間補強筋を有する RC 柱の打設コンクリートには、設計基準強度 $f_{ck} = 60$ MPa を有する普通コンクリートを用いた。

SFRC 柱には、鋼繊維 (直径 0.62 mm、長さ 30 mm、断面積 0.302 mm²) を 1.5% (体積比率) 混入させ、RC 柱と同等の設計基準強度を有する鋼繊維補強コンクリートを用いた。

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、表-1 に示す。

2.2 荷装置

実験に用いた荷装置と供試体の全景を写真-1 に示す。供試体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。供試体頂部に鉛直ジャッキにより軸力を作用させ、同時に、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、二方向繰返し曲げ荷重実験を実施した。軸力は上部構造重量を想定し、累加軸耐力の 5% (118kN-138kN) を荷重して、次節の荷重経路に基づき変位制御により水平荷重を作用させた。

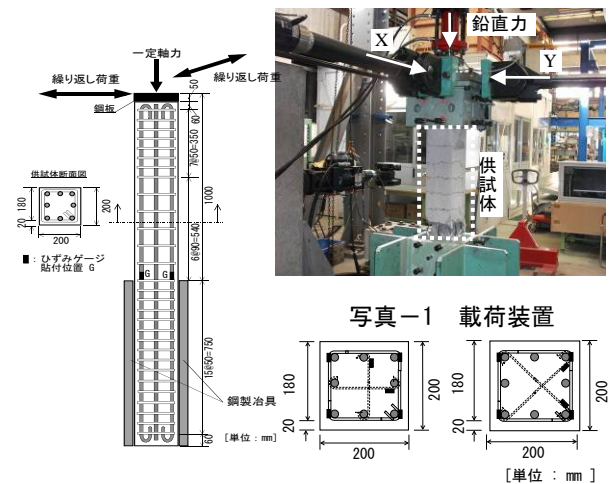
2.3 荷経路

本研究では、図-2 および 3 に示すように (1) 45°方向の斜め荷重、(2) 矩形 (正方形) 荷重の 2 種類の異なる荷重経路を設定し、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。

斜め荷重 (図-2) では、X-Y 軸に 45°傾けた方向に同時に同一変位を与えることにより、 $\langle 0 \rightarrow +4\delta_y \rightarrow -4\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -8\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rightarrow +16\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rangle$ の順に実験を実施した。また、矩形荷重 (図-3) において

表-1 材料定数

荷履歴	コンクリート 設計基準強度 60 [MPa]				軸方向筋 D10 (SD295A)				横拘束筋 D6 (SD295A)				荷軸力 [kN]					
	RC 補強筋 なし	SF RC	RC 補強筋 あり	RC 補強筋 なし	降伏強度 [MPa]		引張強度 [MPa]		降伏強度 [MPa]		引張強度 [MPa]		RC 補強筋 なし	SF RC	RC 補強筋 あり			
					RC SFRC	RC 補強筋 あり	RC SFRC	RC 補強筋 あり	RC SFRC	RC 補強筋 あり								
斜め荷	65	62.6	64.0	55.1	342	403	519	608	373	426	583	583	130	118				
90	64.5	61.8	61.3	136											131	131		
105	64.5	61.8	62.6														134	133
120	62.6	64.0	62.3															
矩形荷	65	61.6	61.7	55.1	342	403	519	608	373	426	583	583	131	118				
90	65.3	63.8	61.3	138											136	131		
105	65.3	63.8	62.6														131	132
120	61.6	61.7	62.5															



(a) 供試体配筋図 (b) 中間補強筋配置図

図-1 供試体概要

は、X 方向および Y 方向の変位を、それぞれ $\langle 0 \rightarrow +4\delta_y \rightarrow -4\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -8\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rightarrow +16\delta_y \rightarrow 0 \rangle$ の順に交互に変化させ実験を実施した。ここで、図中の「 δ_y 」は初期荷重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_y (本研究では、軸方向筋のひずみが $2,000\mu$ に達した時の水平変位) を意味する。なお、RC 供試体を用いた一方向荷重の予備実験により、斜め荷重では $\delta_y = 5.35$ mm を得た。矩形荷重では $\delta_y = 6.0$ mm を得た。

3. 座屈抑制効果の検証

3.1 水平耐力-水平変位関係

SFC および中間補強筋による耐荷特性の向上を検証するため、一例として 4 種類の供試体での $s = 65$ mm に対する斜め荷重および矩形荷重での水平耐力-水平変位関係を図-4 および 5 に示す。また、すべての図において、縦軸は水平耐力、横軸は水平変位をとっている。

(1) 斜め荷重

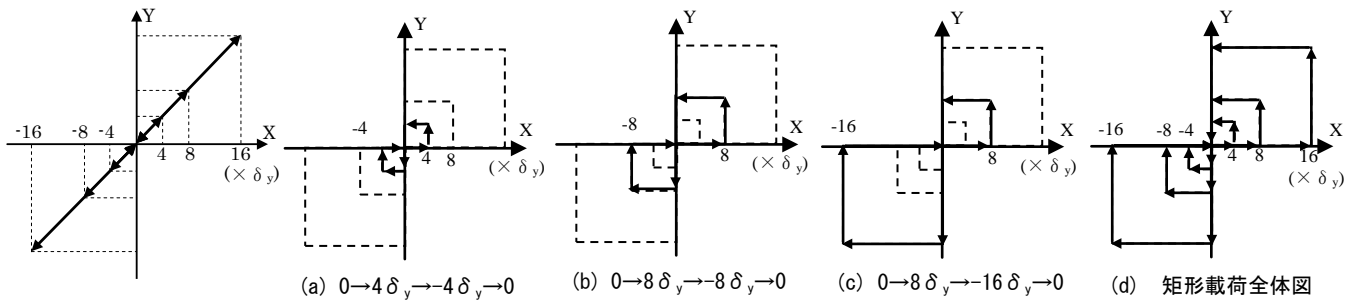


図-2 斜め載荷 (45°)

