

(44) SRC柱の帯筋の合理的配筋法の開発研究

DEVELOPMENT ON RATIONAL DESIGN OF ARRANGEMENT
OF SHEAR REINFORCEMENT IN SRC COLUMNS

中野 慎吾^{*} 津田 和征^{**} 南 宏一^{***}
Shingo NAKANO , Kazuyuki THUDA , Koichi MINAMI

To develop the rational design method of arrangement of shear reinforcement of SRC columns, a parametric experiment study are carried out on the strength, deformability, failure mechanism and shapes of hysteresis loops using 9 column specimens. Variables chosen are shape of hoop, the amount of hoop and shape of steel section. The shapes of hoop are major test variables, which is the closed shape with 135° hooked anchorages, traditional closed shape with welded and proposed Lshape with 90° hooked anchorages. All the test specimens have the same square cross sections of 30cm×30cm. On the basis of test results, it can be concluded that the shear reinforcements arranged in L shape are still effective in increasing ductility, as same as traditional closed hoop.

1. 序

SRC構造では、部材内部に鉄骨を内蔵しているためRC構造で用いられている配筋法によると施工上、種々の問題が生じる。特にSRC柱の帯筋の形状は、施工上最も問題とされている。また、SRC構造とRC構造では力学的性状も異なり、その点を考慮したSRC構造独自の配筋法を確立する必要がある。

若林・南は、SRC柱における帯筋形状として90°、135°フックを持つL字形帯筋、従来の135°フックの閉鎖形帯筋および溶接閉鎖形帯筋を選択し、帯筋の形状が十字形鉄骨を内蔵するSRC柱材のせん断破壊性状にどのような影響を与えるかを検討し、主筋量と鉄骨量の比率に関わらず十字形鉄骨を内蔵するSRC柱材のせん断耐力に及ぼす帯筋形状の影響はほとんどないことを報告している¹⁾。

本実験では、特にSRC柱材におけるRC部分の有効幅および帯筋量に注目し、前述した3種類の帯筋形状がせん断破壊性状に及ぼす影響を明かにし、SRC柱の帯筋の合理的配筋法を開発することを目的としたものである。

2. 実験計画

実験変数は、帯筋形状、帯筋比、鉄骨形状の3種類で、各々の実験変数を組み合わせ、表-1に示す作用軸力比 0.2の9体の試験体を計画した。帯筋形状としては、従来の135°フック付きの閉鎖形帯筋（閉鎖形とい

* 佐藤工業株式会社 ** (株)安井建築設計事務所 *** 工博 大阪工業大学 建築学科 助教授

う)、135°フックと90°フックをもつL字形帯筋(L字形という)、およびフレア溶接による閉鎖形帯筋(溶接形という)の3種類を選び、それぞれの性能比較が行えるように計画した。なお、SRC柱では、鉄骨の形状によって、せん断付着割裂破壊が生じやすくなるので、その破壊性状の影響を調べるために、正則の十字形の鉄骨部材を用いた場合と変則な十字形鉄骨を用いた場合をそれぞれ計画した。

3. 試験体および使用材料

図-1,2に試験体の断面構成および形状寸法を、また図-3に帯筋形状をそれぞれ示す。試験体の断面は30cm×30cm、柱長さは90cmで、各試験体とも共通である。それぞれの帯筋フックの実長は、135°については6d、90°については8dとし、溶接重ね継手の長さは、片側のみのフレア溶接で、10dとした。なお、フックの位置が、同一隅角部に集まらないようにするために、材軸方向にフックの位置を90°ずつずらして配筋した。鉄骨断面は十字形の場合、強軸、弱軸方向にもH-200×50×6×12で、変則十字形では強軸方向の鉄骨はH-200×50×6×12、弱軸方向はH-150×150×6×12とした。主筋は12-D16(SD35)とし、帯筋はD6(SD30)を使用し、帯筋間隔は、10cm($P_w=0.2\%$)、5cm($P_w=0.4\%$)、2.5cm($P_w=0.8\%$)とした。なお、内蔵する鉄骨形状が十字形の試験体をCシリーズ、変則十字形の試験体をIシリーズとする。また、鋼材の降伏応力度は、D16(主筋)、D6(帯筋)、 $R_{\text{e}}-6$ (ウェブ)、 $R_{\text{e}}-12$ (フランジ)は、それぞれ3948、3276、4077、3495(kgf/cm²)であり、コンクリート強度は339~377(kgf/cm²)であった。

