

## [203] 突起付き H 形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究

正会員 ○ 岡本浩一 (西松建設 株式会社)  
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

通常のH形鋼を用いたSRC部材が、複合応力下で終局状態に達した場合、鉄骨とコンクリート間の付着力はほとんど期待できず、両者は互いに独立に外力に抵抗している[1]。しかしながら、鉄骨とコンクリートとの付着力を機械的に増加させることができれば、両者の一体性（合成効果）により、強度および変形性能等を向上させることが可能である。そこで、最近開発された鉄骨フランジ表面に突起を有するH形鋼（以下、突起付H形鋼という）を用いたSRC柱のせん断抵抗性状を把握するための基礎実験を行った。本報では、その実験結果の概要を述べ、拡張累加強度理論を応用して付着効果を考慮したSRC柱の終局せん断強度の解析解を求め、その妥当性を検証する。

## 2. 実験計画

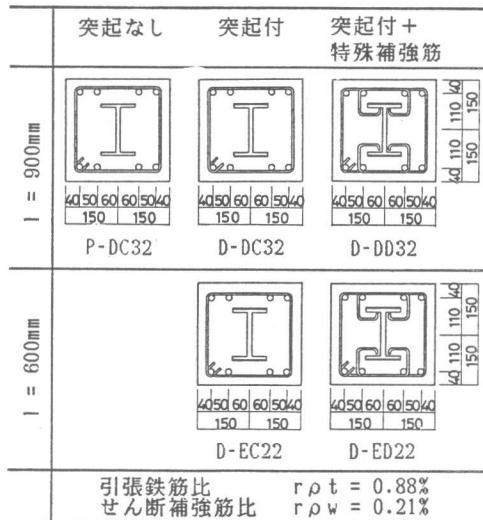
柱長さ1を900mmおよび600mmの2種類とし、突起の有無およびせん断補強筋の形状を変数として計5体の試験体を計画した。図-1に各試験体の断面構成を示す。図中の特殊な形状を持つ補強筋は、鉄骨フランジ表面の見かけ上の付着力を増加させるために考案されたもので以後、特殊補強筋という。

### 3. 試験体

図-2に、特殊補強筋を配した試験体 D-ED22 ( $I=600\text{mm}$ ) の形状・寸法を示す。試験体は実物柱の  $1/2 \sim 1/3$  を想定して柱断面を  $300\text{mm} \times 300\text{mm}$  とし、主筋は 8-D16（引張鉄筋比  $r_{pt} = 0.88\%$ ）、せん断補強筋は 2-D6（せん断補強筋比  $r_{pw} = 0.21\%$ ）と全試験体とも同一とした。鉄骨は、突起付の H-304x300x10x7(SM50) から所要の寸法に切り出されたフランジ部分（フランジ幅  $sb=100\text{mm}$ 、フランジ厚  $ft=10\text{mm}$ ）と、SS41を使用したウェブ部分（ウェブ厚  $wt=9\text{mm}$  ( $I=900\text{mm}$ )、 $wt=12\text{mm}$  ( $I=600\text{mm}$ )）とを溶接組み立てして製作されたものを使用した（図-3参照）。突起なしの鉄骨は突起付の H 形鋼の突起を削り取って製作されたものを使用した。鉄筋コンクリート部分は、せん断破壊が生じるよう計画し、鉄骨部分は、フランジの引張降伏破壊が生じるよう計画した。コンクリートの打設は縦打ちとした。なお、表-1に各試験体に使用した材料の力学的特性を示す。

#### 4. 実験方法

載荷装置は、建研式加力装置と同型のものを使用し、全試験体とも一定圧縮力（柱材の中心圧縮強度の 20%）を負荷し



### 図-1 実験計画

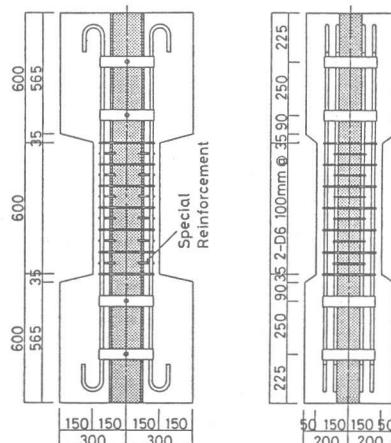


図-2 試験体の形状・寸法  
(特殊補強筋の場合)

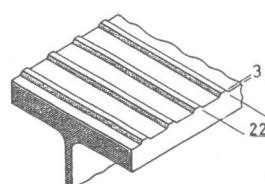


図-3 突起部詳細

た後に、柱材上下端の相対水平変位量から求められる柱部材角  $R$  を制御変位とする正負漸増繰り返し載荷を行った。なお、柱材の中央部を反曲点位置とする逆対称の曲げおよびせん断力を載荷した。