Y方向の水平耐力-水平変位関係については、X方向の履歴と概ね一致していたため、ここでは割愛する。4 δ_y までの初期載荷で、普通コンクリートおよび鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度は55~65MPaの範囲に収まっているが、最大耐力について比較を行うと、斜め載荷においてSFRCはRCに比べ約1.3倍の耐力を示した。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よりも高いことが考えられる。一方、中間補強筋を有する供試体では、RC柱と同等の耐力を示した。このことより中間補強筋は、ほとんど曲げ耐力に影響を与えていないことが分かる。これらのことは横拘束筋間隔が異なる場合でも、同様な傾向を示した。

(2) 矩形載荷

Y方向の水平耐力-水平変位関係についてはここでは割愛する。斜め載荷と同様に圧縮強度に多少差があるが、最大耐力については同程度(28kN~29kN)となった。横拘束筋間隔が異なる場合でも同じ傾向となった。

3.2 除荷および再載荷点を基準とした耐荷特性の比較

本節では、中間補強筋付きRC柱のポストピーク領域での耐荷性能をRC柱およびSFRC柱の耐荷性能と詳細に比較・考察するため、水平耐力-水平変位関係(図

4および図5)を構成する除荷・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」の考え方をを用いる。

「耐力-変位曲線」は、図6の概念図に示すような3種類の曲線、すなわち、(1)図中の限界曲線(RC柱のP- δ 曲線)に漸近するように、耐力が上昇・下降する挙動(曲線A)、(2)一旦、耐力が一定または減少した後、再度上昇し、限界曲線と同様な勾配で下降する挙動(曲線B)に分類できる。軸方向筋の座屈発生により、曲線Aは曲線Bへと移行すると考えられる。一例として図4(a)に曲線A(太線)およびB(破線)を示す。以下に、4種類のRC柱(RC柱、SFRC柱および中間補強筋付きRC柱)の「耐力-変位曲線」を用いて、これらRC柱の耐荷特性に関する検討を行う。

3.2.1 斜め載荷

横拘束筋間隔 $s = 65, 90, 105$ および 120mm を有する4種類の供試体(計16本)の斜め載荷下での二方向曲げ載荷実験での結果より得られた耐力-変位曲線をそれぞれ供試体の種類ごとの比較を図7(a)~(d)に示す。なお、図中の丸数字(①~⑦)の奇数は徐荷曲線、偶数は再載荷曲線を意味し、左側は低変位での載荷履歴であ

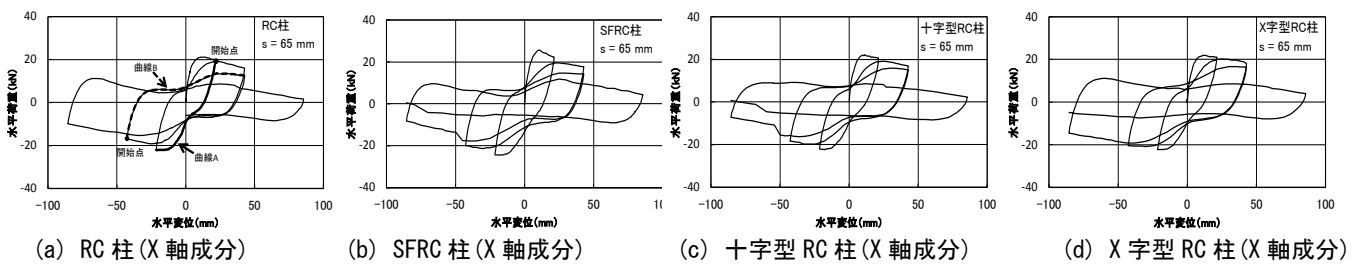


図-4 斜め載荷 水平耐力-水平変位関係 (s=65 mm : X軸)

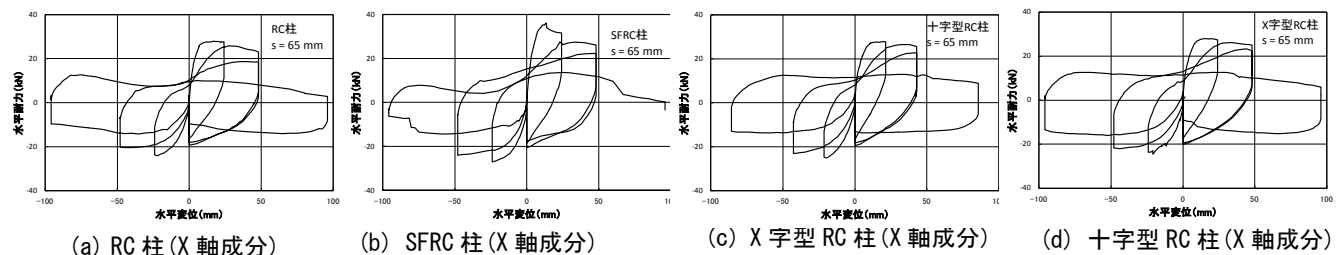


図-5 矩形載荷 水平耐力-水平変位関係 (s=65 mm : X軸)