4. ひび割れおよび破壊状況

図-4に諸変数別の実験終了時における破壊状況を示す。十字形鉄骨を内蔵したCシ

表-1 試験体一覧

	試験体名	帯筋比 (%)	帯筋形状	鉄骨形状	コンクリート実強度 (kgf/cm ²)
Cシリーズ	NCL22	0.2	L字形	十字形	361
	NCL42	0.4	L字形	十字形	339
	NCL82	0.8	L字形	十字形	361
	NCC42	0.4	閉鎖形	十字形	339
	NCW42	0.4	溶接形	十字形	339
Iシリーズ	NIL22	0.2	L字形	変則十字形	361
	NIL42	0.4	L字形	変則十字形	377
	NIL82	0.8	L字形	変則十字形	377
	NIC42	0.4	閉鎖形	変則十字形	361

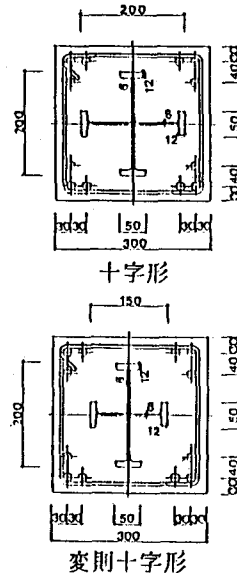


図-1 断面構成

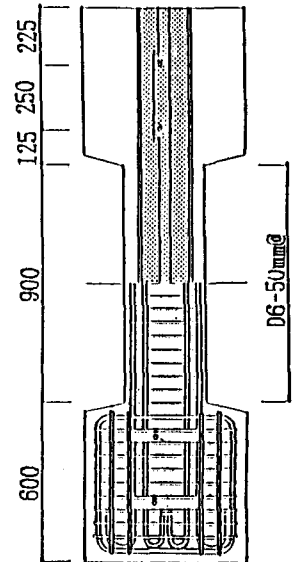


図-2 形状寸法
($P_w=0.4\%$ の場合)

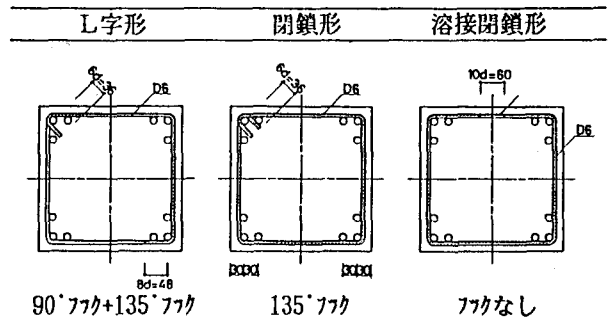


図-3 帯筋形状

リーズ、変則十字形を用いた I シリーズのいずれの試験体においてもひび割れの形成は曲げひび割れ、斜張力ひび割れおよび主筋に沿った付着ひび割れに大別されるが、帯筋形状による有為差は認められなかった。なお、いずれの試験体においても最大耐力に達する柱部材角 $R=0.01(\text{rad.})$ で主筋に沿った付着ひび割れが生じ $R=0.02(\text{rad.})$ 以後の変位振幅で柱端部の被りコンクリートが剥落したが、最終変位振幅の $R=0.05(\text{rad.})$ においても L 字形帯筋の 90° フック部の著しい抜け出しはいずれの試験体にも認められなかった。C シリーズにおいて、帯筋量を実験変数とした試験体では、帯筋量の多少に関わらず各試験体とも部材角 $R=0.001\sim 0.002(\text{rad.})$ で柱材両端部に曲げひび割れが発生し、ほぼ同時に、帯筋量の多い順に、 $R=0.001\sim 0.005(\text{rad.})$ の変位振幅で、斜張力によるせん断ひび割れが面外方向のフランジ位置に観察された。その後、変位振幅の増大に伴い主筋に沿うせん断付着ひび割れが柱材全長に発生し、特に帯筋量(P_w)が 0.8% の試験体 NCL82 では、せん断付着ひび割れの間隔は小さく、最大耐力時には一部分に付着割裂を生じた。最終変位振幅では、各試験体ともかぶりコンクリートが剥落し、せん断付着破壊の様相を呈した。なお、最終変位振幅においても L 字形帯筋の 90° フック部の著しい抜け出しはいずれの試験体にも認められなかった。I シリーズの試験体では、帯筋量に関わらず各試験体とも部材角 $R=0.001\sim 0.002(\text{rad.})$ で柱材両端部に曲げひび割れが発生し、ほぼ同時に斜張力によるせん断ひび割れが発生した。その後、最大耐力に達するまで斜張力によるせん断ひび割れが成長し、せん断付着ひび割れも観察された。最大耐力以後せん断付着ひび割れが主筋全長に成長し、付着割裂によるかぶりコンクリートの剥落が認められ、最終的には各試験体ともせん断付着破壊の様相を呈した。C シリーズの試験体と比較すると、最大耐力時において斜張力ひび割れが支配的で、かつ、そのひび割れ間隔も大きい。また、面外方向のフランジ部にも斜張力によるせん断ひび割れは認めれない。このことから、コンクリートの有効幅の大きさは、最大耐力時における RC 部分のせん断強度に影響を与えるものと考えられる。総括的に各シリーズにおいて観察された限界せん断面はほぼ最大耐力時に形成され、また S R C 規準で示されるコンクリートの有効幅の定義と一致している。従って、本実験においても鉄骨とコンクリートとの付着力は期待できず、内蔵される鉄骨によりコンクリートは分割され、それぞれが独立してせん断力に抵抗していると思われる。