#### 5. ひび割れおよび破壊状況

図-4に、最大強度発揮前の履歴過程（変位部材角  $R=0.3\sim0.6\%rad.$ ）において発生したひび割れ状況を示す。P-DC32（突起なし）では、斜張力ひび割れが柱面全体に多く発生しており、最大強度以後の変位振幅においても斜張力ひび割れの進展が著しい。一方、D-DC32（突起付）では、斜張力ひび割れは発生しているが、P-DC32に比べて少なくなっている。しかしながら、主筋あるいは鉄骨フランジに沿うようなひび割れが、突起なしの試験体に比べて多く発生している。最大強度以後の変位振幅では、主筋あるいは鉄骨フランジに沿うようなひび割れはそれほど進展せず、斜張力ひび割れの進展が顕著に認められた。また、D-DD32（突起付+特殊補強筋）では、斜張力ひび割れおよび主筋あるいは鉄骨フランジに沿うひび割れはいずれもそれほど発生していない。最大強度以後の変位振幅では、主筋に沿う付着割裂ひび割れの進展が斜張力ひび割れの進展に比べて著しく認められた。柱長さ  $l=600mm$  のタイプにおいても  $l=900mm$  のものとほぼ同様の傾向が認められ、D-EC22（突起付）では、斜張力ひび割れの進展が著しく、D-ED22（突起付+特殊補強筋）では、斜張力ひび割れの進展とともに主筋に沿う付着割裂ひび割れの進展が認められた。

#### 6. 履歴曲線

図-5に各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は作用せん断力  $Q(t_f)$  を、横軸は柱部材角  $R(\%rad.)$  をそれぞれ表す。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、 $srcQfu$  および  $sQfu$  は累加強度理論による柱材の終局曲げ強度から決定されるせん断強度および鉄骨部分の終局曲げ強度から決定されるせん断強度をそれぞれ表す。 $srcQsu1$  および  $srcQsu2$  は付着相互作用のない場合の累加強度理論にもとづく柱材の終局せん断強度を表し、 $srcQsu1$  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力に抵抗するとした場合（理論1）を、 $srcQsu2$  は鉄骨断面によって鉄筋コンクリート部分が分割され、それぞれの部分が独立にせん断力に抵抗すると考えた場合（理論2）を表す（文献[2] 参照）。また、履歴曲線の影を付けた部分は、同一変位振幅における第2サイクル時の履歴面積を表す。 $l=900mm$  の試験体では、突起の有無による最大強度の差はほとんど認められず、両試験体とも最大強度は  $srcQsu1$  程度となっている。しかしながら、最大強度以後の変位振幅における強度低下は突起付の試験体の方が突起なしの試験体に比べて小さく、変形性能は若干良くなっている。さらに、特殊補強筋を配した試験体では、突起なしの試験体に比べて最大強度は 10%程度増加しており、最大強度以後の変位振幅における強度低下も小さく、部材角  $R=4.0\%rad.$  に至っても  $srcQsu1$  程度の保有強度があり、安定した履歴性状を示している。また、 $l=600mm$  についても同様の傾向が示された。特殊補強筋は鉄骨フランジ表面の付着力を増加させるために効果的に作用し、付着力が十分期待できる場合には鉄骨とコンクリートとの合成効果により、強度、エネルギー消費能力、変形性能等を改善できることが示された。なお、表-2に各試験体の測定された最大せん断強度およびその時の部材角 ( $Q_{max}$ ,  $R_{max}$ ) をそれぞれ示す。表中の pos. および neg. は正荷重時および負荷重時の場合をそれぞれ表す。

表-1 材料の力学的特性（単位： $kgf/cm^2$ ）

試験体名	コンクリート		鉄筋 ( $\sigma_y$ )		鉄骨 ( $\sigma_y$ )	
	$F_c$	$F_t$	D16	D6	フランジ	ウェブ
P-DC32	246	30.7	3834	3298	3190	3860
D-DC32	246	30.7	3834	3298	3050	3860
D-DD32	209	31.8	3834	3298	3050	3860
D-EC22	253	36.5	3834	3298	3050	3520
D-ED22	209	31.8	3834	3298	3050	3520

