

[139] SRC 柱における帯筋の形状とその性能

正会員 ○ 南 宏一 (大阪工業大学工学部)
 正会員 若林 実 (日本建築総合試験所)

1. 序

最近、SRC 構造としての力学的および施工的な特性を考慮した独自の配筋法を確立することの必要性が認識されてきたが [1]、SRC 構造の力学的特性と配筋法との関連性に注目した研究はほとんど行われていない。そこで、本論は SRC 構造の配筋で、施工上最も問題とされている帯筋の形状が、柱材のせん断破壊性状にどのような影響をあたえるかを実験的に検討し、従来の 135°フックの閉鎖形帯筋、135°と 90°のフックを持つ L 字形の帯筋、および溶接閉鎖形帯筋との性能比較を行なうものである。

2. 実験計画

帯筋の形状と鉄骨量と主筋量の比率を実験変数として、6 体の試験体を計画した。図-1 に試験体の断面構成を示す。鉄骨フランジと主筋の断面積をほぼ一定にして、シリーズ 1 では鉄骨フランジ断面積が多い場合を、シリーズ 2 では逆に主筋量が多い場合をそれぞれ表す。帯筋の形状として A シリーズは通常の 135°フックの帯筋形状を、B シリーズは帯筋の端部に 135°フックと 90°フックをもつ L 字形の鉄筋を交互に組合せた帯筋形状を、および C シリーズは溶接重ね継手による帯筋形状である。

3. 試験体

図-2 に試験体の形状・寸法を示す。シリーズ 1, 2 とも断面は 300mm x 300mm、柱長さは 900mm である。シリーズ 1 では主筋は 4 - D19 (引張鉄筋比 $\rho_t = 0.64\%$)、帯筋は 2 - D6 を用いその間隔を 75mm (帯筋比 $\rho_w = 0.28\%$) とし、鉄骨は 2Hs - 175 x 90 x 5 x 8 (鉄骨フランジ比 $\rho_f = 0.80\%$) を用いている。一方、シリーズ 2 では主筋は 12 - D16 ($\rho_t = 1.33\%$)、帯筋は 2 - D6 を用いその間隔を 50mm ($\rho_w = 0.42\%$) とし、鉄骨は 2Hs - 175 x 45 x 5 x 8 ($\rho_f = 0.40\%$) である。鉄筋コンクリート部分はせん断破壊が生じるように計画した。コンクリートの打設は縦打である。なお、十字形の鉄骨を用いた理由は従来の SRC 柱のせん断実験ではほとんど十字形鉄骨を用いた例がないこと、十字形鉄骨を用いた場合には鉄筋コンクリート部分はその断面構成の特性よりせん断付着破壊を生じやすいことなどにある。各試験体の材料の力学的特性を表-1 に示す。

4. 実験

全試験体とも一定軸力のもとに柱部材角 R を制御変位とする正負漸増繰り返し載荷を行った。作用圧縮力は柱材の中心圧縮耐力の 20% (A1 は 94.6 t, B1, C1 は 95.1 t, A2, B2, C2, は 75.6 t) とした。なお、柱材の中央部を反曲点とする逆対称の曲げせん断を載荷した。

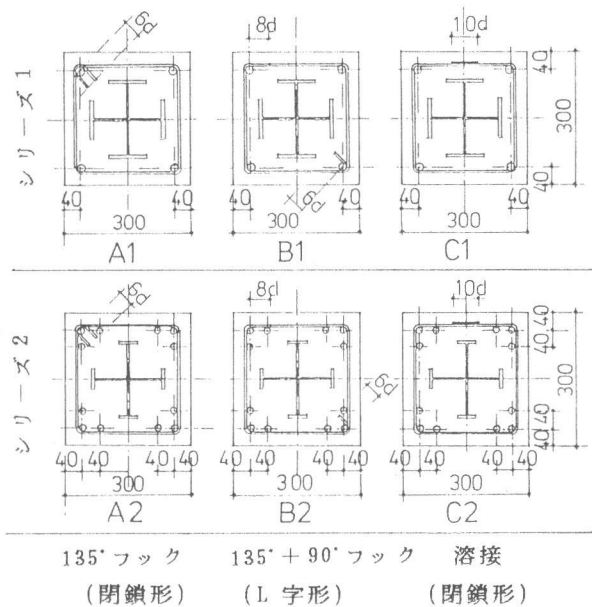
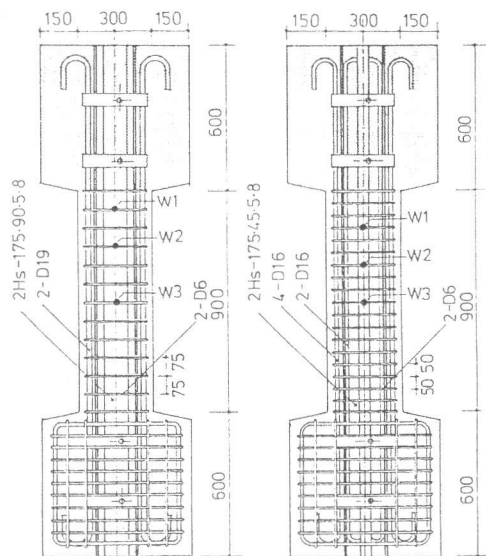