り、右に移行するほど大変位での載荷履歴となっている。

図-7 から分かるように供試体の種類によらず、載荷経路③までは図-6 に示す限界曲線に漸近するような挙動（曲線 A）を示すが、 $+8\delta_y$ から $-16\delta_y$ までの載荷経路④以降では、一度、耐力が減少した後に、再度上昇する挙動（曲線 B）を示した。ただし横拘束筋間隔の小さな場合や X 字型 RC 柱および SFRC 柱では、顕著な耐力低下はみられなかった。

4 種類の供試体において、文献 11) と同様に、横拘束筋間隔が大きくなるに従い、各徐荷および再載荷での耐力低下が大きくなる傾向が確認された。中間補強筋を配筋した場合でも、同様の結果が得られた。ただし SFRC 柱に関しては、他の供試体よりもその差は少なかった。

図-7 (c) に示す十字型 RC 柱では、すべての横拘束筋間隔において、載荷経路④までは配筋されていない RC 柱よりも約 1.1 倍の耐力を示した。しかし横拘束筋間隔が最も密に設定してある $s = 65 \text{ mm}$ では載荷経路⑤以降

では、軸方向筋の破断による耐力の急激な低下がみられ、耐力の上昇はみられなかった。

これは、中間補強筋により軸方向筋の座屈が抑えられ、耐力の低下を抑えることができたが、そのため軸方向筋の損傷が集中したためであると考えられる。

図-7 (d) に示す X 字型 RC 柱では、十字型 RC 柱と同じく耐力の上昇がみられた、しかし上昇の幅は約 1.2 倍と十字型 RC 柱よりも高く、 $s = 65 \text{ mm}$ では軸方向筋の破断はみられなかった。

図-7 (b) に示す SFRC 柱では、載荷経路④まではす

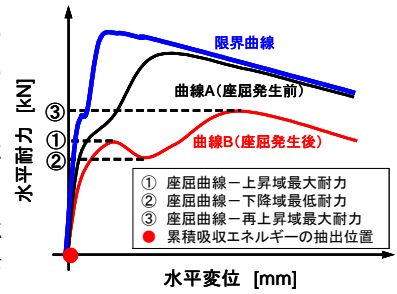


図-6 耐力-変位曲線の概念図

図-8 矩形載荷経路 (2 種類)