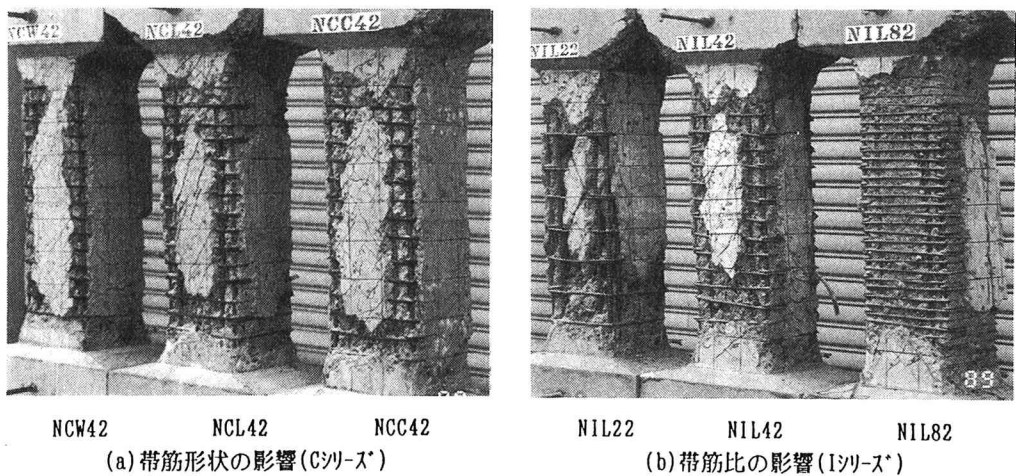


図-4 最終破壊状況

5. 履歴特性

図-5に履歴曲線の例を示す。縦軸は水平せん断力 Q を横軸は相対部材角 R を表す。また、図中の点線は、 $P-\delta$ 効果を、一点鎖線および二点鎖線は、累加強度理論および S R C 規準より求めた終局せん断力をそれぞれ表す。図-6に諸変数別の第一サイクルに対する荷重変形曲線の包絡線を示す。C シリーズ、I シリーズと

もに、各試験体の履歴曲線は、ほぼ同一形状を示している。すなわち、最大耐力は、 $R=0.01(\text{rad.})$ の変位振幅で発揮され、 $R=0.02(\text{rad.})$ までの履歴曲線で強度の低下が見られるがそれ以後の履歴過程ではそれほど強度の低下はみられず充腹形SRC柱特有の安定した履歴曲線を示している。帯筋形状の相違が、履歴性状に及ぼす影響はほとんどないものと考えられる。CシリーズのL字形帯筋の試験体は、ともにエネルギー消費能力の大きい紡錘形の履歴曲線を示し、帯筋量に関わらず部材角 $R=0.01(\text{rad.})$ で最大耐力に達する。最大耐力は、帯筋量の増加に伴い増加するが、最大耐力以後の耐力劣化については帯筋量による有意差はないものと考えられる。Iシリーズでは、Cシリーズの試験体と同様に各試験体ともエネルギー消費能力の大きい紡錘形の履歴曲線を示し、NIL22、NIL42は、部材角 $R=0.01(\text{rad.})$ で、NIL82は、部材角 $R=0.015(\text{rad.})$ でほぼ最大耐力に達する。両シリーズにおいて、荷重変形曲線に及ぼす鉄骨形状（つまり有効幅）の影響について注目すると $Pw=0.8\%$ 程度の帯筋量を配した場合、最大耐力は有効幅の大きいほど向上し、また最大耐力以後の耐力劣化は有効幅の大きいほど向上し、最大耐力以後の耐力劣化に対する有意差はないものと考えられる。このことからSRC柱としての耐力向上を有効幅の大きさに期待する場合、相当量の帯筋が必要である。