図-1 実験計画 (単位 mm)



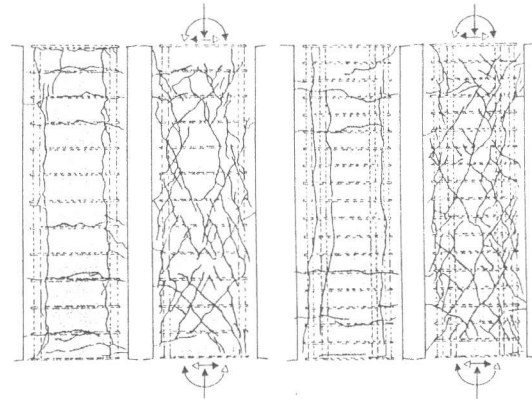
(a) シリーズ 1 (b) シリーズ 2

W1, W2, W3 は W-S-G の位置を示す。

図-2 試験体の形状・寸法 (単位 mm)

5. ひび割れおよび破壊状況

図 - 3 に B1, B2 の最大耐力時におけるひび割れ状況を示す。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割裂ひび割れに大別されるが、それぞれのシリーズにおいて、帯筋形状の差はひび割れ状況には認められなかった。なお、シリーズ 1, 2 のいずれの場合も最大耐力に達する柱部材角 $R = 0.9\% \text{ rad.}$ で主筋に沿ったひび割れが生じ、 $R = 2\% \text{ rad.}$ 以後の変位振幅で柱端部の曲げ圧縮部のかぶりコンクリートが剥落したが、最終変位振幅の $R = 4\% \text{ rad.}$ においても B1, B2 の試験体の帯筋の著しいぬけ出しは見られなかった。



(a) B1 試験体 (b) B2 試験体

図 - 3 ひび割れ状況

6. 履歴曲線

B1, B2 の試験体の履歴曲線を、図 - 4(a), (b) に、各シリーズの第一サイクルに対する履歴曲線の包絡線を比較したものを図 - 5(a), (b) にそれぞれ示す。縦軸は作用せん断力 Q を、横軸は柱部材角 R を表す。図中の点線は作用軸力による転倒モーメントの影響を表す。また、 Q_{fu} , Q_{su} および sQ_{fu} は後述の累加強度理論による柱材の終局曲げ耐力から決定されるせん断耐力、終局せん断耐力および鉄骨部分の終局曲げ耐力から決定されるせん断耐力をそれぞれ表す。それぞれのシリーズにおいて、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 $R = 0.9\% \text{ rad.}$ の変位振幅で発揮され、その後、 $R = 2\% \text{ rad.}$ までの履歴過程で強度低下がみられるが、それ以後の履歴過程ではほとんど強度劣化はみられず、充腹形 SRC 柱の特有の安定した履歴曲線を示している。