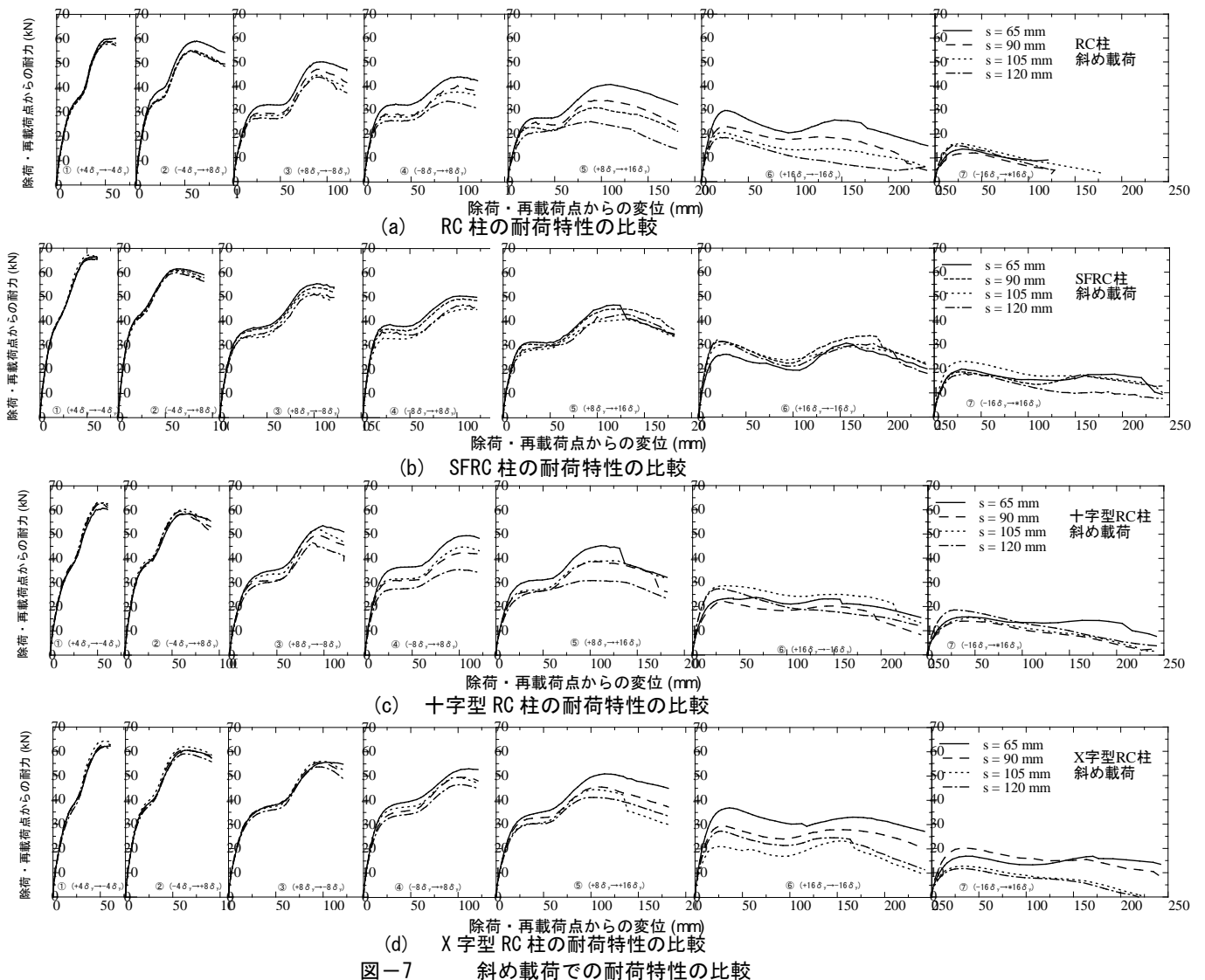


図-7 斜め載荷での耐力特性の比較

すべての供試体で高い耐力を示しているが、荷経路⑤と⑥においてすべての供試体で軸方向筋の破断により、急激な耐力の低下がみられた。これは、普通コンクリートより鋼繊維補強コンクリートの方が引張強度が高く、SFRC柱の方が、かぶりコンクリートの剥落する量が少なくなったため、軸方向筋の座屈に対して抑制効果が発揮されたと考えられる。

以上より、横拘束筋間隔が小さい供試体およびRC柱以外の供試体では、軸方向筋の座屈長が短くなるため、耐力特性を向上させることが確認できた。しかし、座屈を過度に抑えることで、軸方向筋の損傷が集中してしま

うため、軸方向筋の破断が生じ、急激な耐力の低下がみられた。上記を考慮し、特に高い耐力特性がX字型RC柱の $s = 65 \text{ mm}$ で得ることができた。

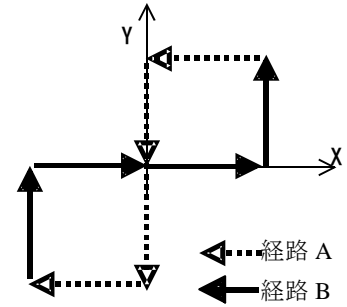
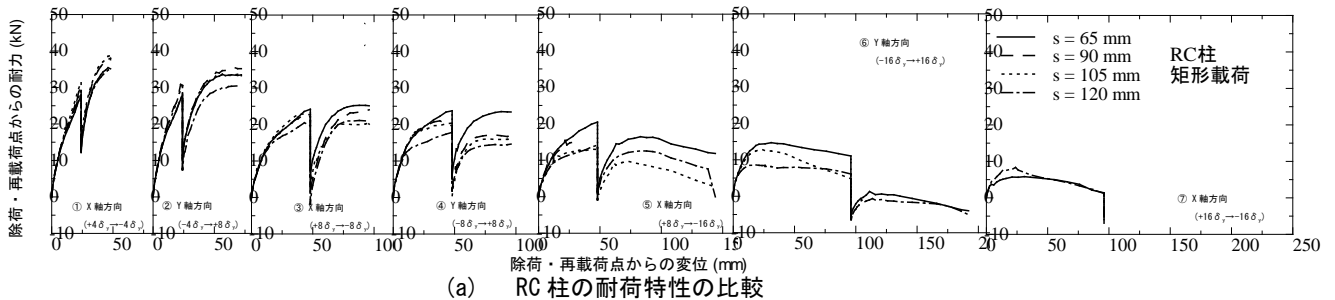
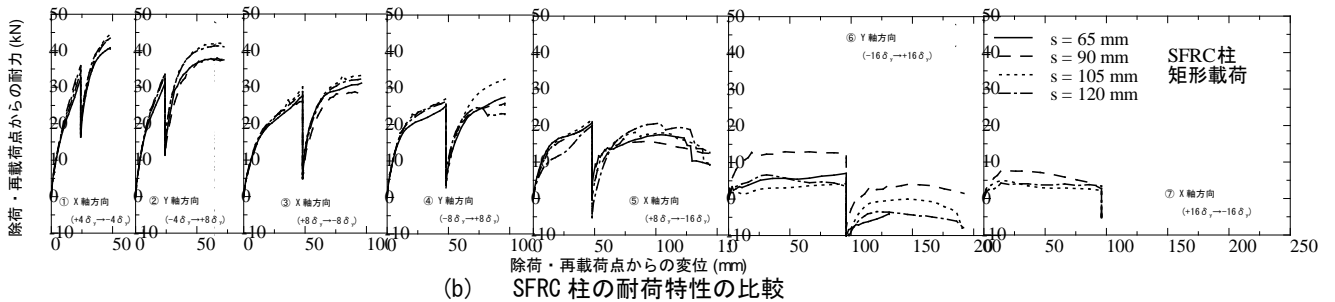


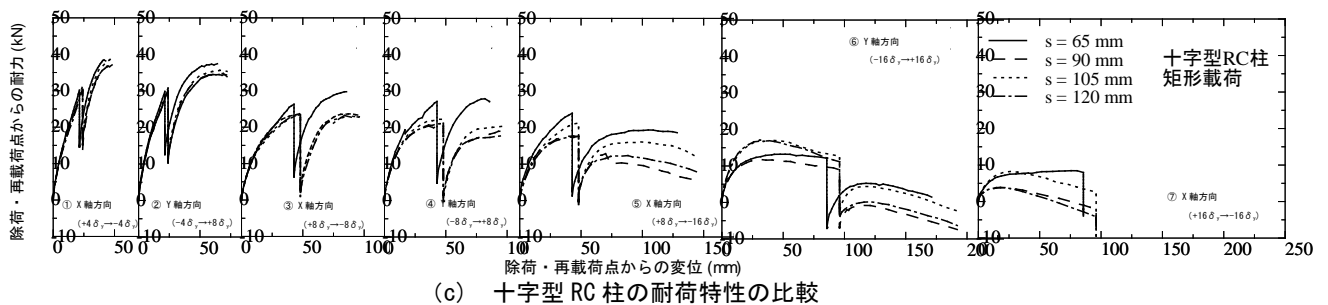
図-8 矩形荷経路 (2種類)