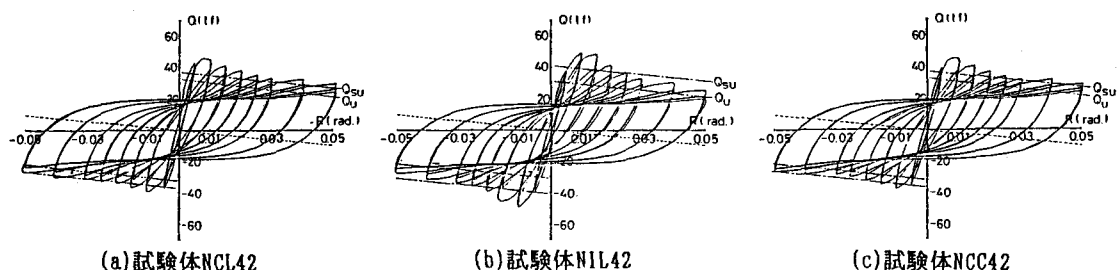


図-5 履歴曲線

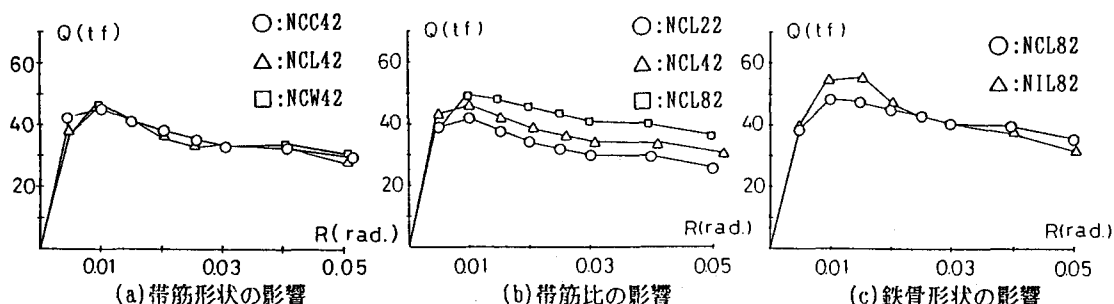


図-6 荷重変形曲線の包絡線

6. ひずみ推移状況

図-7に、帯筋のひずみ推移状況の例を正載荷について示す。縦軸は、ひずみゲージによるひずみ ε を、横軸は相対部材角 R を表す。また、一点鎖線は、降伏ひずみ ε_y ($\varepsilon_y = \sigma_y / E$ σ_y : 降伏応力度、 E : ヤング係数)として求めた。Cシリーズにおいて、帯筋形状の影響をみると、各試験体とも最大耐力時に帯筋は降伏ひずみに達しているが、それ以後の変位振幅におけるひずみ性状に有意差が認められる。すなわち閉鎖形、溶接閉鎖形帯筋を用いた試験体では、変位振幅の増大に伴うひずみの低下はほとんどないが、L字形帯筋を用いた試験体NCL42における帯筋のひずみは部材として最大耐力に達した後、急激に低下している。これは、L字形帯筋の90°フック部分の抜け出しによるもので大きな変位振幅では、帯筋としての拘束効果が従来の閉鎖形帯筋に比べて低いことが示された。また、溶接閉鎖形帯筋では従来の閉鎖形帯筋筋と同等の性能が得られる。また、帯筋量の影響についてみると、試験体HCL82($Pw=0.8\%$)を除いて各試験体とも最大耐力時(ほぼ $R=0.01\text{rad.}$)に帯筋は、ほぼ降伏ひずみに達する。それ以後、試験体NCL22($Pw=0.2\%$)、NCL42($Pw=0.4\%$)では