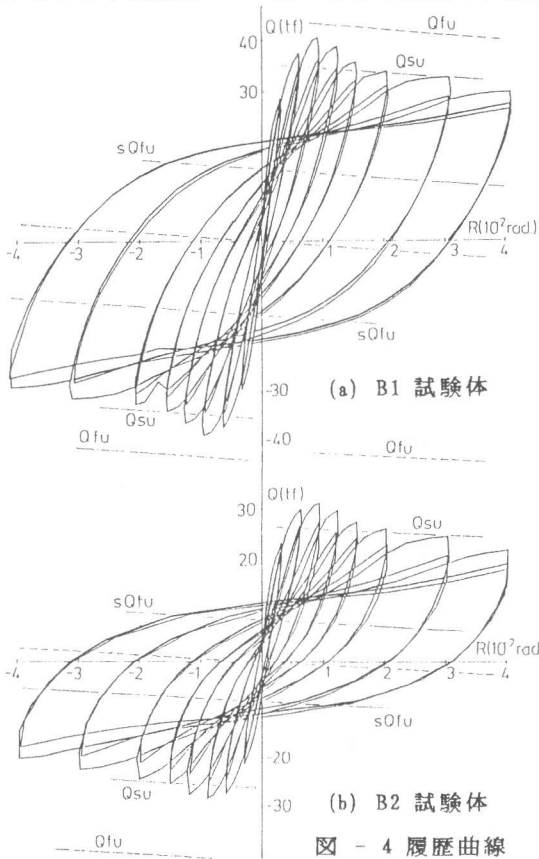


図 - 4 履歴曲線

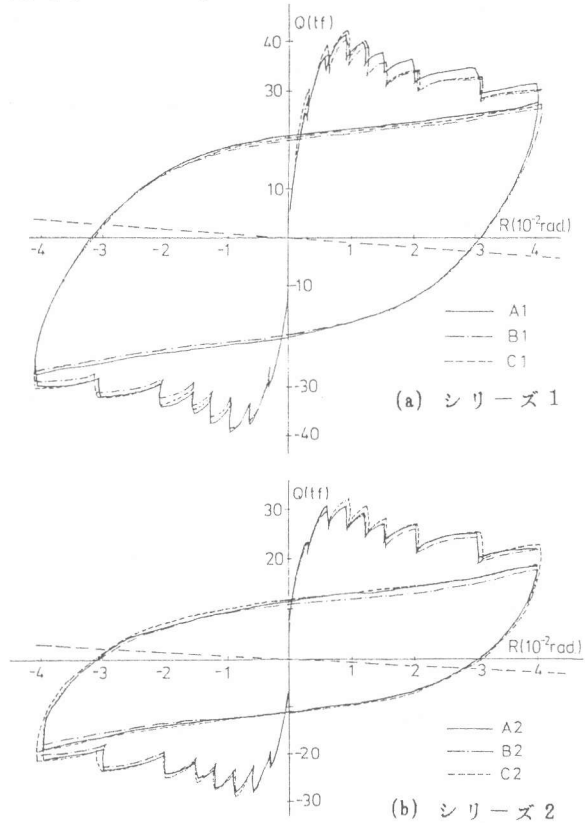


図 - 5 第一サイクルにおける包絡線

7. 耐力およびエネルギー消費能力

帯筋形状が柱材の性能にあたる影響を検討した結果の数例を図 - 6(a), (b), (c) に示す。図 - 6(a) は基本試験体である 135'フックの A1, A2 の試験体に対する耐力比較 (Q_i/Q_{A1} , Q_i/Q_{A2}) を、図 - 6(b) は