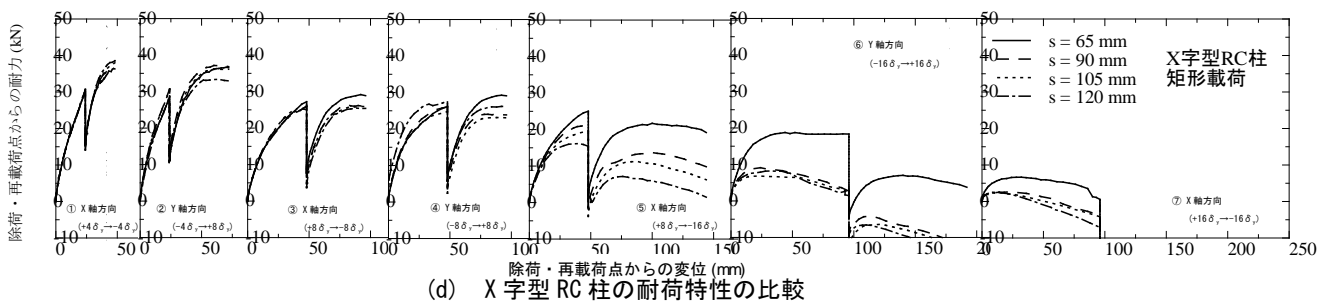
(a) RC柱の耐力特性の比較



(b) SFRC柱の耐力特性の比較



(c) 十字型RC柱の耐力特性の比較



(d) X字型RC柱の耐力特性の比較

図-9 矩形荷下での耐力特性の比較

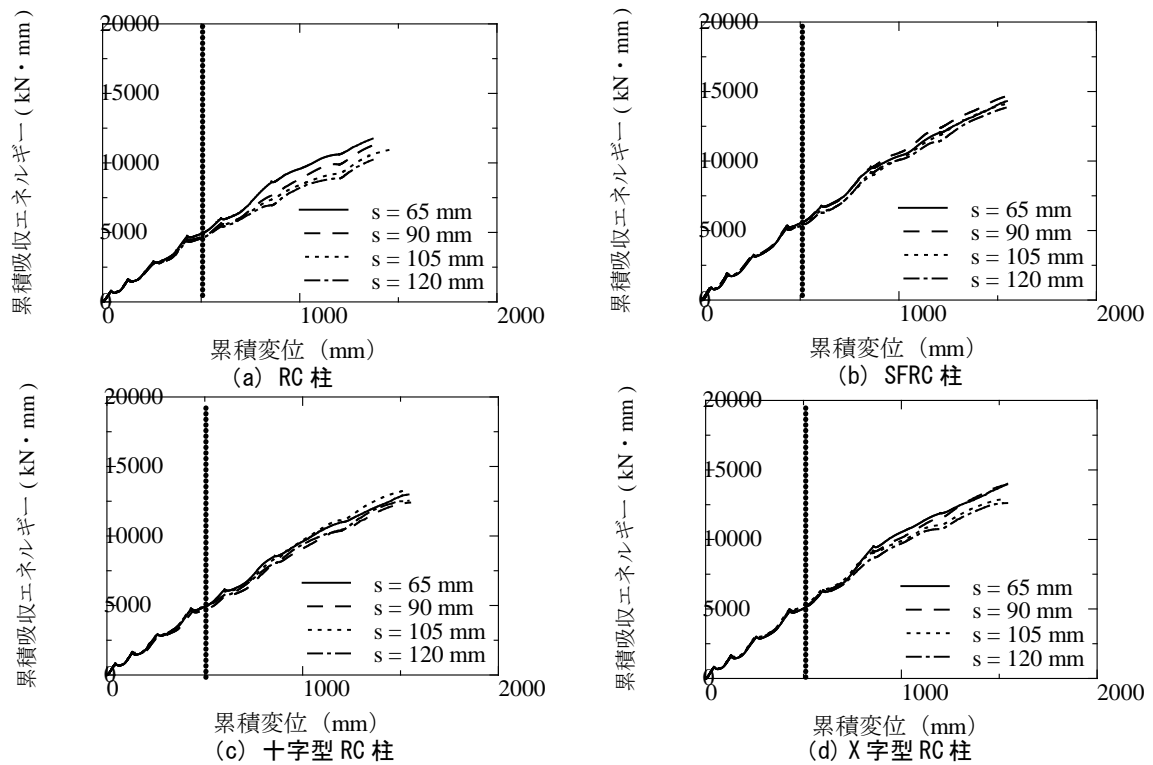


図-10 斜め載荷下でのエネルギー吸収量

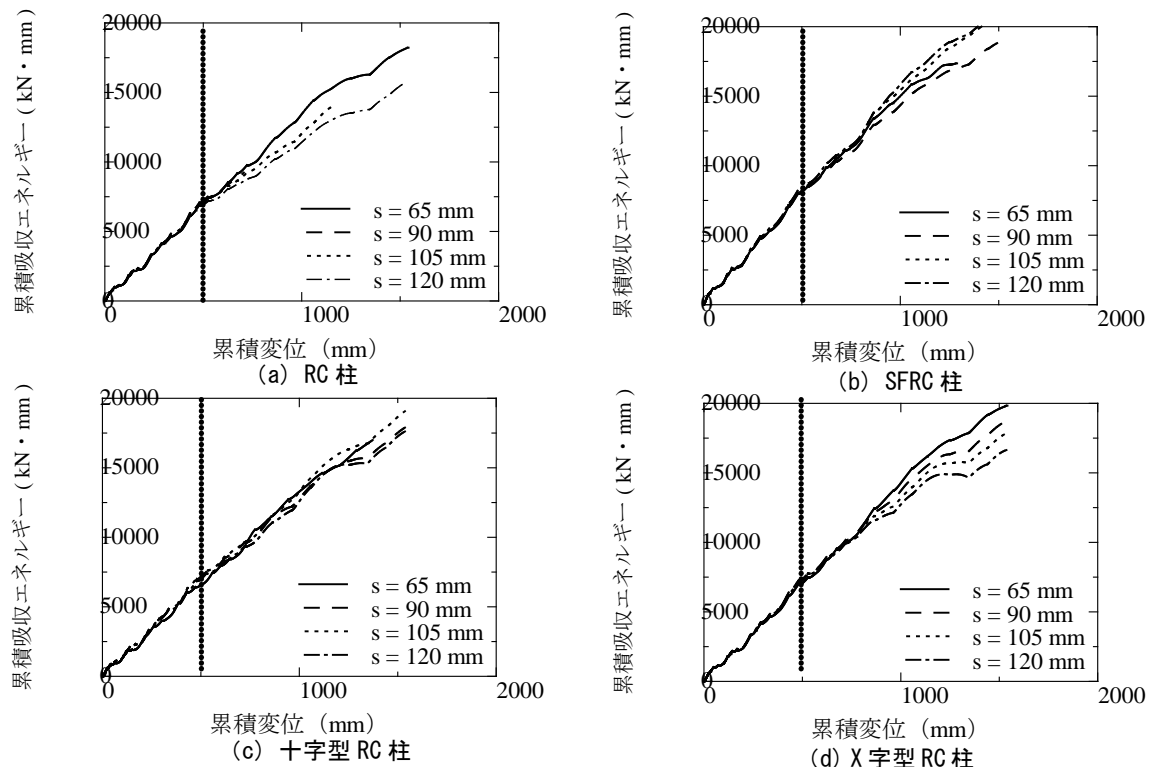


図-11 矩形載荷下でのエネルギー吸収量

3.2.2 矩形載荷

図-8 に示すように、矩形載荷の1サイクルは2種類の載荷経路の組み合わせであると考えられる。(1) 経路A(破線)：これは、始点と終点と同じである斜め載荷の除荷に相当する。

(2) 経路B(実線)：これは、始点と終点と同じである斜め載荷の再載荷に相当する。以下では、経路Aおよび経路Bの耐荷特性の比較を行う。

図-9 (a) ~ (d) に検討結果を示す。矩形載荷では、載荷経路②までは図-6 に示す曲線Aを示すが、載荷経

路③以降では、曲線 B を示した。斜め載荷と同様に横拘束筋間隔が大きくなるに従い、各徐荷および再載荷での耐力低下が大きくなる傾向が確認され、X 字型 RC 柱および SFRC 柱では、顕著な耐力低下はみられなかった。

図-9 (c) に示す十字型 RC 柱では、すべての横拘束筋間隔において載荷経路⑤までは配筋されていない RC 柱よりも高い耐力を示した。しかし、載荷経路⑥以降では RC 柱と同等であった。