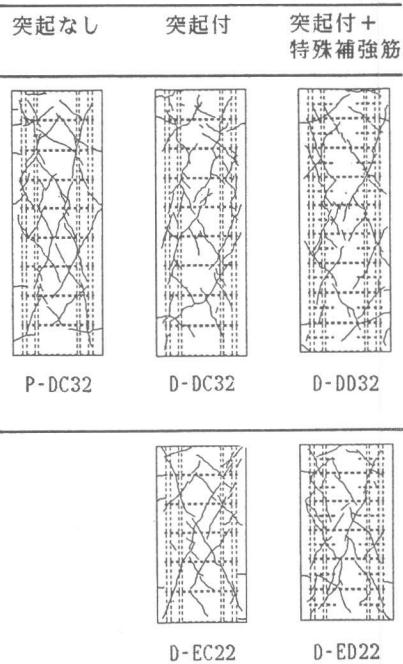


図-4 ひび割れ状況

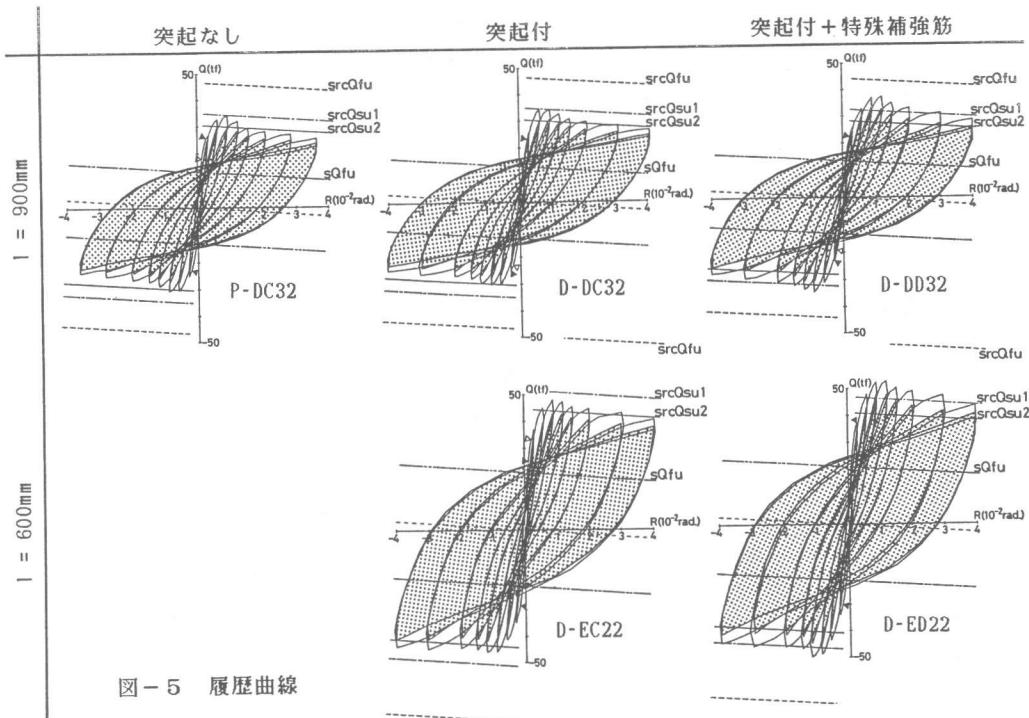


図-5 履歴曲線

#### 7. 鉄骨とコンクリートとの付着作用の検討

以上の実験結果から、本実験では通常用いられているせん断補強筋形状では突起による鉄骨とコンクリートとの付着力がせん断抵抗に対して効果的に寄与していない。すなわち、通常のせん断補強筋では突起付H形鋼の付着抵抗機構の構成要素の一つである斜め圧縮材として作用するコンクリートの外方向反力を十分に拘束することができずに、鉄骨フランジ外側のコンクリート部分が外方向に押し出されるために付着力を十分に期待できない。それに対して、特殊補強筋を配することにより、鉄骨フランジ外側のコンクリート部分を十分に拘束することができ、鉄骨とコンクリートとの付着相互作用によりせん断強度が増加していると考えられる。

#### 8. 突起付H形鋼を用いたSRC柱のせん断強度の評価

前述のように、特殊補強筋を配した試験体では十分な付着力を期待できることが示された。そこで、この2体の試験体について付着相互作用を考慮した終局せん断強度を解析的に評価することを試みる。通常のH形鋼を用いたSRC柱（付着相互作用のない場合）の終局せん断強度は、文献[2]の理論2により塑性解析の手法を用いて、鉄筋コンクリート部分にはり機構とアーチ機構が形成されると仮定し、それぞれの抵抗要素の強度に拡張累加強度理論を適用することにより柱材の強度を解析的に評価できる。この理論2に基づいて、付着相互作用のある場合の終局せん断強度を拡張累加強度理論を応用して解析的に評価する。図-6に、付着相互作用により構成されるせん断抵抗機構の模式図を示す。本試験体では、鉄筋コンクリート部分はせん断降伏型で、鉄骨部分は曲げ降伏型であり、従って、主筋および鉄骨ウエブに余力がある。この余剰の主筋および鉄骨ウエブが、鉄骨とコンクリートとの付着作用により、付着面でのコンクリートを介して応力の伝達を行い、フランジとして作用する主筋と鉄骨ウエブを持つ一組の断面を構成すると考える。なお、この断面による抵抗機構は、理論2の各抵抗機構と独立に構成されると仮定する。従って、突起付H型鋼を用いたSRC柱のせん断強度は理論2の各抵抗要素に基づく強度と図-6の抵抗要素に基づく強度に対して拡張累加強度理論を適用することにより解析的に評価できる。なお、鉄骨フランジ表面の付着強度に関しては文献[4]に示されている。