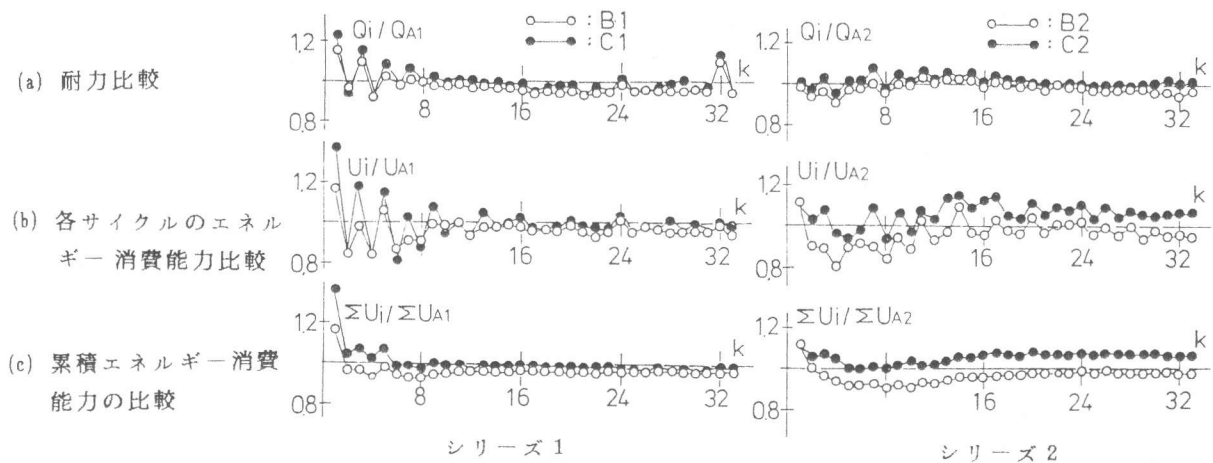


図 - 6 耐力およびエネルギー消費能力の比較

A1, A2 試験体に対する各繰返し载荷におけるエネルギー消費量比較 (U_i/UA_1 , U_i/UA_2) を、図 - 6 (c) は、A1, A2 試験体に対する累積エネルギー消費量比較 ($\Sigma U_i/\Sigma UA_1$, $\Sigma U_i/\Sigma UA_2$) をそれぞれ示す。なお、 K の値は半サイクルを 1 としている。鉄骨量の多いシリーズ 1 では、耐力およびエネルギー消費能力のいずれの面に対しても、帯筋形状の差による有意差は見られない。しかしながら、主筋量の多いシリーズ 2 では、帯筋形状の差が若干生じている。すなわち、B2 試験体は、最大耐力に達するまで ($K = 12$ に対応) は、A2 の耐力と等しいが、それ以後、5% 程度の耐力劣下が生じる。しかし、エネルギー消費能力の面では、最大耐力以後ではほとんど差がない。一方、C2 では最大耐力以後、ほぼその耐力は A2 に同じであるが、エネルギー消費能力は 5% 程度増加している。このように主筋量が多くなると、帯筋形状の違いによる性能の差が見られるが、その差は、耐力、エネルギー消費能力のいずれの場合についても 5% 程度である。

8. 帯筋のひずみ推移状況

柱材の中央部および材端部近傍に配筋された帯筋のひずみ推移状況を比較した例を図 - 7 に示す。ひずみの値は各変位振幅における第一サイクルの除荷時のものを示している。図中の ϵ_y , ϵ_{st} は帯筋の引張降伏ひずみおよびひずみ硬化開始時のひずみ度をそれぞれ表す。シリーズ 1 および 2 において、帯筋量が異なるために、帯筋に生ずる塑性ひずみの大きさは異なっているが、それぞれのシリーズでの帯筋形状の違いによる有意差は見られない。すなわち、せん断耐力に対する帯筋の寄与度を帯筋の引張応力度で評価するならば、柱材が最大耐力 ($R = 0.9\%$ rad. に対応) に達するときには、いずれの試験体においても各部での帯筋のひずみは降伏ひずみ度に達しているので、帯筋形状のいかんにかかわらず、はり機構による耐力 (文献 2 参照) が発揮されていると考えて良い。

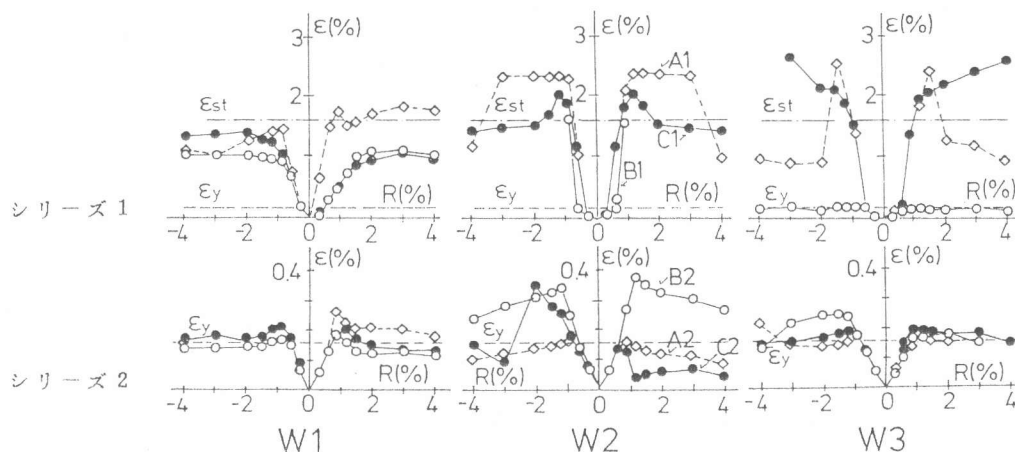


図 - 7 帯筋のひずみ推移状況

表 - 1 材料強度 (単位 kgf/cm²) と最大耐力の測定値 (単位 tf)

		コンクリート強度		鉄筋の引張降伏応力度	鉄骨の引張降伏応力度	最大耐力	
		Fc(圧縮)	Fc(引張)			正荷重時	負荷重時
シリーズ 1	A1	305		D6 : 3359 D19 : 3583	E.5 (ウェブ) : 3634	41.5	-39.6
	B1	308	27.7			40.6	-38.6
	C1	309				42.4	-39.5
シリーズ 2	A2	194		D6 : 3324 D16 : 3834	E.8 (フランジ) : 3587	30.7	-28.4
	B2	194	21.2			31.2	-28.3
	C2	194				32.3	-28.8