図-9(d) に示す X 字型 RC 柱では、横拘束筋間隔 $s=90, 105, 120$ mm において 載荷経路④までは十字型 RC 柱よりも高い耐力を示したが、載荷経路⑤以降では耐力が低下した。しかし、 $s=65$ mm では載荷経路⑤以降でも高い耐力特性を示した。

図-9 (b) に示す SFRC 柱では、すべての横拘束筋間隔において、載荷経路③までは高い耐力を示すが、載荷経路④以降では、軸方向筋の破断が多くみられ耐力が安定しない曲線となった。

以上より、斜め載荷と同様に軸方向筋の座屈を抑えることで耐力特性を向上させることが確認できた。しかし矩形載荷では、斜め載荷と到達する点は同一であるが、異なる載荷軌跡であるため、耐力の低下がより早い経路で生じている。特に SFRC 柱では、不安定な耐力の挙動を示した。上記を考慮し、矩形載荷では通常の RC 柱の $s=65$ mm および X 字型 RC 柱の $s=65$ mm で高い耐力特性を得ることができた。

3.3 累積吸収エネルギー—累積変位

斜め載荷ならびに矩形載荷下での 4 種類の供試体（それぞれ 4 体）での、累積吸収エネルギー—累積変位関係を図-10 (a) ~ (d) ならびに図-11 (a) ~ (d) 示す。

4 種類の供試体に共通して、累積変位が約 500mm（図中の点線）において、横拘束筋間隔の差が少なく、斜め載荷よりも矩形載荷での累積吸収エネルギー量が多く、累積吸収エネルギー量は軸方向筋の補強よりも載荷経路による依存性が高いことが分かる。