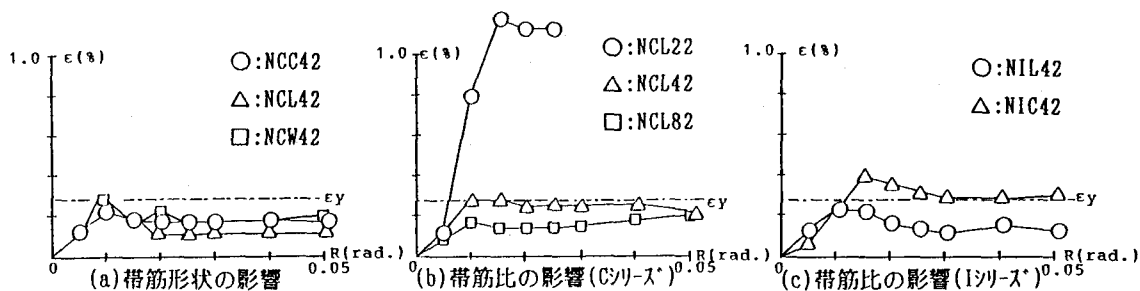


図-7 ひずみ推移状況

ひずみが進行し、相対部材角 $R=0.02\text{rad.}$ からひずみの減少が見られる。一方、試験体NCL82($P_w=0.8\%$)では、変位振幅の増大に関わらず、ひずみはほぼ一定の値を示す。これは、帯筋の塑性ひずみの大きさ、言い換えれば帯筋の負担するせん断力が異なるためである。故に本実験において $P_w=0.2\%$ および 0.4% の帯筋量では、変位振幅の増大に伴い帯筋の横拘束力が低下するため柱部材の変形性能も低下する。Iシリーズでも、帯筋形状の影響について、同様のことが言える。

7. エネルギー消費能力

図-8(a)、(b)に帯筋形状および帯筋量を変数とした累積エネルギー散逸量($\sum U_k$)と繰返し回数(K)との関係を示す。図-(a)の縦軸は、閉鎖形帯筋の試験体の累積エネルギー散逸量との比率を、図-(b)の縦軸は、帯筋が 0.2% の試験体の累積エネルギー散逸量との比率を表し、横軸は、繰返し回数(K)を表す。なお、 K の値は、半サイクルを1としている。Cシリーズにおいて、帯筋形状によるエネルギー散逸量の比較を行うと比較的初期の繰返しでは帯筋形状による差が見られるが、最大耐力、すなわち $K=8(R=0.01\text{rad.})$ 以降の繰返しでは、その差もNCL42の場合で5%程度、NCW42の場合で5%未満である。従って、帯筋形状による有意差はほとんどない。また、帯筋量がエネルギー散逸量に及ぼす影響を比較すると、 $K=8(R=0.01\text{rad.})$ までは帯筋量 $P_w=0.2\%$ の試験体および $P_w=0.4\%$ の試験体が、 $P_w=0.8\%$ の試験体に比べて大きなエネルギー散逸量を示している。それ以後の繰返し回数では、帯筋量が多い程大きなエネルギーの増加を示しており、エネルギー散逸量で耐震性能の向上に寄与するものと考えられる。また、IシリーズにおいてもCシリーズと同様のことが言える。