9. 柱材のせん断耐力の評価

帯筋の形状のいかんにかかわらず柱材としてほぼ同じせん断耐力が発揮されることが本実験で認められたが、帯筋は引張降伏するものとして柱材のせん断耐力を理論的に検討した結果の一例を図 - 8 に示す。同図の縦軸は無次元化圧縮力 $n (= N/bhFc)$ (b : 柱幅, h : 柱せい)、横軸は無次元化せん断力 $q (= Q/bhFc)$ をそれぞれ表す。○印, ●印は、実験による正、負荷重時における最大耐力を表す。また、同図の上欄には、各変位振幅における正、負荷重時の第一サイクル時の耐力 [○, ●印] と第二サイクル時の耐力 [◇, ◆印] をそれぞれ表している。If1, If2, If3 は柱材の曲げ強度から求められる相関曲線を示す。If1 はコンクリートの圧縮強度をシリンダー圧縮強度とした場合を、If2 は鉄骨量に応じてコンクリート強度を低減した場合 (低減係数を k_3 とする) を、さらに If3 はかぶりコンクリートの抵抗力を無視した場合をそれぞれ表す。一方、Is1, Is2, Is3 はせん断耐力に関する相関曲線を示す。Is1 は内蔵される鉄骨の影響を無視して鉄筋コンクリート部分が一体となってせん断に抵抗すると考えた場合 (文献 2 参照) を、Is2 は鉄骨とコンクリートとの付着作用はないものとして、図 - 9 に示すようにフランジ側面の鉄筋コンクリート部分と、鉄骨の水平のウェブの上, 下にあるコンクリートはそれぞれ独立にせん断に抵抗すると考えた場合を、さらに Is3 は鉄骨フランジの内側のコンクリートは圧縮力のみ抵抗とした場合の相関曲線をそれぞれ表す。なお、sI は鉄骨部分の曲げ強度で決まる相関曲線を、rI は鉄筋コンクリート部分のはり機構による相関曲線をそれぞれ表す。実験によるせん断耐力は Is1 と Is2 の中間の値を示しているが、十字形鉄骨を内蔵する SRC 柱のせん断耐力は、図 - 9 のせん断抵抗機構によりほぼ評価できることが示される。また、大変形域における柱材の保有せん断耐力は Is3 にほぼ収束する傾向が認められる。なお、図 - 5 の Q_{fo} , Q_{so} , sQ_{fo} は相関曲線 If1, Is2, sI よりそれぞれ求めたものである。

10. 結語

本実験では、鉄筋量のいかんにかかわらず、従来より慣用されている 135° フックの帯筋、135° フックと 90° フックを持つ L 字形帯筋および溶接帯筋をそれぞれ配筋した十字形鉄骨を内蔵する SRC 柱のせん断耐力、エネルギー消費能力にはほとんど有意差は認められなかった。

11. 文献

- 1) 日本建築学会 SRC 分科会, SRC 構造の特性を考える, 建築雑誌, 1982年12月, pp. 76 - 82, 1983年1月, pp. 88 - 97.
- 2) たとえば, 南 宏一, 岡本 浩一, 若林 実, SRC 柱のせん断強度に関する理論解, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, 1985年6月 [投稿中] .

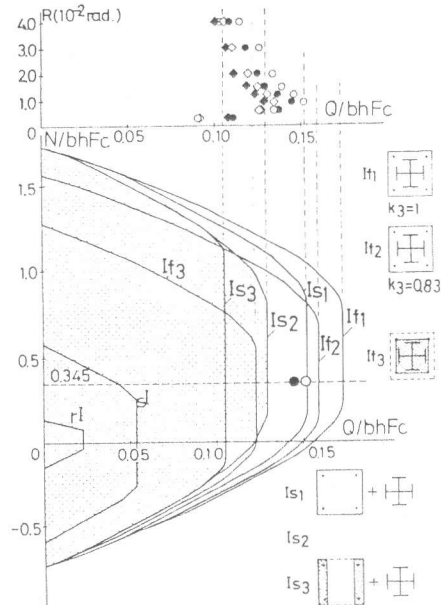


図 - 8 A1 試験体のせん断耐力の評価

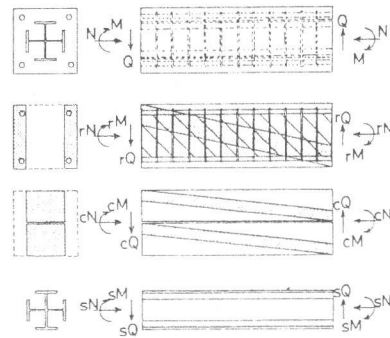


図 - 9 十字形鉄骨内蔵の SRC のせん断抵抗機構