RC 柱において、斜め載荷（図-10 (a)）では累積変位が約 400mm（載荷履歴 $\langle +8\delta_y \rightarrow +8\delta_y \rangle$ ）、矩形載荷（図-11 (a)）では約 700mm（載荷履歴 $\langle +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rangle$ ）付近までの挙動は概ね一致しているが、それ以降の大変位領域では、横拘束筋間隔の違いにより徐々に吸収エネルギーに差異が生じ始める。すなわち、横拘束筋間隔が短いほど累積吸収エネルギー量が多い。

十字型 RC 柱において、斜め載荷（図-10 (c)）および矩形載荷（図-11 (c)）では、横拘束筋間隔の違いによる差異がそれほどみられない。

X 字型 RC 柱において、斜め載荷（図-10 (d)）では、横拘束筋間隔の違いによる差異がそれほど無いが矩形載荷（図-11 (d)）では、RC 柱と同様に累積変位が約 700 mm（載荷履歴 $\langle +8\delta_y \rightarrow -16\delta_y \rangle$ ）までの挙動は概ね一致している。それ以降の大変位レベルにおいて、横拘束筋間隔の違いにより徐々に吸収エネルギーに差異が生じ始める。

SFRC 柱において、全体的に高いエネルギー吸収量（図-10 (b) および図-11 (b)）を示しており、横拘束筋間隔の違いによる差異がそれほど見受けられない。

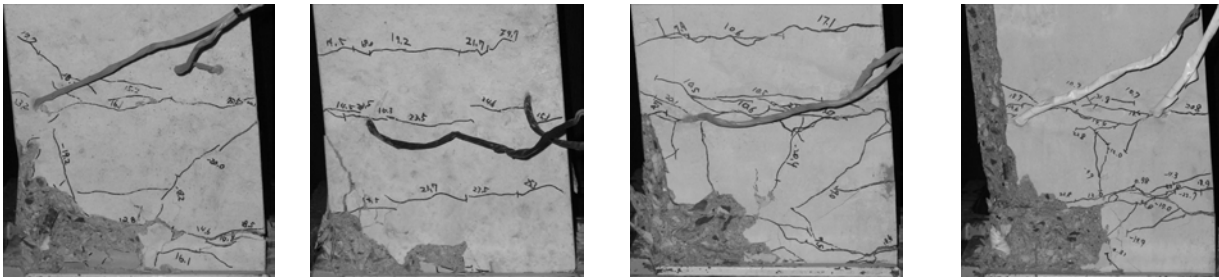
斜め載荷下での 4 種類の RC 柱の累積吸収エネルギー—累積変位関係（図-10）では、RC 柱（図-10 (a)）はおおよそ累積吸収エネルギー 5,000 kN・mm から分岐し始めている。これは、横拘束筋間隔の違いにより、コンクリート基部の軸方向筋が座屈を始めたと考えられる。しかし、補強を施した供試体では、横拘束筋間隔の違いによる差異はそれほどみられなかった。これは、横拘束筋間隔に関係なく、コンクリート基部の軸方向筋は RC 柱と比較して大きな座屈を生じていないことを示している。

矩形載荷下での 4 種類の RC 柱の累積吸収エネルギー—累積変位関係（図-11）では、RC 柱（図-11 (a)）はおおよそ累積吸収エネルギー 7,000 kN・mm から分岐している。X 字型 RC 柱（図-11 (d)）では、11,000 kN・mm から分岐しており、RC 柱に比べて累積エネルギーの差は多かった。SFRC 柱および十字型 RC 柱では、横拘束筋間隔に関係なく、同様の傾向を示す。

3.4 破壊性状

一例として、斜め載荷および矩形載荷でのコンクリートの剥落や軸方向筋の座屈などにより破壊性状が異なると考えられる $-16\delta_y$ 時点での 4 種類の RC 柱（ $s=65$ および 120 mm）の破壊状況（+X 方向からの状況）を写真-2, 3 および写真-4, 5 に示す。4 種類の RC 柱すべてにおいて、斜め載荷（写真-2,3）では、コンクリートの破壊領域は、載荷方向に沿った隅角部に集中して生ずる。矩形載荷（写真-4,5）では、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。

RC 柱および中間補強筋を配筋した RC 柱では、矩形載荷の方がコンクリートの損傷が大きいが、SFRC 柱では、斜め載荷も矩形載荷も基部で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。

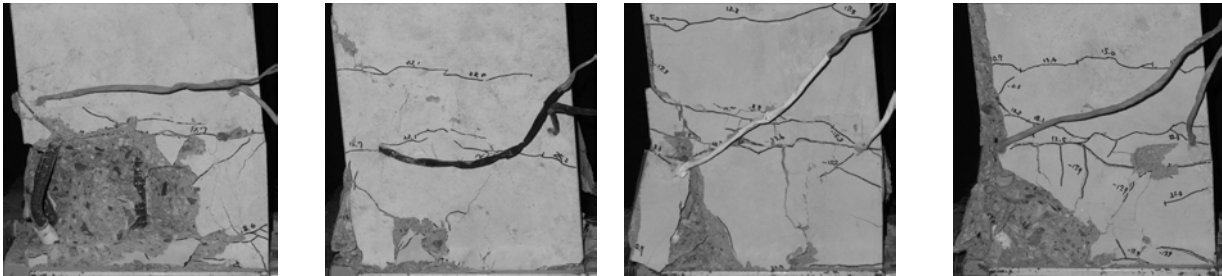


(a) RC 柱

(b) SFRC 柱

(c) 十字型 RC 柱

(d) X 字型 RC 柱

写真-2 斜め載荷での破壊状況 ($s = 65 \text{ mm}$; $-16 \delta_y$)