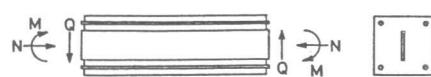


図-6 付着相互作用によるせん断抵抗機構

表-2 実験値および解析値

(単位,  $Q_{max}:tf$ ,  $R_{max}:\%rad.$  )

試験体名	Q <sub>max</sub>				R <sub>max</sub>				srcQfu				srcQsu1				srcQsu2				srcQsu2'				(単位: tf)
	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	
P-DC32	34.8	31.3	0.9	0.9	46.7	35.0	30.4	----	0.75	0.67	0.99	0.89	1.15	1.03	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
D-DC32	35.0	30.9	0.9	0.9	46.7	35.0	30.4	----	0.75	0.66	1.00	0.88	1.15	1.01	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
D-DD32	38.3	34.3	1.2	0.9	44.2	32.4	28.2	38.6	0.87	0.78	1.18	1.06	1.35	1.21	0.99	0.89	0.99	0.89	0.99	0.89	0.99	0.89	0.99	0.89	0.99
D-EC22	48.6	47.0	0.9	0.9	72.3	51.5	44.4	----	0.67	0.64	0.94	0.90	1.09	1.06	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
D-ED22	53.6	50.8	1.2	1.2	67.4	46.8	40.9	52.8	0.80	0.75	1.14	1.09	1.31	1.24	1.02	0.96	1.02	0.96	1.02	0.96	1.02	0.96	1.02	0.96	1.02

### 9. 実験値と解析値の対応

図-7に実験値と解析値の対応を  $n$ - $q$  相関曲線で表わしたものと示す。縦軸は無次元化軸力  $n$  を、横軸は無次元化せん断力  $q$  をそれぞれ表す。図中の  $srcIm$ 、 $sIm$  および  $sIs$  は、累加強度理論による柱材の終局曲げ強度から求められる相関曲線、鉄骨部分の終局曲げ強度から求められる相関曲線、および鉄骨ウェブの降伏せん断強度を表す相関曲線をそれぞれ表す。 $srcIs2$  は前述の理論2により求められる相関曲線を表し、 $BI$  は、図-6に示す付着相互作用により構成されるせん断抵抗機構により求められる相関曲線を表す。また、 $srcIs2'$  は  $srcIs2$  により求められる強度と、 $BI$  により求められる強度に拡張累加強度理論を適用して求められる付着相互作用を考慮した場合の相関曲線を表す。また、○印および●印は正および負荷重時の最大せん断強度を表す。なお、影を付けた部分が付着相互作用による強度増加域を示している。両試験体とも実験値と解析値の対応は良く、鉄骨フランジ表面での付着力を十分期待できる場合には、突起付H型鋼を用いたSRC柱のせん断強度を累加強度理論を適用することにより評価できる。なお、表-2に実験値と解析値の対応を示す。 $srcQfu$ 、 $srcQsu1$  および  $srcQsu2$  は図-5に示す強度を表し、 $srcQsu2'$  は図-7の相関曲線  $srcIs2'$  より求められたものである。

### 10. 結論

本実験では、通常のせん断補強筋形状を有する試験体の突起の有無による最大強度への影響は顕著に認められなかった。しかしながら、鉄骨フランジ表面の付着力を増加させるために考案した特殊補強筋を配した試験体では、鉄骨とコンクリートとの相互作用により、最大強度の増加、変形性能の向上等、通常のH型鋼を用いた場合に比べて改善されることが認められた。また、付着力を期待できる場合の終局せん断強度は、拡張累加強度理論を適用することにより解析的に評価できることが示された。

### 11. 謝辞

本実験における試験体の製作ならびに実験の実施に対して川崎製鉄株式会社から絶大なるご援助をいただいた。ここに記して、深甚の謝意を表します。

### 12. 参考文献

- 1)若林 実・南 宏一：一定軸力と確定的な繰り返し曲げせん断を受ける鉄骨鉄筋コンクリート柱のせん断強度に関する実験的研究、コンクリート工学、Vol.13、No.3、1975年 3月、pp. 1-17.
- 2)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、pp. 557-560.
- 3)若林 実・南 宏一・岡本浩一：突起付H型鋼を用いたSRC柱のせん断抵抗機構に関する研究（その2）、京都大学防災研究所年報第28号 B-1、昭和60年 4月、pp. 209-235.
- 4)若林 実・南 宏一・山本 昇：突起付H型鋼の付着抵抗機構（その1）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、昭和58年 9月、pp. 2497-2498.