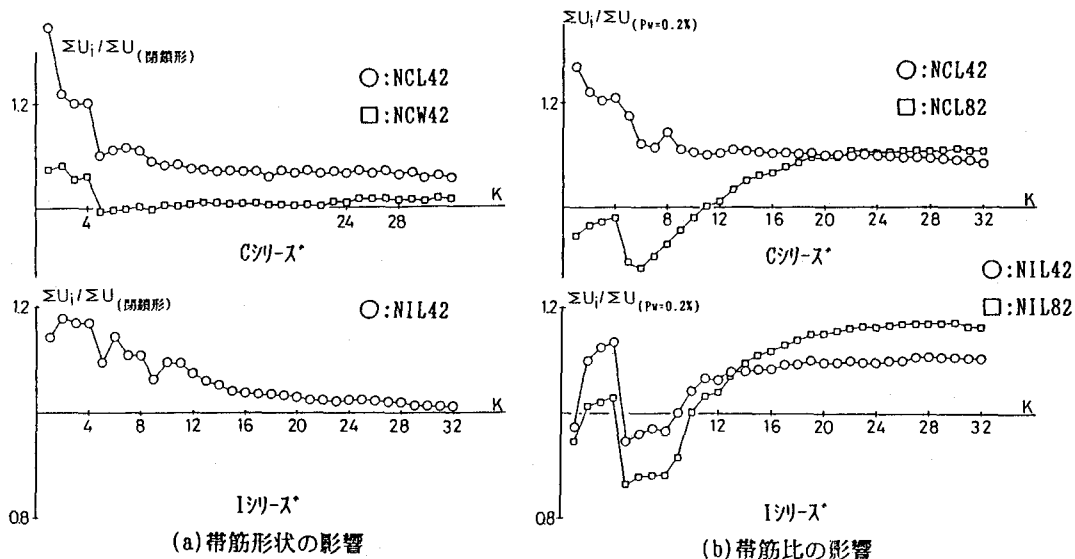


図-8 エネルギー消費能力

8. 理論値と実験値との比較検討

表-2に終局曲げ耐力から求められるせん断力 Q_{bu} 、一般化累加強度理論により求められる終局せん断耐力 $Q_{su}^{2)}$ 、SRC規準による終局せん断耐力 $Q_u^{3)}$ および理論値と実験値の比較を示す。全試験体の実験値に対して、SRC規準による Q_u は安全率は大きく、正荷重に対して最大値1.65、最小値1.15、平均値1.27である。しかし一般化累加強度理論による Q_{su} は正荷重に対して最大値1.24、最小値1.06、平均値1.19で、 Q_{su} により終局せん断耐力を推定できることが示される。

表-2 理論値と実験値の比較

試験体名	累加強度理論式		SRC規準式 Q_u (tf)	実験値		実験値/理論値			
	Q_{su} (tf)	Q_{bu} (tf)		Q_{exp} (tf)		Q_{exp}/Q_{su}		Q_{exp}/Q_u	
				pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
NCL22	35.2	63.7	27.8	42.1	38.4	1.20	1.09	1.52	1.38
NCL42	37.6	62.1	32.3	45.5	39.8	1.21	1.06	1.41	1.23
NCL82	45.6	63.7	42.0	48.3	47.4	1.06	1.04	1.15	1.13
NCC42	37.5	62.0	32.2	44.9	39.0	1.20	1.04	1.39	1.21
NCM42	37.5	62.0	32.2	46.7	42.5	1.24	1.13	1.45	1.32
NIL22	37.4	63.6	27.8	46.0	41.5	1.23	1.11	1.65	1.49
NIL42	40.8	63.6	32.5	50.2	49.3	1.23	1.21	1.54	1.52
NIL82	48.3	64.4	42.0	55.6	54.7	1.15	1.13	1.32	1.30
NIC42	41.2	64.4	32.7	51.3	45.8	1.24	1.11	1.57	1.40

注) Q_{bu} : 終局曲げ耐力から求められるせん断力
 Q_{su} : 一般化累加強度理論により求められる終局せん断耐力
 Q_u : SRC規準による終局せん断耐力

9. 結語

- 帯筋形状、帯筋量および鉄骨形状を変数とした9体の試験体による実験によって以下の結論を得た。
- 1) ひび割れ発生に関して、十字形鉄骨および変則十字形鉄骨を内臓するSRC柱において、帯筋形状の影響はほとんどなく、総括的に各シリーズにおいて観察された限界せん断面はほぼ最大耐力時に形成され、SRC規準で示されるコンクリートの有効幅の定義と一致する。
 - 2) 履歴特性に関して、帯筋形状の相違が履歴性状に及ぼす影響はほとんどなく、SRC柱としての最大耐力時の柱部材角 R は、帯筋量に関わらず十字形および変則十字形の鉄骨を用いた場合にはほぼ0.01(rad.)となる。
 - 3) 帯筋のひずみ推移状況に関して、L字形帯筋は、被りコンクリートの剥落後の大きな変位振幅で、従来の閉鎖形帯筋に比べて、90°フック部分の抜け出しによる帯筋としての拘束効果が低下することが示された。
 - 4) エネルギー消費能力に関して両シリーズにおいて、最大耐力以降の繰返しでは帯筋形状による有意差はほとんどない。
 - 5) 理論値と実験値との比較に関して、全試験体に対する実験値と理論値の比(実験値/理論値)は、実験値の方が一般化累加強度理論およびSRC規準による理論値よりも高い値を示す。

謝辞

本研究は、昭和62、63年度文部省科学研究費〔SRC構造の合理的配筋設計法の開発研究〕〔総合研究A研究代表者：名古屋工業大学教授 福知保長〕によるものである。

参考文献

- 1) 南宏一、若林実：「SRC柱における帯筋の形状とその性能」第7回コンクリート工学年次講演回論文集、1985年6月、pp.553-556。
- 2) 津田和征、南宏一：「種々の鉄骨形状を持つSRC柱の終局せん断耐力に関する理論解」第2回合成構造の活用に関するシンポジウム論文集、1989年9月投稿中
- 3) 日本建築学会：「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(第4版)」1987年