(a) RC 柱

(b) SFRC 柱

(c) 十字型 RC 柱

(d) X 字型 RC 柱

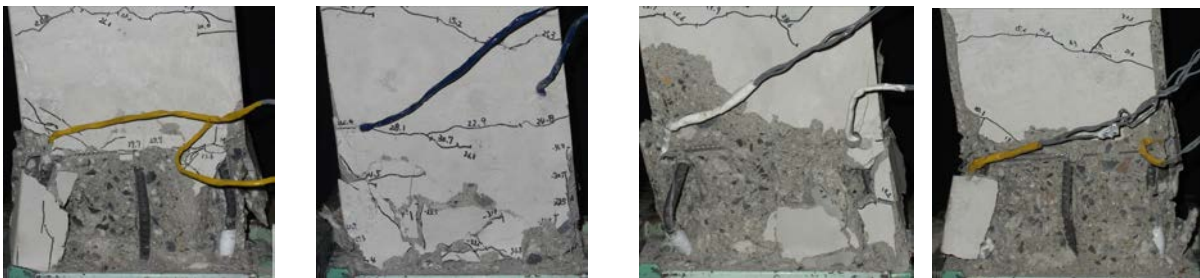
写真-3 斜め載荷での破壊状況 ($s = 120 \text{ mm}$; $-16 \delta_y$)

(a) RC 柱

(b) SFRC 柱

(c) 十字型 RC 柱

(d) X 字型 RC 柱

写真-4 矩形載荷での破壊状況 ($s = 65 \text{ mm}$; $-16 \delta_y$)

(a) RC 柱

(b) SFRC 柱

(c) 十字型 RC 柱

(d) X 字型 RC 柱

写真-5 矩形載荷での破壊状況 ($s = 120 \text{ mm}$; $-16 \delta_y$)

斜め載荷および矩形載荷ともに中間補強筋を配置した RC 柱のコンクリート破壊領域は、RC 柱よりも大きくなく、中間補強筋の配筋された部分では、軸方向筋の座屈を確認することができなかった。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、SFC は引張強度が高く、SFRC 柱の方が RC 柱に比べてひび割れが分散することなく基部付近に損傷が集中したためと考えられる。

軸方向筋の座屈状況としては、斜め載荷下では、中間補強筋を配筋した RC 柱および SFRC 柱ともに載荷方向の軸方向筋のみで座屈が生じた。RC 柱ではそれ以外の座屈も確認された。一方、矩形載荷下では、SFRC 柱を除く 3 種類の

RC 柱では、ほとんどの軸方向筋で座屈が確認された。

4. まとめ

- 1) SFC にはかぶりコンクリートの剥落を抑制する効果があるため、RC 柱に比べ SFRC 柱の軸方向筋の座屈抑制効果は向上した。しかし、SFRC 柱供試体では、軸方向筋の座屈を確認する前に破断するケースが多かった。
- 2) 中間補強筋を配筋した場合、大変位領域である $8\delta_y$ の繰り返しにおいて耐力の増加がみられたが軸方向筋の座屈も確認できた。SFRC 柱と同様に軸方向筋の

破断が多くみられた。

- 3) SFRC 柱供試体では、SFRC の引張強度が普通コンクリートよりも2～3倍程度と高いため、基部付近にのみ損傷が集中した。また、荷重経路による破壊状況への影響はRC 柱供試体ほど顕著に現れなかった。
- 4) 中間補強筋を配した供試体では、軸方向筋の座屈を抑えるため、コンクリートの破壊進展を遅らせることができた。
- 5) SFRC 柱では、ポストピーク領域にまで至る、コンクリートの劣化特性および軸方向筋の座屈特性は横拘束筋間隔にそれ程影響されないため、横拘束筋間隔が大きな柱の塑性ヒンジ化する部分の補強には有効である。
- 6) 軸方向筋の座屈を抑制することでポストピーク領域の急激な耐力の低下を抑えることができるが、過度に抑えることで、軸方向筋の破断が生じる場合がある。

参考文献

- 1) 島弘, 伊藤圭一, 水口裕之: 曲げ破壊型 RC 橋脚における鉄筋座屈モデルによる靱性解析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 12-2, pp. 741-746, 1990.
- 2) 水野英二, 神戸篤士, 畑中重光: 各種構成モデルを用いた RC 構造部材の繰り返し変形挙動解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, 2001
- 3) 中村光, 野口博, 田辺忠顕: コンクリート構造物のポストピーク挙動解析研究委員会報告, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, 2001
- 4) 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.
- 5) 西垣太郎, 水畑耕治: 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱の低サイクル疲労に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 第 399 号, pp.20-32, 1984.5
- 6) 社会法人, 鋼材倶楽部, スチールファイバー委員会: スチールファイバーコンクリートの手引 (第 3 版), 1998.10
- 7) 例えば, 須田久美子ら: 交番繰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.
- 8) 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.
- 9) 亀田好洋ら: 一方向繰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.
- 10) 鈴木森晶・水野英二: 繰返し力を受ける RC 柱の破壊領域での軸方向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.

- 11) 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.
- 12) 鈴木森晶, 水野英二: 繰返し曲げを受ける RC 柱の鉄筋座屈特性に関する実験的ならびに解析的研究, 応用力学論文集, Vol.13, pp.331-342, 2010.8.
- 13) 鈴木森晶・水野英二: 二方向繰返し力を受ける RC 柱の荷重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_313-I_320, 2011.9.

(受理 平成 25 年 3 月 19 日)